

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра технологічних процесів та обладнання переробних і
харчових виробництв

Допущений до захисту:
завідувач кафедри
д.т.н., професор Севостьянов І.В.

(підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)

« 10 » листопада 2020 р.

**ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ
РОБОТИ ГІДРОТУРБІННОЇ МИЙКИ КОРЕНЕПЛОДІВ**

Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр»
за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування

Виконав: студент групи 61-Маш
Чорнописький Олександр
Володимирович

Керівник: д.т.н., професор
Булгаков Володимир Михайлович

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний аграрний університет

Інженерно-технологічний
факультет

Кафедра технологічних
процесів та обладнання переробних
та харчових виробництв

Затверджую:

зав. кафедри технологічних процесів
та обладнання переробних та харчових
виробництв,

_____ д.т.н., проф. І.В.Севостьянов
" ____ " _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

Студенту Чорнописький Олександр Володимирович

на тему:

«Дослідження конструктивно-режимних параметрів роботи гідротурбінної
мийки коренеплодів»

затверджену наказом від 26.02. 2020р. № 36 м

Вихідні дані для підготовки роботи:

1.Методичні вказівки з виконання магістерської роботи

1. План магістерської роботи.

2. Підручники і навчально-методичні посібники.

3. Наукові видання (монографії, книги, збірники, журнали, методики, матеріали ЦНТЕІ, тощо).

5. Дані власних досліджень, одержаних в попередній період.

Календарний план виконання магістерської роботи

| Структура роботи | | Обсяг, сторінок | Термін підготовки | Підпис керівника |
|------------------------|--|--------------------|----------------------|---------------------|
| Анотація | | 1 | 28.02.2020 | |
| Вступ | | 2-5 | 15.03. 2020 | |
| Розділ 1 | Стан питання, мета і завдання дослідження | 20-30 | 17.03. 2020 | |
| Розділ 2 | Розробка приладів для вивчення фізико-механічних властивостей коренебульбоплодів і конструктивно-технічної схеми барабана гідротурбіни мийної машини | 25-30 | 22.04. 2020 | |
| Розділ 3 | Теоретичне обґрунтування робочого процесу, конструктивно-технологічних і режимних параметрів барабанних гідротурбінних мийних машин | 15-20 | 16.06. 2020 | |
| Розділ 4 | Результати експериментального дослідження гідротурбінної барабанної мийної машини | 13-15 | 22.07. 2020 | |
| Висновки та пропозиції | | 2-3 | 01.10. 2020 | |

Термін подання роботи на кафедру

для попереднього захисту " 05 " листопада 2020 р.

Завдання видав

керівник " 23 " лютого 2020 р.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| АНОТАЦІЯ..... | 6 |
| ВСТУП..... | 7 |
| РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ, МЕТА І ЗАВДАННЯ | |
| ДОСЛІДЖЕННЯ..... | 10 |
| 1.1 Значення коренебульбоплодів у годівлі сільськогосподарських тварин..... | 10 |
| 1.2 Огляд досліджень існуючих засобів механізації мийки коренебульбоплодів..... | 12 |
| 1.2.1 Технології та засоби механізації приготування коренебульбоплодів..... | 13 |
| 1.2.2. Машини для мийки коренебульбоплодів..... | 14 |
| 1.3 Класифікація способів і технічних засобів мийки та очищення коренебульбоплодів..... | 32 |
| 1.4 Дослідження поведінки рідини в частково заповненому горизонтально барабані, що обертається..... | 36 |
| РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ПРИЛАДІВ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОРЕНЕБУЛЬБОПЛОДІВ І КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНІЧНОЇ СХЕМИ БАРАБАНА | |
| ГІДРОТУРБИНИ МИЙНОЇ МАШИНИ..... | 40 |
| 2.1 Напрямок вдосконалення коренебульбоплодної мийної машини.. | 40 |
| 2.2 Прилади для визначення фізико-механічних властивостей коренебульбоплодів..... | 40 |
| 2.2.1 Багатофункціональний прилад для виміру параметрів коренебульбоплодів..... | 40 |
| 2.2.2 Методика і результати визначення вихідної та кінцевої забрудненості..... | 45 |
| 2.2.3 Прилади і методика дослідження щільності коренебульбоплодів..... | 49 |

| | |
|--|-----|
| 2.2.4 Прилад і методика дослідження коефіцієнтів тертя коренебульбоплодів по різних конструкційним матеріалам у воді.... | 53 |
| 2.3 Опис схеми пристрою і робочого процесу гідротурбіни барабанної мийної машини..... | 57 |
| Висновки..... | 59 |
| РОЗДІЛ 3. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ, КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ І РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ БАРАБАННИХ ГІДРОТУРБІНИХ МИЙНИХ МАШИН..... | |
| 3.1 Обґрунтування критеріїв ефективного використання енергетичних потоків при підготовці коренебульбоплодів..... | 61 |
| 3.2 Потенційна можливість теплонасичення кінцевого продукту..... | 66 |
| 3.3 Теоретичне обґрунтування параметрів барабана гідротурбіни мийної машини..... | 70 |
| 3.3.1 Продуктивність і вибір режиму роботи установки..... | 70 |
| Висновки..... | 80 |
| РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОТУРБІННОЇ БАРАБАННОЇ МИЙНОЇ МАШИНИ..... | |
| 4.1 Прийняті визначення та допуски..... | 82 |
| 4.2 Опис експериментальної установки та результати її дослідження. | 84 |
| 4.2.1 Робота гідротурбіни барабанної мийної машини..... | 85 |
| 4.3 Методика експериментального дослідження гідротурбіни барабанної мийної машини..... | 86 |
| 4.4 Порівняльний аналіз дослідження гідротурбіни барабанної мийної машини..... | 89 |
| Висновки..... | 99 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ..... | 101 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 103 |

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота на здобуття наукового ступеня магістра за спеціальністю 133 – «Галузеве машинобудування». Вінницький національний аграрний університет. Вінниця, 2020.

Магістерська робота присвячена питанням дослідження інтенсифікації технологічного процесу мийки коренебульбоплодів. Проведено аналіз стану, способів і технічних засобів мийки та очищення коренебульбоплодів. Досліджено фізико-механічні властивості коренебульбоплодів як об'єкта миття. Проведено математичне моделювання параметрів барабана мийної машини. Визначено вплив основних конструктивно-технологічних параметрів процесу миття коренебульбоплодів.

ANNOTATION

Master's thesis for a master's degree in specialty 133 - "Industrial Engineering". Vinnytsia National Agrarian University. Vinnytsia, 2020.

The master's thesis is devoted to the study of the intensification of the technological process of washing root crops. The analysis of a condition, ways and technical means of washing and cleaning of root tubers is carried out. The physical and mechanical properties of root crops as an object of washing have been studied. Mathematical modeling of washing machine drum parameters is carried out. The influence of the main structural and technological parameters of the process of washing root crops is determined..

ВСТУП

Для задоволення науково обґрунтованих запитів населення в продуктах харчування і сировини для легкої промисловості необхідно збільшити приріст продукції.

Нормативами харчування передбачається, що білкова частина харчового раціону має становити не менше 14-15 % його калорійності, з них 60 % - білок тваринного походження, основними джерелами якого є молоко і м'ясо сільськогосподарських тварин і птахів.

За останнє десятиліття умова ведення молочного скотарства в Україні зазнали значних змін. Допущено зниження поголів'я худоби і виробництва молочної продукції. Галузь працювала і працює в умовах жорсткої конкуренції з боку різко збільшеного імпорту. Зниження обсягу виробництва молока відбилося на рівні споживання інших продуктів харчування. Річне споживання молока на душу населення до теперішнього часу складає 58 % від медичної норми (227 кг проти 390 кг) [2, 3].

Рентабельність молока по Україні становить 6,6 %. Спад виробництва молока і його збитковість [1, 2, 4] пояснюються наступними причинами:

- різким диспаритетом цін на продукцію молочного скотарства, матеріально-технічні ресурси, паливно-мастильні матеріали, електроенергію, сільськогосподарську техніку, комбікорми і т. д. ;
- монополізацією закупівельних цін;
- високим рівнем технічної зношеності обладнання на молочних фермах;
- зниженням продуктивності корів через відсутність або недостатнє введення в раціон молокогінних кормів, зокрема коренебульбоплодів.

Відомо, що корми в собівартості продукції тваринництва, свинарства і птахівництва займають до 60-70 % від усіх витрат [5, 6].

На центнер виробленої тваринницької продукції в Україні витрачається в 1,5-2 рази більше кормових одиниць, ніж на Заході, при традиційному

складі раціонів. У більшості господарств вироблена продукція не може виступати конкурентоспроможною як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках, в той час як наука і практика довели, що коренебульбоплоди [6] є найдешевшими і фізіологічно сумісними з організмом тварини кормами, а отримана від них продукція, відповідно - з організмом людини. Однак вони мають забрудненість до 20 %, і згодовувати їх в такому вигляді небезпечно для здоров'я тварин [5, 8, 9]. Тому коренебульбоплоди перед згодовуванням мийуть на спеціальних установках, які морально і фізично застаріли або мають високу ціну. В першу чергу це відноситься до коренебульбоплодних мийних машин, застосування яких суттєво знижує ефект від згодовування коренебульбоплодів.

Для виробництва конкурентоспроможної продукції тваринництва необхідно розробити ресурсозберігаючі коренебульбоплодні мийні машини. Отже, робота, спрямована на збільшення продуктивності, поліпшення якості, зниження питомих енерговитрат, матеріаломісткості, виробничих площ, а також зниження потреби у воді, є актуальним завданням.

Мета и задачі дослідження: підвищення продуктивності і якості мийки коренебульбоплодів за рахунок вдосконалення барабанної коренебульбоплодної мийної машини.

Відповідно до поставленої мети вирішувались наступні **завдання:**

- розробити класифікацію способів і засобів очищення коренебульбоплодів з визначенням їх перспективного напрямку розвитку;
- розробити прилади для вивчення фізико-механічних властивостей коренебульбоплодів і конструктивно-технологічну схему барабанної гідротурбінної коренебульбоплодної мийної машини;
- теоретично обґрунтувати робочий процес, конструктивно-технологічні та режимні параметри барабанної гідротурбінної коренебульбоплодної мийної машини;
- дослідити експериментально вплив конструктивно-режимних параметрів барабанної гідротурбіни коренебульбоплодної мийної машини на

продуктивність і якісні показники її роботи;

- провести виробничі випробування коренебульбоплодної мийної машини і дати техніко-економічну оцінку її використання.

Об'єкт дослідження - технологічний процес мийки коренебульбоплодів.

Предмет дослідження - залежності, що характеризують робочий процес мийки коренебульбоплодів і закономірності зміни якісних показників від режиму роботи.

Методи дослідження. Методологічну основу досліджень склали методи системного аналізу, математичної статистики. Аналітичний опис технологічних процесів виконувався з використанням законів і методів класичної механіки, гідравліки та математичного аналізу. Дослідження проводилися з використанням відомих і знову розроблених приладів і методик. Обробка експериментальних досліджень здійснювалася на ПЕОМ з використанням програм Mathcad 12, КОМПАС 3D LT V12, Excel.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Значення коренебульбоплодів у годівлі сільськогосподарських тварин

Годівля тварин - це процес, в якому оператор доставляє їм необхідні поживні речовини для забезпечення життя, плодючості і продуктивності [10, 11]. У поняття годівля включається: складання норм годівлі і раціонів, ряд організаційних питань, включаючи дотримання кормового балансу, розпорядку роботи на фермі, кратність годування, підготовка кормів до згодовування, їх роздача та інше [11, 12, 13].

Коренеплоди дають найдешевшу кормову одиницю з виробничих площ [6]. Вони характеризуються великим вмістом води, що досягає 75-92 %, при кількості протеїну 1-2 % і незначній кількості жиру і клітковини [14, 15]. Основну масу сухої речовини коренеплодів становлять крохмаль і цукор. Коренеплоди мають цінне молокогінні властивості, сприятливо впливають на перетравність і засвоюваність поживних речовин сухого корму в зимових раціонах, багатих сухими білками і зольними елементами [11, 14, 15].

Органічні речовини коренебульбоплодів перетравлюються на 85-95 %. Їх згодовують великій рогатій худобі в зимовий час [7], коли в раціоні відсутня зелена трава, а також необхідна кількість вуглеводів і вітамінів у раціоні тварин, птахів і звірів.

Чим вища продуктивність корів, тим більше потрібно видавати коренебульбоплодів, наприклад, при надої 4000 кг норма потреби на 1 корову становить 1840 кг на рік, а при надої 6000 кг - 3680 кг [14, 18, 19]. У добу на одну корову можна згодовувати від 10 до 30 кг кормового і цукрового буряка, в якому міститься в середньому 12-24 % сухої речовини, що складається в основному з вуглеводів, серед яких переважають цукор, пектинові речовини і близько 1,2 % клітковини. Коренебульбоплоди підвищують смакові якості інших кормових компонентів раціону, тому їх

рекомендують видавати у вигляді сумішей з грубими, концентрованими і мінеральними складовими раціону. Кормосуміші на 12-15 % краще засвоюються, ніж окремо згодовані компоненти [3, 11, 21].

Кормові суміші повинні мати вологість 70-75 %. Вміст в них металевих домішок з розмірами частинок до 2 мм в 1 кг не повинно бути більше 25 мг. В 1 кг сухих повнораціонних кормових сумішей повинно міститися не менше 0,6 кг корм.од. У кормових сумішах вміст клітковини не повинно перевищувати 20-22 % [6, 15, 16].

Вологі кормові суміші з вмістом силосу, коренебульбоплодів, баштанних і інших соковитих кормів дозволяється зберігати на тваринницькій фермі не більше 0,5 год.. Максимальний термін зберігання вологих кормосумішей при температурі 10-15 °С - до 5 год після їх приготування.

Типові ферми і комплекси середнього і великого розміру мають кормоцехи або кормокухні, на яких встановлено технологічне обладнання для відділення механічних домішок, мийки, подрібнення, дозування і змішування, з огляду на те, що після реорганізації власності тваринницьких ферм і зменшення їх розмірів кормосуміші з вмістом коренебульбоплодів практично перестали застосовувати. Пояснюється це морально і фізично застарілим обладнанням, що підвищує собівартість кормів. Тому ветеринарні та зоотехнічні служби рекомендують коренебульбоплоди очищати (мити) і видавати в неподрібненому вигляді, пояснюючи це винятком втрат соку і мезги, яка може досягати більше 3 % від початкової маси. Тому в сучасних технологічних лініях підготовки кормів використовуються операції подрібнення, запарювання або видаються вони в натуральному вигляді.

З практики відомо, що існуючі технічні засоби по митті, очищенні та подрібненні коренебульбоплодів вимагають дорогих кормоцехів, що супроводжуються великими питомими витратами води і засобів на захист навколишнього середовища. Забрудненість коренебульбоплодів досягає 20 %, що виключає застосування інноваційних, дешевих, мобільних,

універсальних подрібнювачів - змішувачів-роздавальників кормів типу «Господар» (Білорусія), Seiko (Італія), Himmel (Німеччина), Lukas (Франція), Tatom (Іспанія), Shelbourne (Англія) і ін. [16, 17, 18, 19].

Планове зростання економічної ефективності засобів механізації в тваринництві дозволить: знизити витрати кормів на 20-25 %; збільшити приріст продукції на 40-45 %, підвищити продуктивність праці в 1,8-2,0 рази, зменшити собівартість продукції на 30-35 % і досягти прийняттого рівня рентабельності виробництва [1, 5, 17, 18].

Виробничий Дослід показує, що роль агропромислового комплексу в життєзабезпеченні країни постійно підвищується. Тому аграрна політика повинна будуватися, виходячи із стратегічних цілей, спрямованих на зростання виробництва конкурентоспроможної валової продукції тваринництва.

Для досягнення намічених цілей необхідно додатково виробити такі організаційно-економічні умови, які дозволили б сільськогосподарським товаровиробникам усіх форм власності вести рентабельне виробництво, і в першу чергу це відноситься до виробництва найдешевших, фізіологічно затребуваних кормів-коренебульбоплодів, їх підготовці, дозування, змішування і нормованої роздачі [6, 10, 17, 18].

1.2 Огляд досліджень існуючих засобів механізації мийки коренебульбоплодів

Заготівля, приготування та роздача кормів - найважливіше завдання в тваринництві. На всіх етапах вирішення цього завдання необхідно прагнути до зменшення їх втрат і поліпшенню фізико-механічного складу. Вимоги до приготування кормів в основному стосуються ступеня їх забрудненості, наявності шкідливих домішок і розмірів подрібнення [8, 10, 16, 19, 21].

Технологія кормоприготування, передбачає виконання всіх операцій за допомогою машин, що утворюють єдину технологічну лінію. Всі машини і

механізми повинні бути узгоджені за призначенням і продуктивності, щоб забезпечити безперервність і якість процесу.

1.2.1 Технології та засоби механізації приготування коренебульбоплодів.

Технологічні схеми машин для приготування коренебульбоплодів передбачають виконання двох і більше операцій: очистка - мийка - подрібнення; подрібнення - запарювання - змішування; запарювання - змішування - дозування і т. д.

До технології і машинам для приготування коренебульбоплодів до згодовування тваринам ставляться такі вимоги:

1. Вплив робочих частин машин не повинно викликати псування і втрату маси коренебульбоплодів;
2. Мийка коренебульбоплодів повинна забезпечити повне видалення землі. Залишкова забрудненість не повинна бути більше 2-3 %;
3. Машини повинні забезпечувати мийку, подрібнення і запарювання коренебульбоплодів за 1-3 год, щоб уникнути почорніння, заморожування і втрати свіжості. Процес миття не повинен бути тривалим;
4. Універсальність щодо обробки різних видів і сортів коренебульбоплодів;
5. Висока якість мийки та подрібнення продуктів при відносно малій витраті води і енергії;
6. Можливість регулювання часу перебування продуктів у воді в залежності від ступеня забрудненості;
7. Зручність очищення і видалення бруду і брудної води;
8. Можливість максимальному ступені механізації і автоматизації завантаження і вивантаження продукту;
9. Хороший доступ до робочих органів машини для швидкого регулювання і заміни пошкоджених частин;
10. Малі габаритні розміри, простота пристрою, надійність в

експлуатації, довговічність роботи.

Для приготування коренебульбоплодів до згодовування застосовують коренебульбоплодні мийні машини, коренерізки, подрібнювачі, запарники-змішувачі, варильні котли, котли-пароутворювачі та інші машини.

Коренебульбоплоди звичайно забруднені землею, піском, сторонніми домішками (камені, шматки дерева, метал, скло та ін.), Тому перед згодовуванням тваринам їх необхідно очищати, мити і т. д.

Первісна забрудненість коренебульбоплодів після збирання може досягати 12-20 % по масі.

Якість товару, що ввозиться для мийки та подрібнення, характеризується ступенем забрудненості $\delta_{исх}$, а характеристика роботи мийок - залишкової забрудненістю $\delta_{ост}$ [21]. Обидва ці показники визначають дослідним шляхом і виражаються в % залежностями:

$$\delta_{исх} = \frac{P_1 - P_3}{P_3} \cdot 100\%, \quad (1.1)$$

$$\delta_{ост} = \frac{P_2 - P_3}{P_3} \cdot 100\%, \quad (1.2)$$

де P_1 - маса порцій коренебульбоплодів до мийки, кг;

P_2 - маса порцій коренебульбоплодів після мийки, кг;

P_3 - маса порцій абсолютно чистих, відмитих вручну коренебульбоплодів, кг.

Новостворена машина, незалежно від рівня P_1 , повинна забезпечити зоотехнічних встановлену $\delta_{ост}$.

1.2.2. Машини для мийки коренебульбоплодів

Машини для мийки коренебульбоплодів розміщуються в спеціальних приміщеннях або на майданчиках для заготовки комбісилоса і т. д.

Коренебульбоплодні мийні машини за типом технологічного процесу припускають сухе і рідинне очищення. Суха очистка в основному застосовується в полі і в незначній кількості в кормоцехах. Перевагою сухого

очищення є те, що вона дозволяє повертати в поле вивезену з корнеклубнеплодами ґрунт. Проте обмежене її застосування пояснюється виділенням великої кількості пилу в навколишнє середовище, що викликає легеневе захворювання оператора і швидкий знос машин.

За конструкцією робочих органів машини для рідинного очищення (рис. 1.1) ділять на дискові, шнекові, кулачкові та барабанні [8, 21, 22].

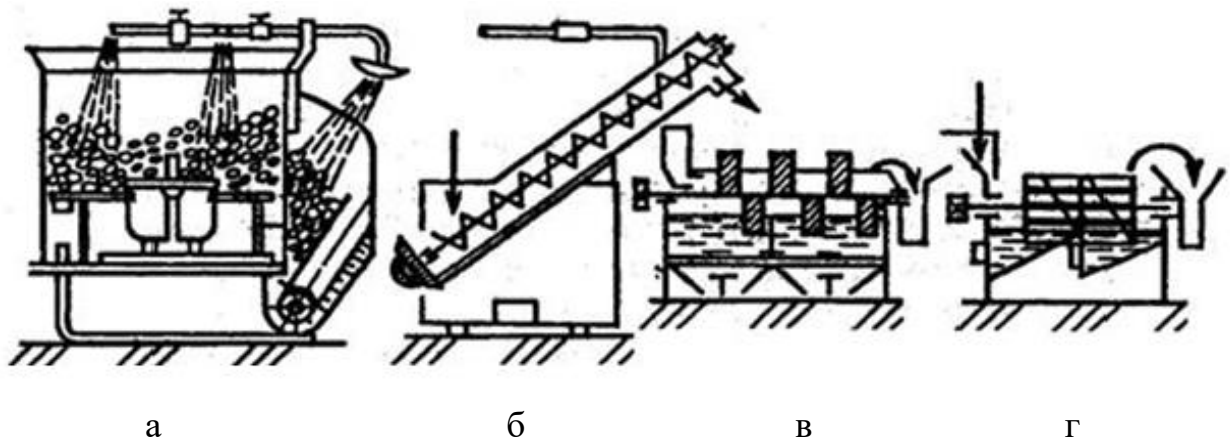


Рис. 1.1 – Схеми типових корнебульбоплодних мийних машин: а - дискова; б - шнекова; в - кулачкова; г - барабанна

Дискові корнебульбоплодні мийні машини (рис. 1.2) застосовуються в кормоцехах для мийки та подрібнення корнебульбоплодів [8, 19, 22]

Вони являють собою універсальні машини відцентрового типу, безперервної дії для мийки та різання корнебульбоплодів і передачі їх в транспортні засоби. Основними вузлами даного типу машин є: рама 1, на якій встановлений робочий циліндр 14, виконаний з листової сталі. Циліндр забезпечений плоским глухим днищем, в нижній частині якого передбачено друге кільцьове днище 8 з внутрішнім циліндром 7. На стінці внутрішнього циліндра зроблені вертикальні вирізи і біля них укріплені два нерухомих ножа із суцільними лезами.

Усередині робочого циліндра на вертикальному обертовому валу 12 наглухо закріплений трилопатевий крилач 4, обладнаний трьома

горизонтальними дисками. Нижній диск 3 має лопать 5 і служить для викидання різаного продукту, а верхні два диска 11 і 13 є мийними. Диск 11 зроблений кільцевим з центральним отвором і укріплений до верхніх кінців лопатей крила 4. На його поверхні є отвори для проходу брудної води. Диск 13 укріплений на валу поперечної шпилькою і може бути встановлений на різній висоті.

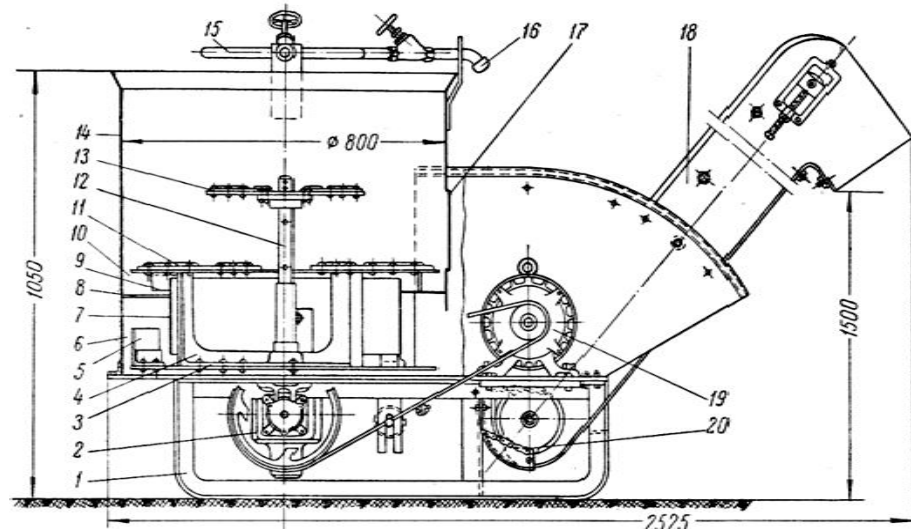


Рис. 1.2 - Схема дискової коренемийки-коренерізки: 1 - рама; 2 - кожух шестерень; 3 - нижній викидаючий диск; 4 - крилач; 5 - лопать нижнього диска; 6 - кільцева камера збору різаного продукту; 7 - внутрішній циліндр з ножами; 8 - кільцеве днище робочого циліндра; 9 - скребок нижнього мийного диска; 10 - грязьова кільцева камера; 11 - нижній мийний диск з отворами; 12 - вал; 13 - верхній мийний диск; 14 - корпус робочого циліндра; 15 - кільцевий трубопровід; 16 - патрубок; 17 - засувка верхнього випускного люка; 18- ланцюговий-скребковий транспортер; 19 - електродвигун; 20 - приводний ланцюг транспортера

На обох мийних дисках укріплені радіальні ребра з круглими кряями.

Вал, крилач і диски приводяться в обертання з швидкістю 147 об/хв за допомогою приводного ремня і двох конічних шестерень закритих кожухом 2. Для передачі готового продукту машина обладнана похилим ланцюгово-скребковим транспортером 18.

Всередину робочого циліндра вода підводиться зверху кільцевим трубопроводом 15 з рядом отворів.

При використанні машини, як коренемиючої машини, необхідно опустити верхній мийний диск 13 в нижнє крайнє положення і закріпити його шпилькою на валу, потім відкрити засувку 17 верхнього випускного люка і важелем вивести заслінку назовні, пустити машину в хід і відкрити подачу води.

Коренебульбоплоди безперервно завантажуються всередину циліндра, обмиваються струменями води і, перебуваючи на поверхні обертових мийних дисків, захоплюються ними, і набувають обертальні рухи, відкидаються відцентровою силою до стінок циліндра, інтенсивно перемішуються і перетираються.

Вимитий продукт безперервно викидається через випускний люк і надходить на транспортер. При необхідності продукт в момент виходу можна обполіскувати струменем води з патрубку 16.

Вода і відмитий бруд надходять на мийні диски, відкидаються під дією відцентрової сили до периферії і проходять через отвори в диску в кільцевій канал 10, звідки вони скребком 9 викидаються по грязьовому лотку назовні.

При використанні машини для одночасної мийки та різання продукту вимиті коренеплоди через отвори верхнього диска передають на подрібнення.

Якість мийки коренебульбоплодів задається тривалістю обробки порції, кількістю води, що подається.

Продуктивність мийної машини відцентрового типу визначається за формулою [22, 25]

$$Q = \frac{V_M \rho \varphi_3}{t}, \quad (1.3)$$

де V_M - обсяг мийного циліндра, м^3 ; $\varphi_3 = 0,3 - 0,4$ - коефіцієнт заповнення циліндра коренебульбоплоди; $t = 60 - 90 \text{ с}$ - час їх перебування в машині.

Обсяг циліндра виражається рівнянням

$$V_M = 0,25\pi D^2 H_M, \quad (1.4)$$

де D - діаметр циліндра, м; H_M - висота циліндра, м.

Зазвичай при проектуванні приймають $H_M = (0,85 - 0,95) D$. Тоді

$$V_M = \frac{0,9\pi D^3}{4}. \quad (1.5)$$

Підставивши значення V_M в формулу для визначення продуктивності, обчислюють діаметр мийного циліндра

$$D = 1,12^3 \sqrt{\frac{Qt}{\rho\varphi_3}}. \quad (1.6)$$

Діаметр великого мийного диска приймають менше діаметра циліндра на 10-15 мм, а діаметр малого мийного диска приймають з урахуванням можливості вільного проходу через кільцевий зазор в камеру різання найбільших коренебульбоплодів, тобто 300-400 мм.

Технологія роботи відцентрової мийної машини полягає в тому, що коренебульбоплоди постійно переміщаються від центру до периферії і, перетираючи, звільняються від налиплого на них бруду.

Таким чином, мінімальна частота обертання мийного диска повинна бути такою, щоб виникаюча відцентрова сила була здатна подолати силу тертя, що перешкоджає переміщенню коренебульбоплодів. Це забезпечується за умови

$$fmg \leq m\omega^2 r, \quad (1.7)$$

де f - коефіцієнт тертя;

m - маса коренеплодів, розташованих на диску, кг;

g - прискорення сили тяжіння, м/с²;

ω - кутова швидкість мийного диска, рад/с;

r - мінімальний радіус, приблизно дорівнює половині середнього розміру коренебульбоплодів, м.

З наведеного нерівності сил випливає, що мінімальний показник кінематичного режиму повинен бути більше коефіцієнта тертя:

$$k = \frac{\omega^2 r}{g} \geq f. \quad (1.8)$$

При цьому мінімальна кутова швидкість мийного диска

$$\omega_{min} = \sqrt{\frac{fg}{r}}. \quad (1.9)$$

Потужність, необхідну для приводу мийки коренебульбоплодів [22, 25] рекомендується визначати за наближеною формулою В.Н. Синявського

$$N_M = 3,3QtfD\omega k_v, \quad (1.10)$$

де $k_v = 0,3-0,4$ - дослідний коефіцієнт, що враховує обертальний рух коренебульбоплодів.

Основними недоліками цієї машини є суб'єктивна оцінка якості вимитих коренебульбоплодів, їх пошкодження, висока питома витрата води, надлишкове потрапляння води в кінцевий продукт, який подрібнюється, неможливість відділення механічних домішок у вигляді каменів.

Шнекові коренебульбоплодні мийні машини знайшли широке застосування в кормоцехах. Вони використовуються для очищення від каменів, мийки та подрібнення коренебульбоплодів, встановлюються в поточних технологічних лініях тваринницьких ферм або використовуються як окремий агрегат [8, 21, 23, 26]. Даний тип подрібнювача представляє каменевідбирники ІКМ-Ф-10 (Рис. 1.3).

Подрібнювач ІКМ-Ф-10 має три робочих органу: мийний шнек 11 діаметром 400 мм; подрібнюючий апарат 9; транспортер 2 для виведення каменів та інших механічних домішок. Технологічний процес машини здійснюється наступним чином. Ванна 12 заповнюється водою до рівня, який підтримується зливним патрубком на кожусі вивантажного транспортера. Коренеплоди падають в мийну ванну, де вони відмиваються від землі вихровими потоками води і звільняються від каменів, які потрапляють в крилач 13 і вікно вивантажного транспортера 2. Далі коренебульбоплоди надходять на шнек 11 і вдруге відмиваються від бруду зустрічним потоком води, а потім по направляючому корпусу 8 відкидаються в подрібнювач 9.

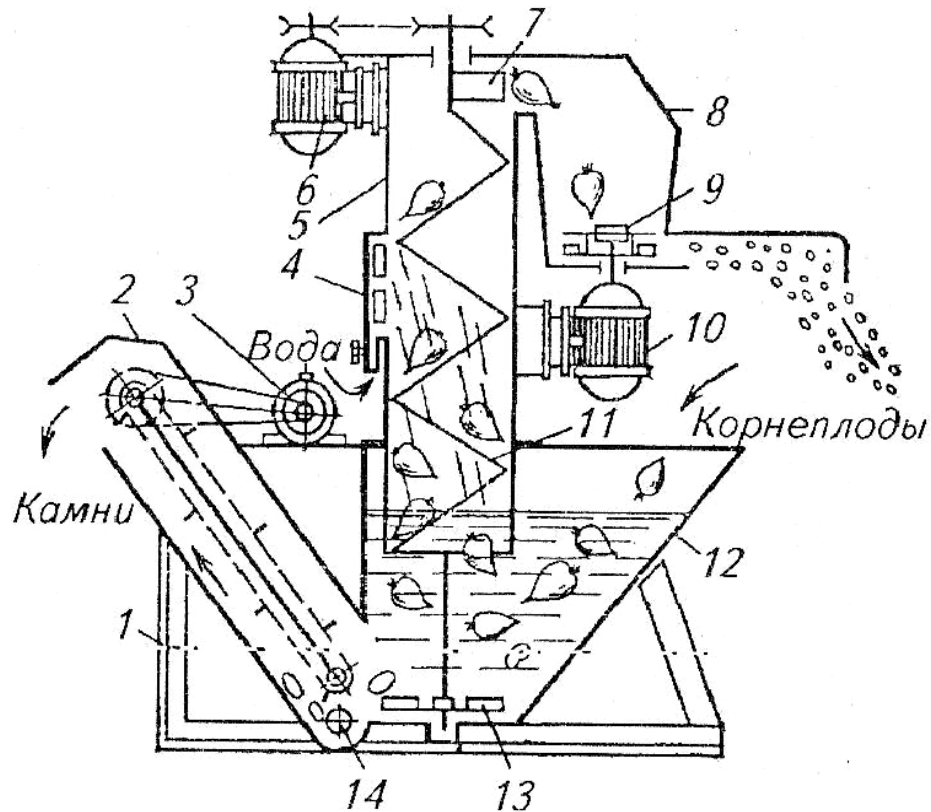


Рис. 1.3 - Схема технологічного процесу подрібнювача-каменевідбирника ІКМ-Ф-10: 1 - рама; 2 - транспортер - каменевідбирник; 3, 6 і 10 - електродвигуни; 4 - колектор підведення води; 5 - кожух; 7 - викидач; 8 - корпус подрібнювача; 9 - подрібнювач; 11 - шнек; 12 - мийна ванна; 13 - крилач; 14 – люк

Продуктивність шнекової мийки розраховується за такою методикою: для мійок безперервної дії загальний час перебування коренебульбоплодів у воді має бути 60-120 с. Воно складається з двох складових: часу відмочування (перебування в завантажувальній ванні) 60-90 с і часу мийки (перебування в жолобі шнека) 30-40 с.

Витрата води складає 250-300 л на 1000 кг коренебульбоплодів .

Продуктивність шнекової мийної машини визначається з умови, що через поперечний переріз площею $0,25\pi(D^2-d^2)$ шнека довжиною, що дорівнює одному кроку S , за 1 с пройде порція коренебульбоплодів масою M [8]

$$M = 0.25\pi(D^2 - d^2)S\rho\omega/(2\pi). \quad (1.11)$$

Тоді продуктивність Q , кг/с, мийної машини складе [8, 34]

$$Q = 0,125(D^2 - d^2)S\rho\omega\varphi \text{ или } Q = M\varphi_3\varphi_n, \quad (1.12)$$

де D - діаметр шнека, м (приймаємо $D = 300-400$ мм);

d - діаметр вала шнека, м, який вибирають із співвідношення $D = (4-6)d$;

ρ - об'ємна маса продукту, кг/м³;

$\varphi_3 = 0,25-0,35$ - коефіцієнт заповнення робочого простору шнека;

φ_n - коефіцієнт, що враховує нахил шнека ($\varphi_n = 0,45 - 1$ при куті $20 - 90^\circ$);

φ - коефіцієнт, що враховує зменшення площі поперечного перерізу продукту внаслідок нахилу шнека.

Так як $S = \pi D t \operatorname{tg} a$, то кут a підйому гвинтової лінії шнека повинен знаходитися в межах $10 - 20^\circ$.

Довжина шнека L визначається з урахуванням часу t_m мийки матеріалу

$$L = \frac{st_M\omega}{2\pi}. \quad (1.13)$$

Недоліком шнекових мийок є те, що вони можуть пропускати коренеплоди не крупніше 150 мм в діаметрі. При ступені забрудненості коренебульбоплодів 6 – 7 % довжина шнека повинна бути 2,5 - 3,0 м, а при забрудненості 20 % довжина шнека складе 6 м. Дана умова робить конструкцію коренебульбоплодні мийної машини нездійсненним або вимагає послідовної установки двох, трьох і більше машин.

Кулачкові коренебульбоплодні мийної машини (рис. 1.4) представляють стаціонарну установку, що складається з однієї або двох ванн, розділених перегородками 1 [21].

Дно ванн робиться похилим для стоку брудної води і уловлювання механічних домішок в каменеуловлювачі 2. Вимиті коренеплоди видаляються ковшовим транспортером 3, а з секції в секцію - викидних черпаками 4. Бруд видаляється з каменеуловлювача 2 через засувку 5 і люк для вивантаження каменів 6. У кожній ванні в нижній частині робиться

решітка, яка утворює корито. Поверх ванн в підшипниках встановлюється вал з кулачками або штифтами.

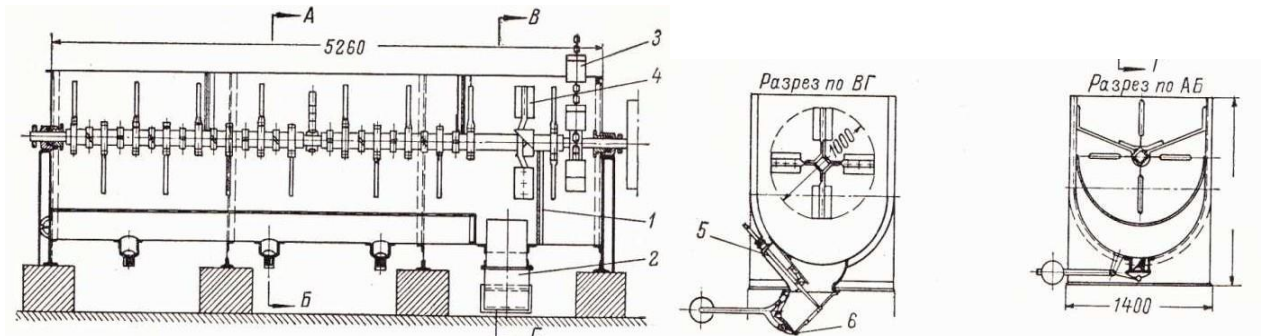


Рис. 1.4 - Схема кулачкової коренебульбоплодної мийної машини з металевою односекційною ванною і каменеуловлювачем: 1 - перегородка; 2 - каменеуловлювач; 3 - ковшовий транспортер; 4 - викидають черпаки; 5 - засувка; 6 - люк для вивантаження каменів

Робочий процес кулачкових мийок полягає в наступному. Коренебульбоплоди завантажуються безперервним потоком з одного боку ванни, наповненою водою, зазнають інтенсивного впливу обертових кулачків. При цьому вони труться одна об одну, грати і кулачки, омиваються водою і поступово переміщуються вздовж ванни. Дійшовши до поперечної стінки ванни, вони вичерпуються обертовими черпаками 4 в сусідню ванну, де процес повторюється.

Переміщення продукту вздовж секції ванн досягається розташуванням кулачків на валу по гвинтовий лінії або похилим положенням робочої поверхні. Вода в таких ваннах подається постійно з боку виходу продукту, поступово перетікає з однієї ванни в іншу.

Бруд періодично видаляється через люки. Кулачковий вал обертається з частотою 20 - 25 хв⁻¹.

Продуктивність кулачкової мийки Q визначається за формулою [25]

$$Q = 60ng, Q = 60n \sum v\beta\rho, \quad (1.14)$$

де: n - частота обертання барабана в хвилину, хв⁻¹;

g - маса m порції продукту, що викидається черпаком (черпаками) за

один оборот барабана, кг;

Σv - сума обсягів продуктів, що викидаються черпаками, м³;

β - коефіцієнт наповнення черпаків, рівний для картоплі 0,8 - 0,9 і для коренеплодів 0,7 - 0,8;

ρ - об'ємна маса продукту, т/м³.

Час t обробки продукту в них становить 4 - 5 хв. Обсяг мийного корита V_1 визначається за формулою

$$V_1 = \frac{Q_1 t}{\rho}, \quad (1.15)$$

де V_1 - обсяг, зайнятий продуктом, м³

$$V_1 = F' L = \frac{\pi R^2}{2} \alpha L, \quad (1.16)$$

де F' - площа перетину шару продукту в кориті, м²;

L - загальна довжина секцій, м;

R - радіус корита (решітки), м;

$\alpha = 0,75 - 0,80$ - ступінь заповнення корита продуктом.

Загальна довжина корита L дорівнює

При заданому радіусі корита рівному 0,6 - 1,0 м і знайденої довжині L всі інші розміри кулачковою мийки підбирають конструктивно.

Барабанні коренебульбоплодні мийні машини безперервної дії отримали найбільше застосування. Вони розрізняються за габаритними розмірами, загальної конструкції, числу секцій (на одне - і двокамерні).

Типовою барабанною установкою (рис. 1.5) є двокамерна коренебульбоплодна мийна машина безперервної дії.

Вона складається з рами, корит 7 і 11 для води, мийних барабанів 3 і 4, завантажувального 5 і випускного 2 лотків, електродвигуна 8 і передавального механізму 1. Рама зварна з куточків. Корита для води виконані з листової сталі і підвішені до верхніх поздовжніх брусів рами. Днищ надано ухил по довжині в сторону завантажувального лотка.

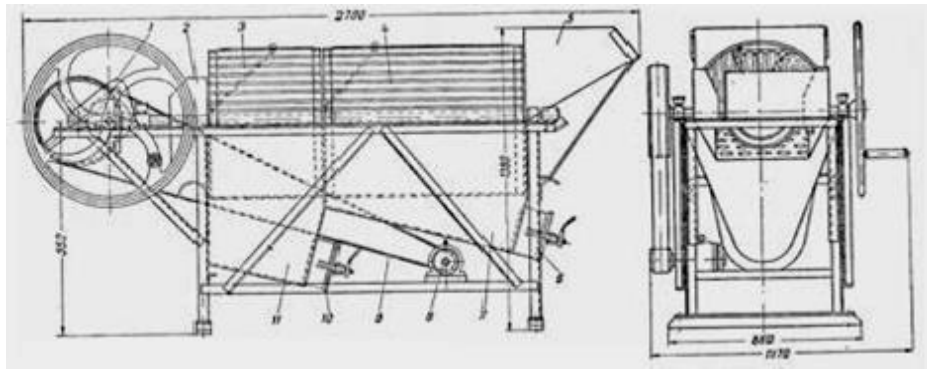


Рис. 1.5 - Схема барабанної двокамерної коренебульбоплодної мийної машини: 1 - кожух передавального механізму; 2 - випускний лоток; 3 і 4 - мийні барабани; 5 - загрузочний лоток; 6 і 10 - грязьові люки; 7 і 11 - корита для води; 8 - електродвигун; 9 - приводний ремінь

Мийні барабани з внутрішнім діаметром 600 мм і довжиною 900 і 500 мм зібрані з металевих планок перерізом 2×30 мм і укріплені хрестовинами на загальному валу. Планки зігнуті у вигляді куточків і розташовані полками всередину барабанів, що робить внутрішню поверхню рифленою. Між планками передбачені зазори шириною 15 мм для проходу бруду і піску. Усередині кожного барабана біля виходу закріплено по одному черпаку, які служать для зачерпування, підйому і викидання продукту з барабана, що обертається з частотою $16 - 20 \text{ хв}^{-1}$.

Робочий процес коренебульбоплодної мийної машини МП-2,5 [22, 25]. Обидва корита заповнюють водою і, пустивши машину в хід, безперервно завантажують продуктом через завантажувальний лоток. Подачу продукту ведуть з розрахунку, щоб при сталому робочому процесі всередині мийних барабанів перебував шар продукту завтовшки не більше $1/3$ діаметра барабана. Обертанням барабана коренебульбоплоди під дією сили тертя піднімаються вгору, перемішуються і труться одна об одну і об планки барабанів. Бруд відмивається і осідає через проміжки між планками на дно корит. Пройшовши перший барабан, коренебульбоплоди перевантажуються в другий. Тут процес повторюється, і вимитий продукт вичерпується черпаками з барабана у випускний лоток. Накопичений на дні корита бруд разом з

брудною водою випускається через люки в каналізацію, а корита наповнюються знову чистою водою. Частота зливу води залежить від ступеня забрудненості продукту.

Недоліками цієї машини є велике пошкодження коренебульбоплодів об краї металевих планок, розташованих паралельно до утворюючої циліндра і вичерпуючих ковшів, низький коефіцієнт завантаження барабана і велика витрата води.

Найбільш простою і менш габаритною машиною (рис. 1.6) є коренебульбоплодна мийна машина типу МП-2 [25].

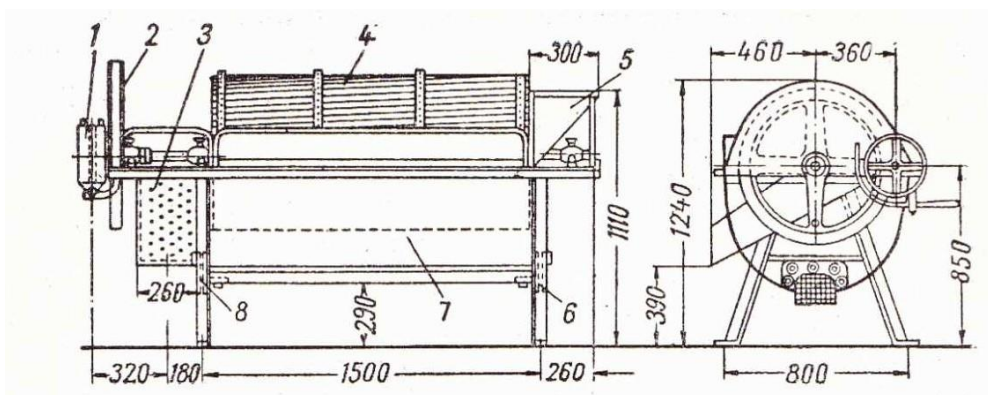


Рис. 1.6 - Схема барабанної коренебульбоплодної мийної машини безперервної дії: 1 - робочий і холостий шківи; 2 - передавальний механізм; 3 - випускний лоток; 4 - мийний барабан; 5 - завантажувальний лоток; 6, 8 - грязьові люки; 7 - корито для води

Вона має один мийний барабан 4 довжиною 1400 мм з внутрішнім діаметром 670 мм. Робоча поверхня барабана зібрана з дерев'яних планок, розташованих під кутом 7° до створюючих циліндра, що забезпечує в процесі роботи більш інтенсивне просування продукту уздовж барабана. У середині барабана укріплені чотири дерев'яні лопаті з можливістю зміни кута нахилу їх осі щодо барабана. Кутом установки лопатей задають швидкість руху продукту уздовж барабана і відповідально час знаходження коренебульбоплодів у воді, і якість обробки. Корито для води підвішено до рами у вигляді напівциліндра із закритими торцями, в яких встановлені

грязьові люки 6 і 7.

Для зменшення витрати води та утилізації бруду в Чехословаччині [25] розроблена барабанна мийка ПБ-1500 (рис. 1.7).

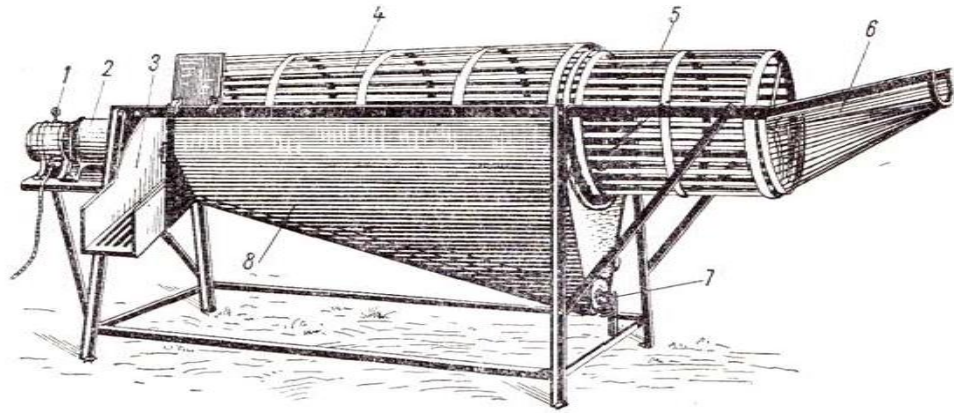


Рис. 1.7 - Барабанна однокамерна коренебульбоплодна мийна машина ПБ-1500: 1 - електродвигун; 2 - черв'ячний редуктор; 3 - випускний лоток; 4 - мийний барабан; 5 - барабан для сухого очищення продукту; 6 - завантажувальний лоток з металевих прутів; 7 - грязьовий люк; 8 - корито для води

Вона має два ґратчастих барабана, закріплених на загальному валу. Один з них довжиною 600 мм і діаметром 475 мм служить для попереднього сухого очищення продуктів, а другий довжиною 1480 мм і діаметром 550 мм розташований над коритом для води і є мийним. У першому барабані відділяється 40 – 50 % всіх забруднень, які просіваються під машину.

Сухе очищення скорочує витрату води, підвищує якість миття спрощує роботу по збору і видаленню бруду з відстійників.

Аналіз технологічного процесу барабанних мийок показує, що при сталому режимі і постійних значеннях: n , Σv і h продуктивність буде величиною постійною. Вплив робочих елементів на оброблюваний продукт при цих умовах залишається постійним. Наявність продуктів з різним ступенем забрудненості вимагає різних режимів роботи від однієї машини. Спроби отримати якісний продукт за рахунок збільшення його шару в барабані і рівня води не дають бажаного результату. Досягти це можна

шляхом подвійного пропускання продукту через мийку або зміною величини Σv викидаються лопатями за рахунок перестановки їх або зміни числа. Зі зміною Σv , при незмінних h і n маса продукту, одночасно перебуває в барабані, змінює Q і час t перебування його у воді і якість обробки.

До недоліків даного типу коренебульбоплодних мийних машин відносяться: великі питомі обсяги, велика кількість питомої витрати води і ємностей для її утилізації, що не враховується в теорії динаміка води в обертовому горизонтальному барабані і суб'єктивний підхід до кількості що подається і відводиться технологічної води.

Барабанно-лопатева коренебульбоплодна мийна машина (рис. 1.8) є вдосконаленою конструкцією існуючого типу коренебульбоплодних мийних машин, барабан яких розділений на секції, які чергуються між собою [27]: нагнітальні і витяжні, що мають отвори, розташовані по їх кола і лопаті, встановлені вздовж однієї з крамок отворів, під кутом до поверхні барабана, при цьому лопаті нагнітальних секцій спрямовані назустріч обертання барабана, а витяжні - в сторону обертання барабана.

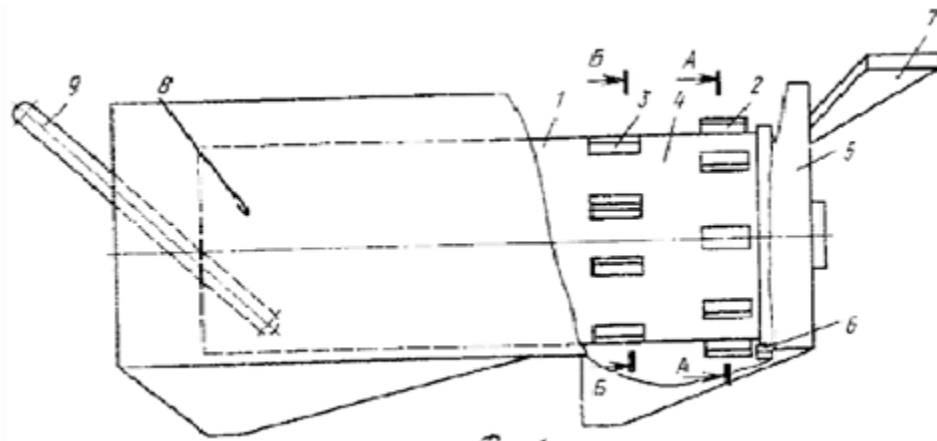


Рис. 1.8 - Схема загального вигляду барабанно-лопатевої коренебульбоплодної мийної машини: 1 - барабан; 2 - нагнітальна секція; 3 - витяжна секція; 4 - проміжки; 5 - ємність з водою; 6 - ролик; 7 - завантажувальна лійка; 8 - скидач; 9 - вивантажний механізм

Лопаті нагнітальних секцій встановлені з можливістю регулювання кута їх нахилу до поверхні барабана. Коренебульбоплодна мийна машина

складається з барабана 1, нагнітальних 2 і витяжних секцій 3 з проміжками 4 між ними, ємності 5, наповненою водою роликів 6, завантажувальної воронки 7 брасивателя 8 вивантажного механізму 9. Аналізуючи розглянуті очисні пристрої коренебульбоплодів, прийшли до висновку, що все типи очисних машин, які ми розглядали мають як свої переваги, так і недоліки, тому в конструкціях очисників зазвичай комбінуються кілька видів робочих органів.

Найбільш повно вимогам якості очищення і ступеня пошкоджуваності відповідають машини, що мають обертається, з горизонтальною віссю, барабанний робочий орган, занурений у воду. Барабан забезпечує коренебульбоплоди можливість перекочування від верхньої точки підйому до нижньої по прямій, що знаходиться під кутом близьким до природного укусу, а також надання частини коренебульбоплодів стану невагомості в рідкому середовищі, що забезпечує в комплексі інтенсивне відмивання бруду шляхом перетирання одна об одну, об стінки барабана і водяний потік.

Технологічний процес очищення коренебульбоплодів складається з операцій їх переміщення по барабану, очищення і вивантаження, а також видалення їх з барабана. Важливою умовою якісної очистки є безперервна переорієнтація положення коренебульбоплодів у барабані. Для здійснення даної операції кращим є очищувач, обладнаний транспортуючим пристроєм (шнек, спіраль, кулачок, штифт, диск, решето, вода і т. д.). Всі транспортуючі органи дають можливість управління якістю коренеплоду при різному ступені їх забруднення, через експозицію, тобто час знаходження коренеплоду на обробці.

Зазначеним вимогам найбільшою мірою відповідає конструкція барабанної коренебульбоплодні мийної машини з паралельно розташованими нагнітальними і витяжними секціями, що чергуються. Перевагою такої очисника є те, що барабан очисника обертається з критичною частотою і розташовується у водяній ванні, а струменем води омивають коренебульбоплоди, здійснюють їх переорієнтацію в просторі, відкидають їх

від внутрішньої поверхні барабана, занурюють у воду і виводять брудну воду з дрібними частинками з барабана .

Універсальні мийні машини. У вітчизняній і зарубіжній практиці барабанні коренебульбоплодні мийні машини мають великі конструктивні особливості, пов'язані з виконанням функцій: відділення механічних домішок, мийки коренебульбоплодів, шліфування поверхні овочів, фруктів і харчових коренебульбоплодів. До таких машин відносяться коренебульбоплодна мийна машина безперервної дії (рис. 1.9), що виключають проміжні технологічні ємності, і добре піддаються автоматизації процесу.



Рис. 1.9 - Коренебульбоплодна мийна машина безперервної дії

Однак вони конструктивно складні через наявність безлічі щіткових механізмів, що оточують внутрішню оболонку барабана, і безлічі форсунок для розпилу води. В цілому ці машини дуже енергоємні і мають великі питомі витрати води.

Комбіновані коренебульбоплодні мийні машини. Даний тип машин поєднує в собі очищення коренебульбоплодів сухим і рідинним способом (рис. 1.10). У цих машинах передбачена додатковий підставний механізм, що виконує функції відділення механічних домішок. Для обслуговування цих машин потрібні великі виробничі площі та витрати по підтримці оптимального мікроклімату в зоні оператора.



Рис. 1.10 - Машина мийна барабанного типу з каменевідбірником

Мийки коренеплодів і овочевих культур для підприємств харчових галузей. Даний тип машин (рис. 1.11) являє закриту ванну, обрамлену знизу обертовими щітками в потоці розпоршених струменів.



Рис. 1.11 - Машина для мийки коренеплодів, овочів, фруктів

Завдяки цьому забезпечується підвищена якість мийки кінцевого продукту. Недоліками таких машин є великі габаритні розміри, складна конструкція і високі питомі енергетичні показники.

Машини щітково-барабанного типу. Вони виготовляються в ПП «Кагуй» для сухої і рідинного очищення. У цих мийках (рис. 1.12) є

рифлений барабан з обертаючими щітками у водяному потоці. У середині барабана розташовано душіруючий пристрій, через який здійснюється подача води. Механічні домішки через отвори в барабані виводяться в конічну ванну, з якої через спеціальний люк вивантажуються в каналізацію [8].



Рис. 1.12 - Машина щітково-барабанного типу (комбінована)

У цих машинах одночасно застосовується механічний, гідравлічний вплив на оброблюваний продукт.

Ці машини дуже дорогі і мають великі габаритні розміри і питому енергоємність.

Мийно-струшуючі машини. Мийно- струшуюча машина (рис. 1.13) призначена для миття овочів і плодів, а також для охолодження їх після теплової обробки. Вона складається з каркаса, душового колектора, ванни і приводу. Каркас має чотири стійки з опорними плитами. До каркасу на чотирьох шарнірних підвісках прикріплено під кутом 5° до горизонту сито, яка вчиняє зворотно-поступальний рух, яке передається від колінчастого вала.

Над ситом встановлений бункер з шиббером для регулювання кількості подаваного продукту і душіруючого колектору з соплами, а під ним встановлена ванна з отвором для зливу відпрацьованої води.

Недоліком даного типу машини є підвищене пошкодження оброблюваного продукту.

Різновидом даного типу мийної установки є клавішний [29], який

супроводжується підвищеною пошкоджуваністю коренеплодів і енергоємністю процесу в порівнянні з іншими.

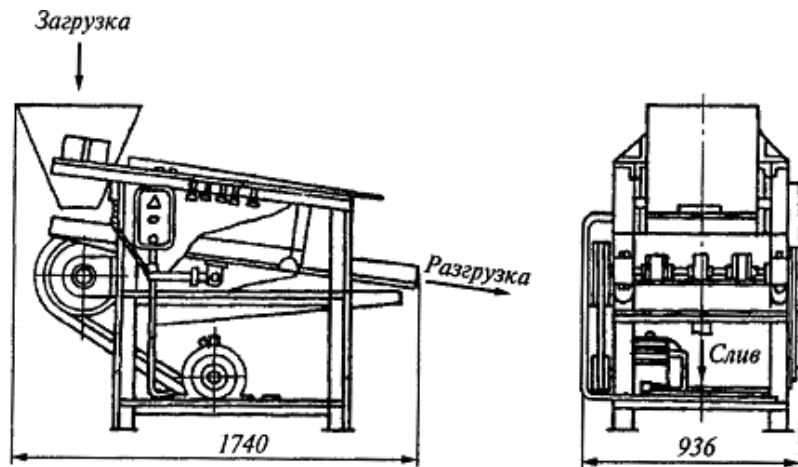


Рис. 1.13 - Схема мийно-струшувальної машини

Для визначення шляхів удосконалення технологічних, конструктивно-режимних параметрів коренебульбоплодних мийних машин розроблено їх класифікацію.

1.3 Класифікація способів і технічних засобів мийки та очищення коренебульбоплодів

Всі машини з миття та очищення коренебульбоплодів овочевих і баштанних культур на тваринницьких фермах, в цукроварної, харчової промисловості та інших підприємствах [17, 28, 30, 31] розділили за такими основними ознаками: спосіб очищення; принцип дії; режим роботи; вид руху робочого органу; конструкція робочого органу; спосіб переміщення коренеплодів у робочій камері; вид впливу робочого органу на коренебульбоплоди; місце розташування пристроїв для відділення механічних домішок; конструкція пристрій виведення продукту; розташування в просторі; способом відведення бруду і брудної води і якість кінцевого продукту.

Розроблено класифікацію способів і технічних засобів мийки та

очищення коренебульбоплодів по найбільш істотним ознакам:

- способу очищення: сухий, рідинний, комбінований.

Сухий спосіб для очищення коренеплодів кращий в польових умовах. Він виключає вивезення родючого ґрунту з полів. При стаціонарних умовах супроводжується великим виділенням пилу і вимагає складних інженерних рішень. Рідинний спосіб більш гігієнічний, проте вимагає великих обсягів відстійників бруду і великих експлуатаційних витрат по їх утилізації. Тому на практиці доцільно застосовувати комбінований спосіб очищення (рис. 1.11), який поєднує в собі позитивні сторони сухого та рідинного очищення. Ці машини складні в конструктивному виконанні і вимагають спеціальних пристроїв з виведення механічних забруднювачів.

- принципом дії: безперервні і періодичні.

Машини безперервної дії (рис. 1.10) є найбільш досконалими в порівнянні з періодичними, так як вони виключають проміжні технологічні ємності і добре піддаються автоматизації процесу.

- режиму роботи: з тривалим і короткочасним циклом.

Короткочасний режим обробки є кращим у порівнянні з тривалим. Він виключає вимивання цінних поживних складових з коренебульбоплодів і вимагає менше виробничих обсягів.

- виду руху робочого органу: обертальний; поступальний; коливальний; струшуючий, комбінований.

З аналізу першоджерел видно, що у більшості машин з очищення коренеплодів перевагу віддано обертальним робочим органам, однак істотним їх недоліком є низький коефіцієнт використання робочого обсягу циліндра, барабана, гуркоти і мала частота обертання, які знижують продуктивність установки і вимагають великих виробничих площ і обсягів. Тому використання комбінованих робочих органів вважається бажаним.

- конструкції робочого органу, що активізують рух коренебульбоплодів: барабанні, лоткові, змійки, гратчасті, шнекові, дискові, вальцьові, щіткові, лопатеві, клавішні, рідинні. Барабанний робочий орган є

найбільш універсальним, використовується для обробки коренебульбоплодів, баштанних, овочевих, плодових та інших культур, в той час як інші робочі органи, наприклад вальцьові (рис. 1.12), мають певну спеціалізацію.

Крім мийки продукту, вони можуть здійснювати їх полірування, а при наявності спеціальних вивантажувальних пристроїв і відділення нерозчинних механічних домішок. Через свою складну конструкцію вони застосовуються в основному в харчовій промисловості.

Конструкції робочого органу поступального руху класифікують на: транспортерні, ланцюгові, ремінні, спіральні. У сільськогосподарському виробництві вони застосовуються дуже рідко через велику пошкодження і втрати початкової маси продукту.

Конструкції робочого органу коливального руху поділяються на: вібраційні, грохотні, клавішні.

Конструкції робочого органу з комбінованим рухом класифікуються на: барабанно-гідротурбінні, вальцево-щіткові, клавишно-гратчасті, барабанно-щіткові, гвинтоструйні, дискоструйні;

- способу переміщення коренебульбоплодів у робочій камері поділяються на: гравітаційні, відцентрові, комбіновані, механічні, гідравлічні, гідромеханічні. У чистому вигляді жоден з цих способів не застосовується за винятком окремих особливостей технологічного процесу.

- виду впливу робочого органу на продукти: тертя продукту про продукт, тертя продукту об поверхню робочого органу, тертя робочого органу про продукт, вплив струменів рідини, механічне, гідравлічне, пневматичне, комбіноване (рис. 1.13).

Комбінована машина [30, 32, 33] призначена для миття картоплі, буряка, ріпи, плодів, фруктів, овочів і баштанних культур.

Продукти надходять в машину через приймальний лоток, піддаються мийці шляхом тертя один об одний і про щітковий покрив барабана при обертанні. Коренеплоди просуваються всередині барабана по напрямних лопатей, промиваються в душіруючого пристрою і направляються на

подальшу обробку. Основними недоліками даної машини є складність конструкції, високі питомі витрати води, висока ціна.

У вітчизняних і зарубіжних машинах, які випускаються в даний час, для миття коренебульбоплодів і овочевих культур застосовуються комбіновані види впливу. Даний тип заслуговує подальшого дослідження з метою модернізації машин вимагають значного зниження питомих витрат ресурсів.

- місця розташування пристроїв для відділення механічних домішок: в миючій машині; перед миючою машиною.

Пристрої для виведення механічних домішок, розташовані перед миючою машиною, мають перевагу перед машинами, в яких механічні домішки відокремлюються в процесі обробки.

- конструкції пристроїв виведення продукту з машини підрозділяються на: плужкові, ковшові, кареточні і комбіновані.

Залежно від виду оброблюваного продукту його фізико-механічних властивостей перевага віддається одній з перерахованих конструкцій. Для створення універсальних машин доцільно використовувати комбіновані вивідні пристрої.

- матеріалом виготовлення пристрою виведення продукту підрозділяються на: сталеві, дерев'яні, капронові, пластмасові та ін.

Найбільш перспективними і індустріальними матеріалами для пристроїв з виведення коренебульбоплодів з агресивного середовища коренебульбоплодна мийна машина машин є капрон, силікон, пластмаса і гума.

- розташуванню в просторі вивантажні пристрої підрозділяються на: вертикальні, похилі, горизонтальні, просторові (комбіновані).

- способом відведення бруду і брудної води: з ручним відведенням з самовідводом (гідрозмив) і з механічним відведенням.

- за якістю кінцевого продукту: із залишковою забрудненістю не більше 2 – 3 %, з механічним пошкодженням не більше 3 % вихідного

продукту, з втратою поживних речовин не більше 3 % [34].

В результаті зробленого аналізу і класифікації способів і технічних засобів коренебульбоплодних мийних машин зроблені наступні висновки:

- найбільш перспективним напрямком в удосконаленні процесу очищення коренебульбоплодів будуть барабанні гідротурбінні коренебульбоплодні мийні машини;

- в основі технологічного процесу відділення забруднювачів з поверхні коренебульбоплодів у коренебульбоплодній мийній машині закладені пасивні методи з подовженим часом технологічного впливу миючої рідини на оброблюваний продукт (тривалість періоду обробки становить 3-6 хв);

- в науково-дослідних роботах вплив динаміки рідини в обертовому горизонтальному барабані з частковим його заповненням продуктами на фізико-механічні властивості коренебульбоплодів, на пропускну здатність машин і якість кінцевого продукту вивчені недостатньо глибоко;

- вивантаження продукту з мийної машини з внутрішньої циліндричної поверхнею, що обертається, для виключення його пошкодження і зниження витрат енергії в перспективі рекомендується оснастити скидачами кускових матеріалів у вигляді гвинтової форми, яка дозволить збільшити частоту обертання барабана, а застосування принципово нової гідротурбіни дозволить збільшити продуктивність і знизити параметри габаритних розмірів пристрою;

- з огляду на зоотехнічні вимоги на якість миття коренеплодів, продуктивність, матеріаломісткість і енергоємність найбільш перспективною машиною слід вважати барабанну коренебульбоплодну миючу машину [6, 18, 26, 28, 30].

1.4 Дослідження поведінки рідини в частково заповненому горизонтальному барабані, що обертається

Рідина, що обертається разом з порожниною навколо горизонтальної

осі, схильна до впливу з боку гравітаційного поля відцентрової сили модульовано осцилюючим в системі, що обертається, полем тяжіння [35].

Інтенсивність осциляційного впливу характеризується параметром $\Gamma = g/\Omega^2 R$ - безрозмірною осциляційною силою.

У відомих барабаних коренебульбоплодних мийних машинах теоретичні основи не враховують поведінку рідини і її вплив на основні конструктивно режимні параметри установки. Однак Іванов А.А. [6] вказує на необхідність вивчення поведінки рідини в залежності від безрозмірної частоти $\omega = \Omega h^2/\nu$. ω - відношення часу дії до характерного часу перенесення імпульсу, де g - прискорення вільного падіння; Ω - швидкість обертання; R - внутрішній радіус барабана; h - середня товщина шару рідини всередині барабана; D - в'язкість рідини.

Залежно від зазначених параметрів мийки вода може знаходитися в трьох якісно різних станах.

При заданій, і високих значеннях Γ , тобто частоті обертання барабана коренебульбоплодної мийної машини, рекомендованої $n_{opt} = (0.35-0.4)n_{кр}$, [25, 35], чиста вода в барабані (рис. 1.14 а) має рівну горизонтальну поверхню.

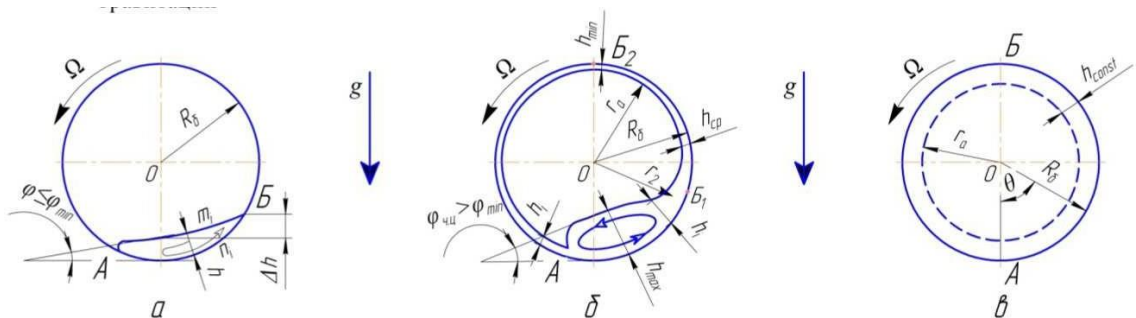


Рис. 1.14 - Схема поведінки рідини в обертовому барабані: а - повний пріоритет сил гравітації, б - часткове центрифугування, в - повне центрифугування

У поперечному перерізі шар води має вигляд сектора з точкою А і Б по сторонам барабана з постійною висотою h . Якісний стан води спокійне під пріоритетом сил гравітації при $n_{opt} \ll n_{кр}$.

У секторі $A_{mi}B_{ni}$ нижні шари води $A_{ni}B$ в результаті осмотичних взаємодій зі стінками барабана захоплюються в рух у напрямку обертання, і, досягнувши верхнього рівня води в точці B , спокійно стікають по лінії $B_{mi}A$ до протилежної сторони точки A .

Подальше зниження значення Γ , тобто нарощування швидкості обертання барабана призводить до посилення впливу відцентрових сил, які більш активно захоплюють нижні шари води уздовж барабана на висоту Δh . Але сили гравітації її повертають назад, тобто починається протидія відцентрової сили з силою гравітації. При цьому поверхня маси води в барабані зміщується на кут φ_i , а стікаюча по стінці барабана вода утворює, стикаючись з водою, що підіймається, хвилі по всій довжині барабана. При подальшому збільшенні швидкості обертання рідина в більшій кількості захоплюється в обертальний рух разом із стінкою барабана (рис. 1.14 б). Товщина шару, відокремлена від сектора в точці B , має h_i і в міру підйому води по стінці до точки B_l зменшує r_a і знижує товщину h до h_{cp} .

Даний режим роботи обертового барабана з рідиною відносять до часткового центрифугуванню.

Рідина, що захоплюється барабаном, входить в нижній шар сектора і в результаті удару утворює западину в точці A і сплеск в секторі, який набуває більш активне обертання. Зі збільшенням швидкості обертання барабана вода залишається розділеною на дві частини. Лише досягнувши порогу центрифугування Γ , вода стрибкоподібно вся приходить в обертання (рис. 1.14 в) і рівномірною товщиною h розподіляється по всьому барабану, тобто переходить в новий якісний стан - повне центрифугування.

З ростом інтенсивності впливу параметра Γ прилеглі до центру шари рідини починають набувати гроноподібного вигляду, частина яких відривається вниз від загальної маси. Такий ефект призводить до зриву режиму центрифугування і новому виникненню ch_i і т. д. Preziosi L. [7] назвав цей стан ползучістю. Можливість застосування даного явища обмежується малими h , тобто тонкими шарами рідини на барабані.

Поріг обвалення шару рідини [8, 9], у високочастотній області Γ визначається як

$$\Gamma_m = \frac{\Gamma}{c} = \frac{1}{3}, \quad (1.24)$$

де Γ_m - модифікована осциляційна сила, що діє у вільній поверхні центрифугованого шару рідини;

$c = a/R$ - безрозмірна відстань від осі обертання до вільної поверхні;

$a = r$ - розмірна відстань.

Проведені дослідження [8, 9] показали, що рідина здійснює середній рух, інтенсивність якого пропорційна Γ_2 і в межі високих частот не залежить від в'язкості, що дає нам підставу приймати робочу рідину - воду, доступну для тваринницьких ферм.

У коротких циліндрах стаціонарні течії генеруються в прикордонних шарах, що створюються торцевими стінками барабана [9]. Тому нами прийнято барабан без бічних стінок [23] з відносною довжиною $i = L/R \geq 2$, що відповідає вимогам викладеним в [4].

Коефіцієнт заповнення барабана водою в коренебульбоплодній мийній машині φ теоретично не обґрунтований, але в багатьох моделях є верхній зливний отвір, який з технологічними параметрами не пов'язаний. Тому, спираючись на [4, 5] і дослідження робіт промислових центрифуг з горизонтальним розташуванням барабана, визначимо

$$\varphi = \left(1 - \frac{V}{V_0}\right)^{\frac{1}{2}}, \quad (1.25)$$

де V - обсяг рідини, що знаходиться в порожнині барабана, м³;

V_0 - обсяг барабана, м³.

Застосування розроблених гіпотез окремо для коренебульбоплодів і рідини слід перевірити в комплексі на розробленій гідротурбінній коренебульбоплодній миючій машині [23].

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ПРИЛАДІВ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОРЕНЕБУЛЬБОПЛОДІВ І КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНІЧНОЇ СХЕМИ БАРАБАНА ГІДРОТУРБИНИ МИЙНОЇ МАШИНИ

2.1 Напрямок вдосконалення мийної машини

Корми надходять на ферму із забрудненістю до 20 % [3, 4, 6]; в результаті недосконалості конструкції і високої енергоємності процесу коренебульбоплодні мийні машини і витрати на їх підготовку ефект від їх використання знижується до нуля [8, 21, 22]. Тому напрямок розробки енергоресурсозберігаючих коренебульбоплодних мийних машин, що забезпечує виробництво конкурентоспроможної продукції, є актуальним.

На підставі аналізу першоджерел по способам і засобам мийки коренебульбоплодів, проведена їх класифікація за основними ознаками, які дозволили виявити шляхи вдосконалення коренебульбоплодних мийних машин за рахунок розширення функціональних можливостей технологічних операцій, зниження енергетичних витрат, виражених відповідними критеріями ефективності.

Перш ніж розробляти нову машину для мийки коренебульбоплодів, необхідно вивчити фізико-механічні властивості коренебульбоплодів на відомих приладах за відомими методиками, а також розробити нові прилади для вивчення мало відомих фізико-механічних властивостей.

2.2 Прилади для визначення фізико-механічних властивостей коренебульбоплодів

2.2.1 Багатофункціональний прилад для виміру параметрів коренебульбоплодів

В процесі проведення досліджень використовувалися загальновідомі

прилади та методики. Відомі прилади, як правило, призначені для виміру одного показника лінійних параметрів коренебульбоплодів або їх маси - це лінійка, штангенциркуль, ваги та ін.. [8].

Лінійкою заміряли довжину коренебульбоплодів, його частин. Діаметр і глибину кореневої канавки - штангенциркулем. Маса коренеплоду або його частин визначали за допомогою ваг.

Недоліками даних приладів є:

- велика трудомісткість і похибка виміру діаметра коренебульбоплодів, наприклад цукрового буряка зі складною конфігурацією і невизначеною формою заглиблень, заповнених корінцями. Для їх виміру використовують одночасно декілька приладів, а після вимірів виробляють наближений розрахунок і потім виконують такі операції за допомогою інших приладів;

- фіксація коренебульбоплодів в лещатах або ложе одночасно вимагає два прилади і відповідно нераціональних витрат часу;

- неможливо визначити центр ваги окремих коренебульбоплодів, не порушуючи їх цілісності.

Найбільш близьким приладом для фіксації предметів є захоплення важеле-фрикційний [9] призначений для механізованої вантажообробки запасних частин з плоскими і круглими поверхнями. Він складається з корпусу, двох важелів, двох тяг, серезки і знімних губок: з рисою, з накладкою з гуми і напівкруглої форми.

Недоліками захоплення важеля є:

- використання його можливо при наявності двох чоловік: один - для утримання коренеплоду між губками, а другий - для управління пристроєм підйому в зафіксованому положенні;

- обмежений набір змінних губок з рисою і напівкруглої форми виключає утримання коренеплоду з вологою або забрудненою поверхнею.

За функціональним призначенням найбільш близьким приладом для виміру нерівних поверхонь є зоотехнічний циркуль [5], який дозволяє заміряти окремі елементи тварин по виступах або западин з одночасним

показом лінійних результатів на шкалі виміру.

Недолік зоотехнічного циркуля: неможливо одночасно заміряти одним приладом довжину і діаметр коренебульбоплоду, масу і центр ваги.

Технічною задачею є розробка багатофункціонального приладу для виміру параметрів складної форми коренебульбоплодів і маси з мінімальними витратами праці.

Технічне завдання вирішується тим, що розсувні дуги стискаються пружиною і мають змінні наконечники на кінцях дуг, а центр обертання розсувних дуг виконаний порожнистим з можливістю з'єднуватися шарнірно з важелем електронних ваг, встановлених на кінці поворотної частини стійки, закріпленої на монтажному ящику (рис. 2.1).

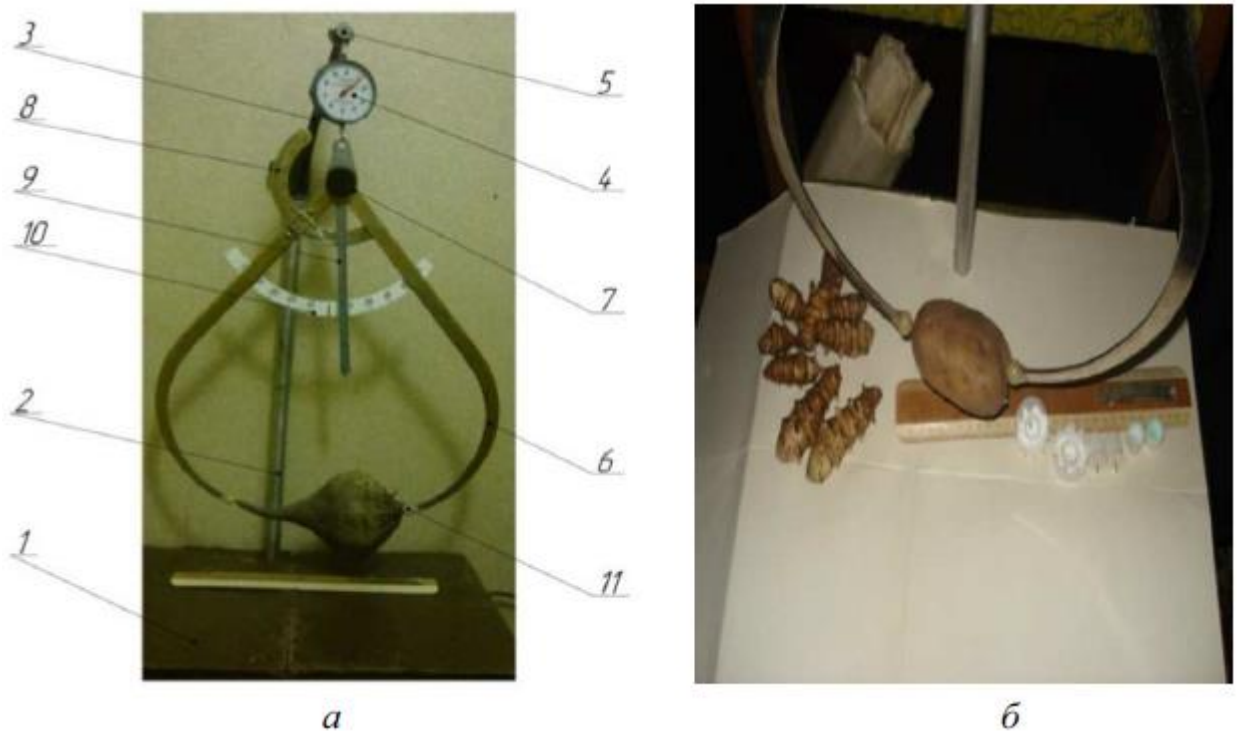


Рис. 2.1 - Багатофункціональний прилад для виміру параметрів коренебульбоплодів: а - замір коренеплоду; б - замір бульбоплодів (нижче розташовані змінні наконечники); 1 - монтажний ящик; 2 - нижня знімна стійка; 3 - поворотна частина верхньої стійки; 4 - ваги знімні; 5 - фіксатор; 6 - розсувні дуги; 7 - пружина; 8 - сектор зі шкалою лінійних вимірів; 9 - стрілка - схил; 10 - шкала виміру центру ваги коренебульбоплодів; 11 - змінні наконечники

Крім того, на важіль електронних ваг встановлюється стрілка-схил, а шкала виміру центру ваги коренебульбоплодів закріплюється на одній з розсувних дуг.

Відмінність пропонованої корисної моделі [5] полягає в тому, що багатофункціональний прилад для виміру параметрів коренебульбоплодів, що включає розсувні дуги з центром обертання, з одного боку, і фіксатором зусилля розкриття дуг і округленими наконечниками на кінці дуг, з іншого боку, причому на одній дузі жорстко закріплений сектор зі шкалою лінійних вимірів, що проходить через рамку для зчитування інформації на іншій дузі, що відрізняється тим, що розсувні дуги стискаються пружиною і мають змінні наконечники на кінцях, а центр обертання розсувних дуг виконаний порожнистим з можливістю з'єднуватися шарнірно з важелем електронних ваг, встановлених на кінці поворотної частини стійки, закріпленої на монтажному ящику.

На важіль електронних ваг встановлена стрілка-схил, а шкала виміру центру ваги коренеплоду закріплена на одній з розсувних дуг.

Перед початком роботи збирають прилад у робочий стан. Для цього відкривають монтажний ящик 1, вставляють в отвір ящика знімну стійку 2, поворотну частину стійки 3 розгортають на 90° і з'єднують зі стійкою 2. На вільний поворотний кінець стійки 3 кріплять електронні ваги 4, на який з можливістю вільно повертатися кріплять фіксатор 5 розсувних дуг 6 циркуля, які постійно стискаються пружиною 7. Показання читають в рамці на другій дузі, а стрілка схилу 9 показує його центр ваги на шкалі 10, закріпленої на одній з дуг 6. На кінцях розсувних дуг 6 встановлюють змінні наконечники 11 з присосками, голками, кульками, для надійної фіксації коренебульбоплодів.

Замір параметрів коренебульбоплодів виконували за методикою:

- з відібраної для дослідження навішування, брали коренебульбоплоди і з кроком, рівним 3, 5, 10, 15, 30, 50 мм, зоотехнічної довжини частинок, для певного виду тварин, або технології подальшої обробки робили заміри

штангенциркулем по взаємно перпендикулярним сторонам;

- фіксували коренебульбоплоди по поздовжній осі наконечниками 11 і записували довжину за показаннями в рамці шкали сектора 8. Центр тяжкості коренебульбоплодів зчитували за показаннями стрілки 9 на шкалі 10, а масу коренебульбоплоди за показаннями електронних ваг 4.

Результати замірів виробляли в 5-кратній повторності та обробляли методом математичної статистики.

Дослідженню піддавалися кормовий буряк сорту Еккендорфський жовтий, буряк цукровий, морква кормова і морква сорту Каротель, картопля сорту Лорх, топінамбур сорту Соняшниковий.

Основні параметри фізико-механічних властивостей коренебульбоплодів визначали на приладі [22] з точністю до 1 мм і результати зводили в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 - Основні параметри фізико-механічних властивостей кормових буряків Еккендорфський жовтий

| Показники коренеплодів | Довжина, мм | Діаметр тах, мм | Кут природного укосу, град | Коеф. тертя спокою по склу, текстоліту | Маса коренеплоду, кг | Щільність гадана, кг/м ³ |
|------------------------|-------------|-----------------|----------------------------|--|----------------------|-------------------------------------|
| Повторність досліджу | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Сума результатів | 1125 | 675 | 193 | 1,85 | 1432 | 3085 |
| Мінімальне значення | 95 | 70 | 36 | 0,32 | 0,520 | 550 |
| Максимальне значення | 355 | 185 | 40 | 0,47 | 0,962 | 660 |
| Середнє арифметичне | 225 | 135 | 38,6 | 0,37 | 0,784 | 646 |
| Середнє квадратичне | 243,3 | 140,9 | 38,7 | 0,38 | 0,81 | 649,1 |

Пропонований багатофункціональний прилад для виміру параметрів

коренебульбоплодів дозволяє з меншими витратами часу і винятком суб'єктивного фактора проводити дослідження практично всіх видів, баштанних, коренебульбоплодів, кормових та інших культур.

2.2.2 Методика і результати визначення вихідної та кінцевої забрудненості

Вихідну і кінцеву забрудненість коренебульбоплодів визначали за методикою [21].

Згідно з якою з бурту (брудних коренебульбоплодів) в п'яти різних точках знизу, середини, зверху і також з іншого боку брали наважку по 25 коренебульбоплодів (рис. 2.2).



Рис. 2.2 - Наважка коренебульбоплодів цукрового буряка до миття

Розподіляли їх за діаметрами на 5 груп. З кожною групою коренебульбоплодів проводили дослідження і отримані середні результати з 5 повторностей. На терезах 1 (рис. 2.4) визначали масу забрудненого коренебульбоплоду, потім закріплювали його затискачем 6 і опускали на тросі 5 в прозору ємність 2 з водою. Вільний кінець троса 5 закріплювали на зажим призми мірної чаші терезів до легкого натягування троса і опускали кінець важеля терезів на 10 мм вниз. У вільну чашу терезів клали гирі або повільно висипали з кухля 4 пісок до тих пір, поки урівноважиться ваговій

механізм, потім знімали чашу з піском і ставили на ваги 1, масу піску записували в таблицю 2.2. Дослід повторювали 5 разів. Дрібні коренебульбоплоди за трос 9 опускали в циліндр *a* чи *б*, попередньо записували рівень обсягу води в циліндрі. Після занурення коренебульбоплоди у воду записували новий рівень води. За відомою формулою визначали щільність ρ_3 забрудненого коренебульбоплода

$$\rho_3 = \frac{m_3}{V_3}, \quad (2.1)$$

де m_3 - маса забрудненого зразка коренебульбоплода, кг;

V_3 - обсяг, займаний забрудненим коренебульбоплодами, м³.

Ретельно, вручну вимивали коренебульбоплоди. Дослід повторювали 5 разів і визначали щільність вимитого $\rho_в$ коренебульбоплода.

$$\rho_в = \frac{m_в}{V_в}, \quad (2.2)$$

де $m_в$ - маса вимитого зразка коренебульбоплода, кг;

$V_в$ - обсяг, займаний вимитими коренебульбоплодами, м³.

З аналізу результатів таблиці 2.2 слід, що окремі коренебульбоплоди в купі перед миттям мали масу від 3,29 кг до 6,11 кг, при середній масі коренебульбоплодів 4,64 кг.

Після мийки маса коренебульбоплодів знизилася від 3,2 до 6,0 кг, тобто з кожного коренебульбоплода віддалилося від 0,09 до 0,11 кг забруднювача.

Ступінь забрудненості вихідної сировини в перерахунку на поодинокі коренебульбоплоди становила від 3,5 до 15,5 %. Верхня частина коренебульбоплодів була «абсолютно» чистою у буряка кормового і цукрового. Забруднювач знаходився в основному на нижній частині коренеплоду, буряка цукрового і моркви. Залишкова забрудненість $\delta_{ост}$ у коренебульбоплодів варіювала в межах від 1,5 до 3,0 %, причому забруднювач знаходився в поглибленнях кореневої канавки, де було найбільше дрібних корінців.

Після ручної очистки маса кожного коренеплоду знизилася відповідно до 1,92-5,62 кг. Забрудненість ґрунтом по окремим повторностям становила

14,9; 3,4; 10,0; 8,5; 7,9 % при середньому значенні забрудненості купи 8,94 %. Крім ґрунту в досліджуваних пробах, були присутні рослинні залишки, шматки дерева та інші включення, що становлять від 0,1 до 6,0 % навішування.

Таблиця 2.2 - Якісні показники кормових буряків

| Показники | Номер повторювання досліджу | | | | | Середнє значення |
|---|-----------------------------|---------|---------|---------|----------|------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Маса корнеклубнеплодів до мийки, кг | 5,15 | 3,85 | 3,29 | 4,82 | 6,11 | 4,644 |
| Маса корнеклубнеплодів після мийки, кг | 5,04 | 3,73 | 3,20 | 4,74 | 5,98 | 4,538 |
| Ступінь забрудненості, вихідної сировини | 15,5 | 3,5 | 11,3 | 10,1 | 8,1 | 9,7 |
| Ступінь забрудненості вимитого корнеклубнеплода | 2,1 | 3,0 | 1,5 | 1,7 | 2,2 | 2,1 |
| Маса абсолютно чистого, (відмитого вручну) корнеклубнеплода, кг | 4,36 | 3,72 | 2,92 | 4,34 | 5,62 | 4,192 |
| Забруднення ґрунтом, % | 14,9 | 3,4 | 10,0 | 8,5 | 7,9 | 8,94 |
| Забрудненість рослинними та ін. включеннями, % | 0,6 | 0,1 | 1,3 | 1,6 | 0,2 | 0,76 |
| Товщина забруднювача на поверхні корнеклубнеплода, мм | 0,1-3,3 | 0,0-1,5 | 0,1-3,1 | 0,0-2,2 | 0,01-3,0 | 1,33 |

Забрудненість по поверхні коренебульбоплода кормових буряків була нерівномірною і варіювала в межах від 0,01 до 3,32 %.

Забрудненість поверхні цукрового буряка сягала 9,9 %. Після

проведення статистичної обробки отриманих результатів по дослідженню купи коренебульбоплодів не перевищувала 4,2 % в залежності від маси окремого коренебульбоплоду, його діаметра D_{max} загальної довжини L , довжини кореневої канавки l_k за даними яких будували графіки (рис. 2.3).

Отримані результати дослідів визначення вихідної забрудненості $\delta_{вих}$ цукрового буряка від маси m_l , максимального діаметра, загальної довжини L , довжини кореневої канавки l_k , представляли у вигляді графіків (рис. 2.3).

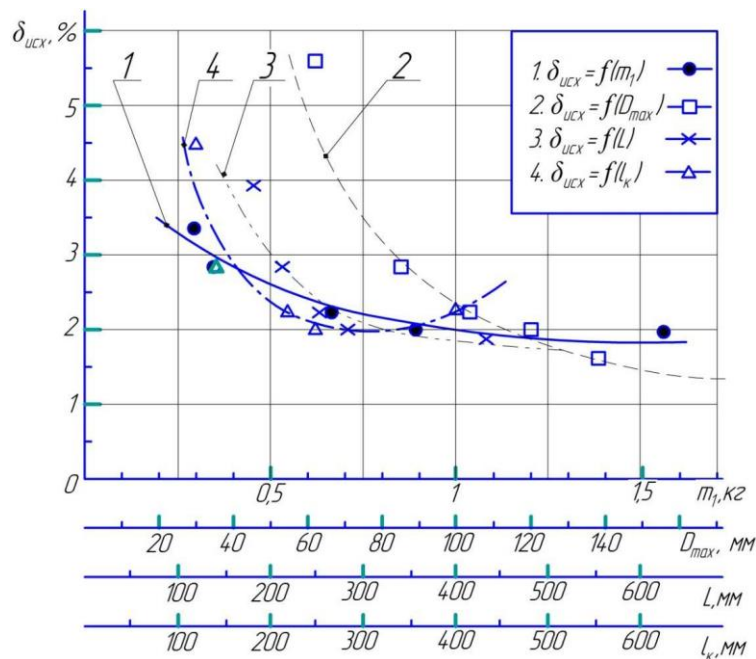


Рис. 2.3 - Графіки залежності вихідної забрудненості $\delta_{вих}$ коренеплодів цукрового буряка від маси m_l , максимального діаметра D_{max} , загальної довжини L , довжини кореневої канавки l_k

З аналізу залежності 1 видно, що вихідна забрудненість $\delta_{вих}$ рівна 3,9 % при масі m_l коренеплоду цукрового буряка, що дорівнює 0,314 кг, зменшується по кривій до 2 % зі зростанням маси коренеплоду до 1,558 кг. На вихідну забрудненість також впливає діаметр коренеплодів. Із залежності 2 видно, що $\delta_{вих}$ зменшується в 2 рази зі збільшенням максимального діаметра коренеплодів в межах від 60 до 139 мм.

Збільшення довжини коренеплоду (залежність 3) L зі 180 до 440 мм сприяє зниженню вихідної забрудненості на 51,3 %. Як видно, на довших

коренеплодах утримується менше маси ґрунту.

Істотною відмінністю цукрового буряка від інших коренеплодів є наявність кореневої гвинтової канавки, розташованої в еліпсності, вісімкоподібних частин коренеплоду, в якій знаходиться найбільша маса важко відокремлюючого ґрунту. Вплив довжини цієї канавки l_k (залежність 4) на забрудненість виражається складною закономірністю і не дозволяє зробити точного висновку про її вплив на вихідну забрудненість, так як вона має різну глибину, ширину і форму з безліччю поглиблень, в яких розташовуються корінці різного діаметру, густоти і довжини, які суттєво впливають на вихідну забрудненість. У наших дослідях $\delta_{вих}$ усереднено коливається $2^{\pm 1-2}\%$.

2.2.3 Прилади і методика дослідження щільності коренебульбоплодів

Розрізняють гадану і дійсну густину коренебульбоплодів [5].

Удавана щільність коренебульбоплодів досліджували для насипної маси ρ_o . Дійсну густину ρ коренебульбоплодів визначали без урахування порожнеч і щільності у воді ρ_v . Виштовхуючу силу коренебульбоплодів у воді позначили $p_{вип}$. Гадану щільність маси визначали на приладах за методикою [5] і результати дослідження представляли у вигляді таблиць. Справжня щільність коренеплодів ρ визначалася в мірних циліндрах 1 і 2, заповнених водою, об'ємом 500 мл з ціною поділки 2,5 мл для виміру топінамбура (рис. 2.1 б) і дрібної моркви, а в циліндрі 2 (рис. 2.4) об'ємом 2000 мл з ціною поділки 5 мл - для виміру середньої і великої моркви і дрібного цукрового буряка. Замір істинної щільності великих коренів цукрових та кормових буряків проводили на багатофункціональному приладі 3 [5]. Він включає: електронні ваги 4; прозору ємність 5, заповнену водою, на кришці 13, якою встановлено ваги важелів 6, мають з одного боку чашу 14, призначену для заповнення піском з мірної чаші або за допомогою наважок, а на другому кінці ваг закріплений трос 8 з затискачем 9 для зачеплення коренебульбоплодів 10, що знаходиться в прозорій ємності 5 зі шкалою 11,

призначеної для визначення кута тертя. Дійсну густину ρ досліджуваних коренебульбоплодів 10 визначали шляхом опускання його на тросі 12 в циліндр 1 або 2. На вихідну забрудненість коренебульбоплодів впливає розмір його діаметра. Виштовхуючу силу коренебульбоплодів у воді визначали на багатофункціональному приладі 3 за такою методикою: закріплювали за один кінець коренебульбоплоди 10 затискачем 9 з тросом 8, опускали його в прозору ємність 5, а трос 8 пропускали через отвір в кришці 13, потім через отвір в чаші 14 закріплювали другим кінцем на коромислі ваг. Врівноважували чаші 14 шляхом додавання гир. Заповнювали прозору ємність водою, спостерігали за поведінкою коренебульбоплодів (стан спокою, початок і вид спливання). Для коренебульбоплодів, які залишилися лежати на дні, визначали необхідне зусилля для підйому шляхом додавання важків на чашу ваг.

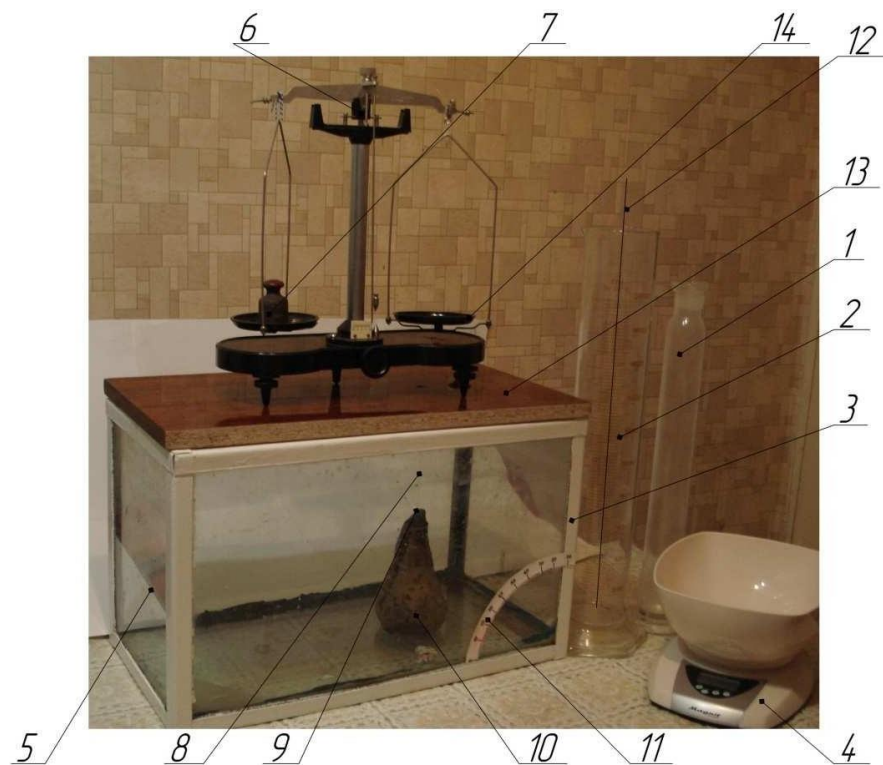


Рис. 2.4 - Прилад визначення щільності коренебульбоплодів і коефіцієнта тертя у воді: 1 - циліндр 500 мл, 2 - циліндр 2000 мл, 3 - багатофункціональний прилад; 4 - електронні ваги; 5 - прозора ємність; 6 - ваги важелів; 7 - важки; 8 - трос; 9 - зажим; 10 - коренеплід; 11 - шкала транспортира; 12 - трос, 13 - кришка; 14 - чаша

З аналізу результатів таблиці 2.3 слід, що коренебульбоплоди, що знаходяться в купі, мали мінімальне значення щільності 657 кг/м^3 для картоплі і максимальне $6 - 840 \text{ кг/м}^3$ для моркви. Отримані параметри уявної щільності коренебульбоплодів дають некоректну оцінку для обліку їх поведінки у воді. Опинившись у воді, вони тонуть, що наочно видно по конкретно заміряних показникам, які характеризують їх дійсну густину в межах від мінімального значення для картоплі 1047 кг/м^3 до максимального для кормових буряків 1123 кг/м^3 . Заміряна щільність коренебульбоплодів у воді показує їх негативну плавучість на величину $232 - 467 \text{ кг/м}^3$. Цю властивість висловимо коефіцієнтом, що показує відношення уявної щільності до істинної, яку необхідно враховувати для проектування параметрів водяних струменів через довжину, ширину, кут входження та інші складові нагнітальних ковшів у гідротурбіні коренебульбоплодній мийчій машині. Кожному значенню H відповідає своє числове значення сил впливу водяних струменів на коренебульбоплоди в обертovому циліндрі, що дозволяють придбати стан невагомості, захоплювати їх потоками води з ковзанням одне за одним, очищати від механічних забруднювачів, які перебувають на їх поверхні.

Отримані властивості коренебульбоплодів використовувалися при розробці гідротурбіни коренебульбоплодної мийної машини і оцінці якості мийки продукту.

Обсяг забруднених (вимитих) коренебульбоплодів (рис. 2.5 а, б) знаходили за законом Архімеда шляхом розрахунку

$$V = \frac{m_{\text{вод}}}{\rho_{\text{вод}}}, \quad (2.3)$$

де $m_{\text{вод}}$ - маса витісненої води, зануреним коренебульбоплодом, кг;

$\rho_{\text{вод}}$ - дійсна густина води, кг/м^3 .

Фактична поверхня коренебульбоплодів A_{ϕ} визначалася по залежності

$$A_{\phi} = \frac{V}{L_k} k_{\text{гф}}, \quad (2.4)$$

де L_k - довжина коренебульбоплода, м;

$k_{зф}$ - експериментальний коефіцієнт, що враховує геометричну форму, довжину коренебульбоплода, сорт, ґрунтово-кліматичні умови його вирощування.



Рис. 2.5 - Прилади для визначення істинної щільності коренебульбоплодів: а - дійсна густина коренеплодів вища одиниці (картопля, буряк); б - дійсна густина коренеплоду менша або дорівнює одиниці (морква)

Удавана щільність коренебульбоплодів ρ_0 визначали на приладі [5], що має можливість змінювати об'єм мірної ємності від 0,1 до 1,0 м³, з площею підстави 0,01 до 1,0 м². Одночасно з виміром обсягу ємності визначали масу завантажених коренебульбоплодів. отримані результати оброблялися за формулою

$$\rho_0 = \frac{m_n}{V_T}, \quad (2.5)$$

де m_n - маса наважки коренеплоду, кг;

V_T - обсяг навішування в тарі, м³.

Наступним показником фізико-механічних властивостей коренебульбоплодів є коефіцієнт тертя.

2.2.4 Прилад і методика дослідження коефіцієнтів тертя коренебульбоплодів по різним конструкційним матеріалам у воді

Дослідження коефіцієнтів тертя спокою, коефіцієнтів тертя руху і кочення коренебульбоплодів у воді по поздовжній осі проводили на приладі (рис. 2.6)

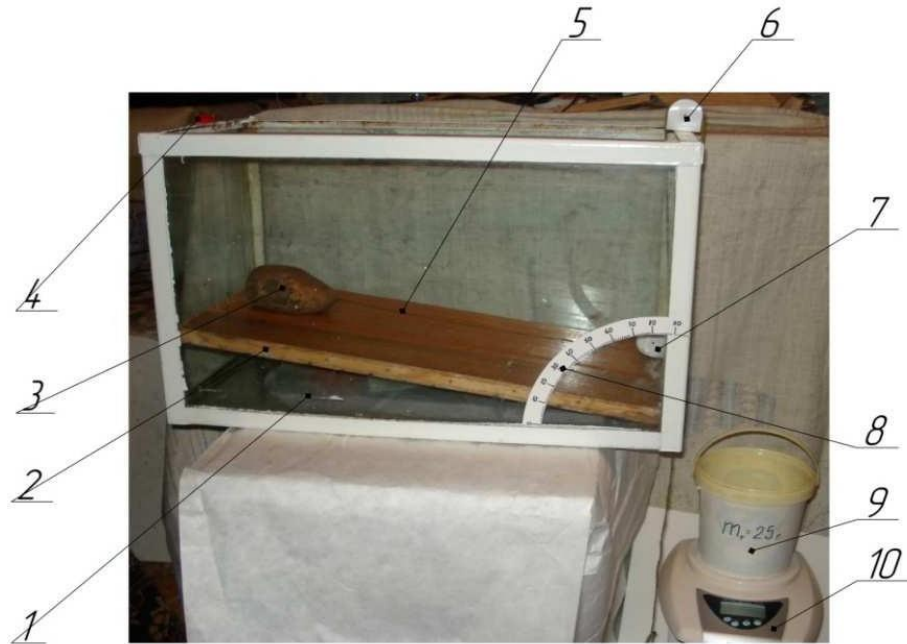


Рис. 2.6 - Прилад для визначення коефіцієнтів тертя коренебульбоплодів у рідині (на фото прилад показаний без води): 1 - ємність для води; 2 - змінна поверхні тертя; 3 - коренебульбоплоди; 4 - фіксатор кута нахилу робочої площини; 5 - трос; 6, 7 - ролик; 8 - шкала транспортира; 9 - тара; 10 - ваги

Прилад для визначення коефіцієнта тертя коренебульбоплодів у рідині складається з прозорої ємності для води 1, в якій розміщена змінна поверхня тертя 2 з можливістю змінювати кут нахилу до горизонту, на яку укладається досліджувані 3 коренебульбоплоди, фіксатор кута нахилу 4 змінною поверхні тертя. Трос 5 з'єднує за допомогою затиску досліджувані коренебульбоплоди з мірної ємністю 9 для піску через ролики 6 і 7, шкала транспортира 8 дозволяє визначати кут нахилу досліджуваної площини з коренебульбоплодів, ваги 10 для зважування маси піску в мірній ємності.

Замір основних параметрів коренеплоду в рідині виконували за методикою [23], а по сухій поверхні за методиками:

Збирали прилад у робочий стан. На змінну поверхню 2, встановлену горизонтально, укладали зважений коренеплід 3. Трос 5 прикріплювали за допомогою затиску одним кінцем до коренеплоду 3, а другим кінцем - до ємності 9. Заповнювали ємність 1 водою і поступово засипали пісок в ємність 9 до початку руху коренеплоду. Зважували масу піску в мірній ємності. Дослід проводили в п'ятикратній повторності, результати обробляли за програмою StatPlus і отримані дані представляли у вигляді графіків і аналітичних виразів.

На експериментальному приладі (рис. 2.6) з використанням змінних поверхонь з різних конструкційних матеріалів (рис. 2.7): 1 - ДСП з синтетичним водостійким покриттям; 2 - дерево вздовж волокон; 3 - дерево поперек волокон; 4 - ДВП водостійка з полірованою поверхнею; 5 – скло, яке не б'ється; 6 - склотекстоліт ГОСТ 12052-67 визначали коефіцієнт спокою, руху різних коренебульбоплодів за такою методикою.

На горизонтально встановлену поверхню тертя 2 укладали коренеплід і піднімали один кінець змінної поверхні тертя, фіксуючи кут нахилу по транспорту до початку його руху (рис. 2.6).

В результаті дослідження поведінки коренебульбоплодів у воді отримали залежності кута тертя спокою φ_n , коефіцієнта тертя руху φ_o , коефіцієнта тертя кочення φ_k від виду конструкційного матеріалу.

Наприклад, з'ясувалося, що коренеплід цукрового буряка з довжиною по поздовжній осі 190 мм і середнім діаметром 110 мм на сухій дерев'яній поверхні вздовж волокон спокійно лежить на площині до кута нахилу 45° . Зі збільшенням кута площини тертя до $46-47^\circ$ коренеплід плавно починав ковзати, причому максимальне значення кута φ_n припадає на розташування головки буряка на високій стороні площині ковзання (рис. 2.8), а найменше - при розташуванні буряка головою вниз. Це пояснюється зміщенням центру ваги в бік руху.



Рис. 2.7 - Змінні поверхні тертя конструкційних матеріалів: 1 - ДСП з синтетичним водостійким покриттям; 2 - дерево вздовж волокон; 3 - дерево поперек волокон; 4 - ДВП водостійка з полірованою поверхнею; 5 – скло, що не б'ється; 6 - склотекстоліт ГОСТ 12052-67



Рис. 2.8 - Початок руху коренеплоду у воді вздовж поздовжньої осі, головою вгору

При положенні коренеплоду поперек напрямку руху на похилій площині він починав зміщатися на сухій поверхні при 42° .

Кут тертя спокою коливався в межах $40-46^\circ$. Викликано це тим, що корінь буряка в поперечному перерізі являє складну фігуру (рис. 2.9) і він

може розташовуватися на площині, контактуючи з нею однією або двома лініями. Щоб йому перекотитися, необхідно «прямокутній» фігурі повернутися через діагональ (min, max), на що потрібен додатковий підйом площині на більший кут.

Аналогічні властивості спостерігалися при переміщенні інших видів коренебульбоплодів по дерев'яній та інших поверхнях.

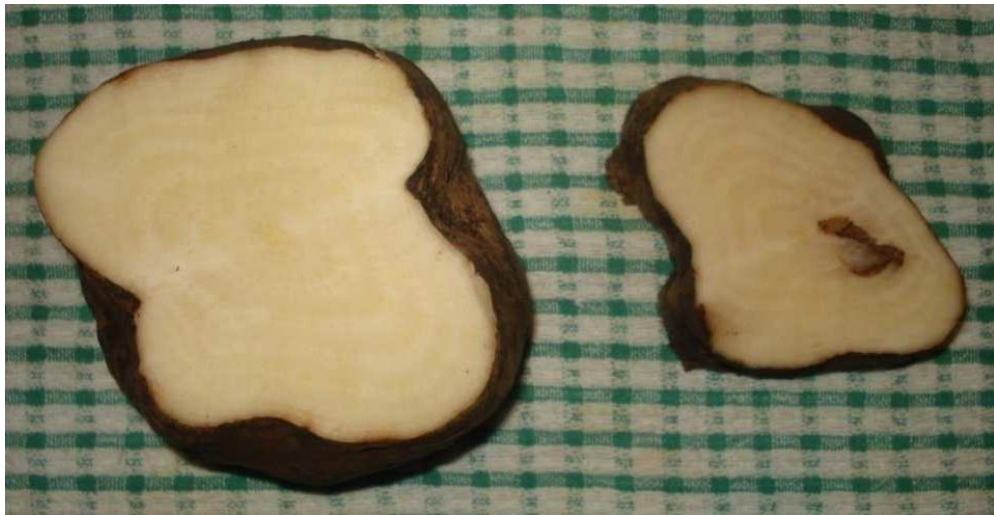


Рис. 2.9 - Поперечний перетин цукрового буряка. Повітряний простір в коренеплоді проглядається у вигляді темної плями

При переміщенні коренеплодів по поверхні з склотекстоліта видно, що кут тертя спокою на сухому матеріалі для всіх коренебульбоплодів менша, ніж по дереву, на $9-11^\circ$. Особливий інтерес представляє поведінка коренеплодів, на текстолітовій поверхні у воді.

Картопля довжиною 145 мм і буряк цукровий брудний довжиною 180 мм починають повертатися, ковзати, погойдуючись при куті нахилу 28° . Причому це явище спостерігається у коренеплодів як хвостиком вниз, так і вгору. Цю властивість бажано використовувати для інтенсифікації самоочищення в установках, що використовують рідину для очищення коренебульбоплодів.

Аналогічні результати дослідження поведінки коренебульбоплодів по поверхні зі скла, що не б'ється (рис. 2.10).

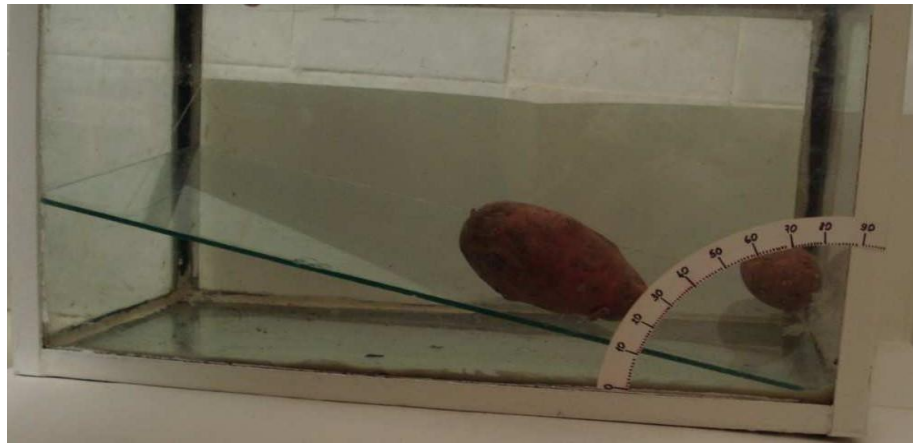


Рис. 2.10 - До визначення кута тертя бульбоплоди на склі, яке не б'ється

2.3 Опис схеми пристрою і робочого процесу гідротурбіни барабанної мийної машини

З аналізу отриманих на розроблених приладах фізико-механічних властивостей коренебульбоплодів і класифікації коренебульбоплодних мийних машин вибираємо барабанний тип, як найбільш конструктивно простий і забезпечує обробку всіх видів і розмірів коренебульбоплодів, а з метою збільшення продуктивності і якості мийки, встановлюємо на барабані нагнітальні ковші і задаємо барабану режим центрифугування, виходячи зі сказаного була розроблена барабанна гідротурбіна коренебульбоплодна мийна машина.

Гідротурбіна коренебульбоплодна мийна машина (рис. 2.11), що включає завантажувальний і вивантажний лотки, корпус, резервуар з миючою рідиною з встановленим в ньому барабаном, що приводиться в обертання, розділеним на нагнітальні і витяжні секції, що чергуються між собою, що мають отвори, розташовані по колу барабана, і лопаті, встановлені вздовж однієї з крамок отворів під кутом до поверхні барабана, при цьому лопаті нагнітальних секцій спрямовані назустріч обертанню барабана, а лопаті в витяжних секціях - в сторону обертання барабана, і скидач коренебульбоплодів, розташований в кінці барабана, відрізняється тим, що всі лопаті нагнітальних і витяжних секцій виконані у вигляді сферичної поверхні, при цьому барабан має додаткову секцію, встановлену в кінці

барабана для видалення води і забруднювачів з поверхні коренебульбоплодів під дією відцентрової сили, а скидач коренебульбоплодів виконаний S-подібної форми з кутом входу в масу коренебульбоплодів, рівним $0 - 5^\circ$, з поступовим збільшенням кута до значення, рівного кута тертя руху коренебульбоплодів по матеріалу зкидача, після чого кут зкидача на виході маси коренеплодів з його поверхні знижується до $5 - 10^\circ$, крім того, на вхідній частині барабана радіально встановлені торцеві ковші з можливістю змінювати величину відкриття за рахунок рухомого обмежувального диска і регулятора продуктивності.

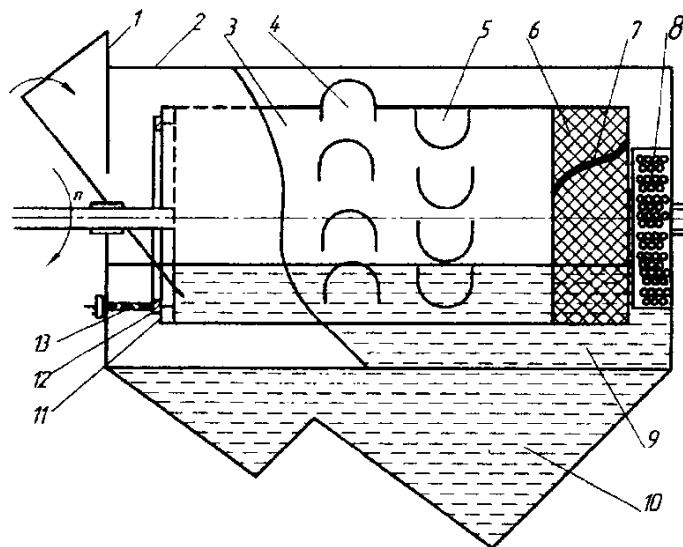


Рис. 2.11 - Схема барабанної гідротурбіни коренебульбоплодної мийної машини: 1 - завантажувальний лоток; 2 - корпус резервуара; 3 - барабан; 4 - секція нагнітання з ковшами; 5 - секція викидання; 6 - секція зневоднення; 7 - скидач коренебульбоплодів; 8 - вивантажний лоток; 9 - вода; 10 - брудозбірник; 11 - торцеві ковші; 12 - диск; 13 - регулятор

Установка працює в такий спосіб. Коренебульбоплоди, що йдуть на обробку, надходять через завантажувальний лоток 1 в обертовий у воді барабан 3, розташований в корпусі 2 резервуара. Під дією відцентрових сил коренебульбоплоди притискаються до внутрішніх стінок барабана нагнітальної секції 4. Ковшами 11 зачерпується вода з боку завантажувальної воронки, і переміщують коренебульбоплоди в бік вивантаження. Ковші

нагнітальної секції зачерпують воду з резервуара 2 і обмивають обтічними струменями, притиснуті до стінок барабана 3 коренебульбоплоди, які під дією їх і сил гравітації падають по криволінійній траєкторії у воду. Коренебульбоплоди, що впали, переміщуються поздовжніми струменями в секцію 5 викидання. У ній струмені води омивають коренебульбоплоди в радіальному напрямку з барабана в резервуар з одночасним переміщенням по осі в наступну нагнітаючу секцію і т.д. Відмиті коренебульбоплоди надходять в секцію 6, де звільняються повністю від води і забруднювачів. Тут під дією відцентрової сили коренебульбоплоди піднімаються вгору до зіткнення зі скидачем 7, який завдяки складній геометричній формі плавно відокремлює порцію відмитих коренебульбоплодів, повідомляє їм спрямовану траєкторію і плавно скидає у вивантажний лоток 8.

Залежно від ступеня забрудненості коренебульбоплодів, виду ґрунту, її фізичного стану встановлюють величину відкриття ковшів 11 за допомогою обмежувальної шайби 12 і гвинтом 13 задає кут відкриття ковшів, а отже масу води, що поступає для переміщення коренебульбоплодів уздовж поздовжньої осі, тобто їх швидкість і час знаходження в рідині - пропускну здатність.

Висновки

1. Розроблені і виготовлені ресурсозберігаючі прилади дозволили визначити справжню і уявну щільність, центр ваги, коефіцієнт тертя, коефіцієнт кочення коренебульбоплодів по різних конструкційним матеріалам у воді.

2. Розроблено методики по визначенню фізико-механічних властивостей коренебульбоплодів у воді, які дозволили отримати вихідні дані і після статистичної обробки звести їх у таблиці і представити у вигляді графіків функції вихідної забрудненості від довжини, діаметру коренебульбоплодів і розмірів кореневої канавки.

3. Розроблено технологічну схему гідротурбіни барабанної

коренебульбоплодної мийної машини, здатної працювати в режимі центрифугування.

4. Основними робочими органами коренебульбоплодної мийної машини є ковші, що мають можливість встановлювати козирки під кутом входження в воду 5-75°, що забезпечує заданий обсяг і натиск рідинних струменів, які задають якість мийки коренебульбоплодів.

5. Розроблено S-подібний комбінований, просторовий вивантажний пристрій, що дозволяє забезпечити задану продуктивність, якість, збереження цілісності коренебульбоплодів при вивантаженні їх з барабана, що працює в режимі центрифугування.

РОЗДІЛ 3. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ, КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ І РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ БАРАБАННИХ ГІДРОТУРБІНИХ МИЙНИХ МАШИН

3.1 Обґрунтування критеріїв ефективного використання енергетичних потоків при підготовці коренебульбоплодів

При підготовці коренебульбоплодів на ефективність їх використання істотно впливають такі чинники: вид коренебульбоплодів (кормовий буряк, цукровий буряк, морква, картопля, топінамбур), вид забруднювачів (механічні, ґрунтові), зовнішні кліматичні умови (температура, вологість), коефіцієнт тертя, питомі витрати енергії, питомі витрати використаної води, матеріаломісткість, питомі експлуатаційні витрати і ціна машини для підготовки коренебульбоплодів.

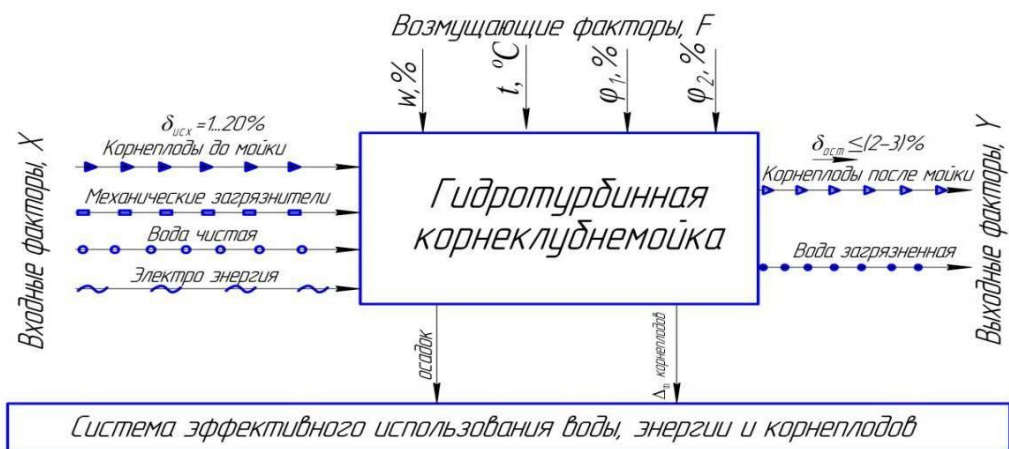


Рис. 3.1 – Функціональна модель основних матеріально-енергетичних потоків в ПТЛ підготовки коренебульбоплодів w - вологість забруднювачів, %; t - температура середовища, $^{\circ}\text{C}$; φ_1 -коефіцієнт тертя коренебульбоплодів по конструкційних матеріалів; φ_2 - коефіцієнт опору зрушення коренебульбоплодів у воді; Δ_m - втрати початкової маси коренебульбоплодів, кг

Всі перераховані багатокритеріальні фактори, що впливають на

коренебульбоплоди для їх оптимального очищення шляхом видалення забруднювачів до нормативних показників, уявімо у вигляді основних матеріальних потоків поточних технологічних ліній (ПТЛ) підготовки коренебульбоплодів (рис. 3.1).

Так як ПТЛ підготовки коренебульбоплодів є перетворювачем матеріальних, енергетичних, інформаційних та інших потоків, представимо її у вигляді багатокритеріального об'єкта управління.

Найбільш узагальнено дану ПТЛ представимо у вигляді інформаційно-технологічної моделі (рис. 3.2).

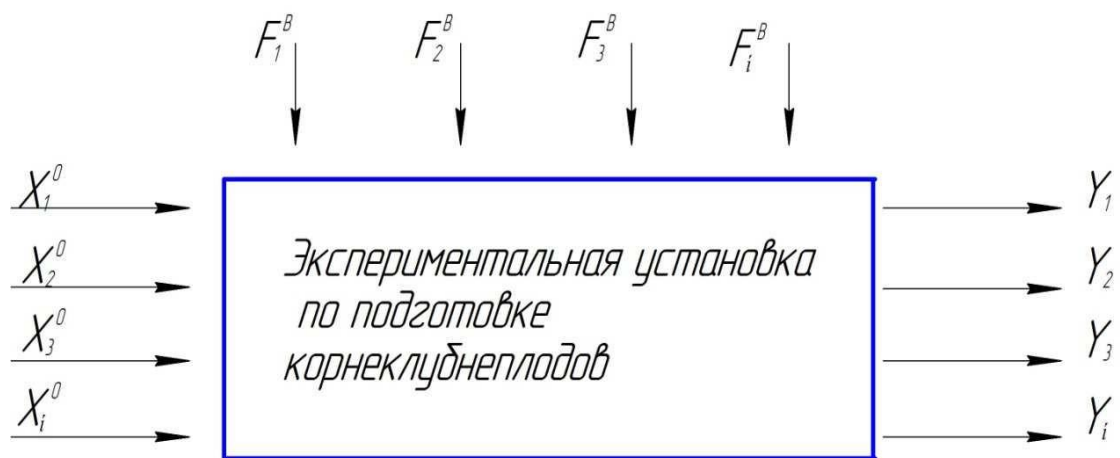


Рис. 3.2 - Модель взаємодії матеріальних потоків у ПТЛ гідротурбіни барабанної коренебульбоплодної мийної машини

На вході до коренебульбоплодної мийної машини діє векторна змінна управління X^0 потоком коренебульбоплодів зі змінними складовими $X^0_1 \dots X^0_i$. До цих змінних відносяться параметри вхідних мас забруднених коренебульбоплодів, не пов'язаних механічних забруднювачів, маса чистої води, енергетичні витрати на привід механізмів, що подають коренебульбоплоди у мийку, маса попередньо відокремлених домішок і витрати енергії, що характеризують надходження забруднених коренебульбоплодів у мийку по відношенню до затребуваної маси вимитих і відокремлених від механічних домішок коренебульбоплодів для тваринницької ферми з відповідною подачею води і т.д. У формі впливів, що

характеризують умови протікання технологічного процесу щодо задоволення запитаного обсягу вимитих коренебульбоплодів, позначена векторна функція F^e з складовими $F^e_1 \dots F^e_i$. До них відносяться відповідно порушення періодичності відбору готових коренебульбоплодів, викликані нерівномірністю графіка руху стада, змінними складовими фізіологічного стану тварин, прибирання осаду, відсутністю автоматичних приладів контролю за забрудненням води у ванні і, як наслідок, суб'єктивним підходом оператора до цих процесів та ін. Продуктивність коренебульбоплодної миючої машини слід визначати не чистою масою оброблених коренебульбоплодів в одиницю часу, а з урахуванням маси відокремлених забруднювачів і пошкоджених елементів коренебульбоплодів. За традиційного підходу змінні стану працездатності коренебульбоплодної миючої машини опишемо вектором Y зі складовими $Y_1 \dots Y_i$, які характеризують продуктивність коренебульбоплодної миючої машини по готовому продукту з урахуванням відокремленої маси забруднювача і пошкоджених частин коренебульбоплодів.

Розмірність векторів X^0 , F^e , Y для технологічного процесу мийки коренебульбоплодів різноманітна (кг/с, кВт/ч, люд.-год, м³/год, грн/ц і т.д.), і врахувати всі їх складові об'єктивно складно. Тому тільки частина з них враховується при постійному контролі й управлінні технологічними процесами мийки коренебульбоплодів і вони розглядаються як випадкові функції [20].

Значення складових векторів змінних станів Y залежить від складових векторів X^0 , F^e , які можуть розглядатися як наслідок технологічних процесів всього циклу отримання тваринницької продукції. По відношенню до кожної зі складових вектора змінних стану Y компоненти векторів X^0 , F^e можуть інтерпретуватися як причини, що впливають на вектор змінних станів об'єкта управління. Отже, вектори X^0 , F^e можна об'єднати в одну групу вхідних змінних, описуваних вектором X , тому коренебульбомиючу машину з підготовки коренебульбоплодів можна представити у вигляді моделі, на

вході якої діє векторна випадкова функція X , а на виході формується векторна функція Y , якісні критерії якої повинні відповідати «банку» запиту споживача. На виході з коренебульбоплодної миючої машини можна теоретично отримати вектор Y , відповідний запитуваній масі $m_{ч.к.}$ - чистих коренебульбоплодів під певну продуктивність тварин і їх поголів'я, що обслуговується експериментальної коренебульбоплодної миючої машини на фермі за формулою

$$Y = m_{ч.к.} = \sum(n_{ж} m_{сут}), \quad (3.1)$$

де Σ – сума;

$n_{ж}$ - поголів'я групи тварин, гол.;

$m_{сут}$ - добова маса коренебульбоплодів у раціоні даної групи тварин, кг/гол.

Фактично мийна машина повинна видати більшу кількість маси коренебульбоплодів на величину допустимої залишкової забрудненості $\delta_{ост}$, щоб не порушити енергетичну цінність раціону

$$Y_{в.ых} = m_{ч.к.} = \frac{\sum n_{ж} m_{сут} (100 + \delta_{ост})}{100}, \quad (3.2)$$

де $\delta_{ост}$ - допустима по зоотехнічним нормам залишкова забрудненість коренебульбоплодів, що знаходиться в межах 2 – 3 % [22].

На вході в коренебульбоплодну миючу машину векторні складові включають всю масу коренебульбоплодів з його забрудненням до 20 %. Отже, коренебульбоплодна миюча машина повинна переробити масу $n_{ж} m_{сут} (100 + \delta_{исх})$, щоб видати масу готового продукту $\sum n_{ж} m_{сут} (100 + \delta_{ост} + \Delta_m) / 100$.

Втратами початкової маси Δ_m є уламки корінців, відколи, маса розчинених поживних речовин, які пропорційно залежать від часу t знаходження коренебульбоплодів у воді робочого об'єму барабана.

Таке представлення коренебульбоплодної миючої машини з підготовки якості коренебульбоплодів дає можливість формально розглядати її як об'єкт,

у якому випадкові функції змінних (вид коренебульбоплодів, його розмірів, коефіцієнту забрудненості, особливості забруднювачів, коефіцієнту зсуву забруднювача з коренебульбоплодів, показник розчинності у воді забруднювача і ін. чинники) управління X_i ($i = 1, \dots, n$) перетворюються у вихідні випадкові функції змінних стану Y_i ($i = 1, \dots, m$). Кожна із змінних стану Y_i , незважаючи на їх імовірнісний характер, повністю визначається змінними управління X , і повинна керувати масою і якістю запитаного продукту.

Уявімо коренебульбоплодну мийочу машину як систему, яка здійснює спрямований вплив сил гравітації, відцентрових та інших сил на масу коренебульбоплодів з метою зміни його властивостей до зоотехнічних норм, що виконується в самій машині, і стадо як центральний об'єкт, що виробляє запитану продукцію тваринництва.

На вході до коренебульбоплодної мийочної машини векторна змінна управління $X_{заг}$ завантажувальною масою $m_{заг.кор.}$ виражається рівнянням:

$$Y_{загр} = m_{загр. кор.} = \frac{\sum n_{ж} m_{сут} (100 + \delta_{исх} + \Delta_m)}{100}, \quad (3.3)$$

де $\delta_{вих}$ - вихідна забрудненість коренебульбоплодів (маси), %;

Δ_m - втрати початкової маси коренебульбоплодів у вигляді соку, відламаних корінців, відокремлених частинок коренебульбоплодів та ін. %.

Як видно з рівняння (3.3), потоки ресурсів коренебульбоплодної мийочної машини різного типу, оцінюються одним показником виходу кінцевого продукту, в той час як технологічний процес очищення і мийки коренебульбоплодів складається з особливостей фізико-механічних властивостей забруднювачів, наприклад піщаний ґрунт на кормовій буряку або суглинний ґрунт на цукровому буряці. У першому варіанті забруднювач в міру зберігання в кагатах обсипається з коренебульбоплодів і значною масою відділяється при транспортуванні до коренебульбоплодної мийочної машини. У другому варіанті в міру зберігання коренебульбоплодів забруднювач міцніше скріплюється з коренебульбоплодами і гірше

розчиняється і триваліше змивається з нього водою, вимагаючи багаторазового перетирання, а отже, витрат енергії, часу. знижуючи пропускну здатність викликаючи втрати початкової маси. Тому, на наш погляд, коренебульбоплодну мийну машину слід характеризувати наступними показниками: продуктивність висловлювати масою вимитих коренебульбоплодів, масою відмитого забруднювача, втратою початкової маси, питомими витратами енергії, питомими витратами води, займаними виробничим обсягами мийної установки.

Виходячи зі сказаного, продуктивність Q (кг/с) коренебульбоплодної мийної машини висловили у вигляді

$$Q = \frac{\sum n_{ж} m_{сут} (100 + \delta_{исх} + \Delta_m)}{T_p \cdot 100}, \quad (3.4)$$

де T_p - тривалість затребуваного технологічного циклу, год.

При побудові моделі системного ефективного використання енергоносіїв, для роботи з різними потоками: коренебульбоплодів, води, електрики, забруднювачів, людської праці, матеріалів використовуються різні одиниці виміру їх величин, тому для аналітичної обробки доцільно виражати їх еквівалентним показником, наприклад, Джоулем [6].

3.2 Потенційна можливість теплонасичення кінцевого продукту

Для досягнення поставленої мети, підвищення ефективного використання корму і зниження питомих витрат на мийку коренебульбоплодів необхідно встановити закономірності перетворення вхідних потоків енергоносіїв (рис. 3.1) в енерговмісті кінцевого продукту.

Відомо, що найбільш енерго- і ресурсномістким технологічним процесом є процес годування тварин і підтримки мікроклімату в приміщенні [31]. Для управління даним ресурсоемним процесом розроблені спеціальні програми, що поєднують комп'ютерні системи ефективного використання енергоносіїв при виробництві м'яса, молока та іншої продукції тваринництва.

Необхідна технологічна інформація вноситься в базу даних за допомогою автоматизованих робочих місць (АРМ) з інформаційно-вимірвальними перетворювачами (ПП). Отримана інформація використовується для моделювання стада, мікроклімату, складання оптимальних раціонів [6], складу кормосуміші, а також часу роздачі кормів. При цьому здійснюється системний підхід до організації потоків енергії, ресурсів для їх обліку і доставки до адресата, тобто конкретного тваринного, з оптимальними параметрами.

Тут центральним об'єктом є тварина як перетворювач енергетичних, трудових та інших ресурсів в якість кінцевого продукту. У розроблених математичних моделях до кожної тварини висувається ряд вимог: в першу чергу, модель повинна дозволяти прогнозувати продуктивність і необхідний енерговміст корму на будь-який період часу. У розроблених моделях [2, 6] враховується потенційна продуктивність тварин в залежності від температури в приміщенні, маси тварини і інших чинників. Вихідними складовими раціону для великої рогатої худоби і свиней є великі маси коренебульбоплодів, силосу та ін. Ці корми в сховищах мають температуру +5 ... 15 °С, а в процесі транспортування, мийки, змішування та інших операцій їх температура взимку опускається за нульову позначку і при згодовуванні такого корму тварини застуджуються, знижуючи продуктивність, хворіють і спостерігаються випадки абортів. Тому коренебульбоплоди доцільно мити в теплій воді, що підвищує їх температуру, що робить їх, як показала практика, більш комфортними і енергонасиченими, з одного боку, а також забезпечують більш ефективне розм'якшення і відділення забруднювачів від коренебульбоплодів. У теплій воді, за нашими спостереженнями, швидше розчиняються і в більшій кількості глина, чорнозем та інші види ґрунту, що знаходяться на поверхні коренебульбоплодів, при цьому вони більш інтенсивно відокремлюються від коренебульбоплодів без їх пошкодження.

Розрахунок необхідної кількості тепла Q_c , як самостійного

енергетичного потоку, висловимо рівнянням:

$$Q_3 = Q_{кор} + Q_{загр} + Q_{вод} + Q_{маш}, \quad (3.5)$$

де $Q_{кор}$ - потреба енергії для нагріву коренебульбоплодів, Дж;

$Q_{загр}$ потреба енергії для нагріву забруднювачів, Дж;

$Q_{вод}$ - потреба енергії для нагріву мийної води, Дж;

$Q_{маш}$ - потреба енергії для нагріву мийної машини, Дж.

У свою чергу, кожна складова (3.5), є функцією інших складових.

Потреба енергії $Q_{кор}$ для нагріву коренебульбоплодів складе

$$Q_{кор} = m_{кор} \cdot c_{кор} \cdot K_{с_{кор}} (t_k - t_n), \quad (3.6)$$

де $m_{кор}$ - маса коренебульбоплодів, підготовлених до видачі, відповідна планової продуктивності прийнятої для конкретної тваринницької ферми, кг;

$c_{кор}$ - питома теплоємність і виду коренебульбоплодів, Дж/(кг К) [7].

Для кормових буряків $c_{кор} = 13,84$ Дж/(кг К), для картоплі 13,00 Дж/(кг К);

$K_{с_{кор}}$ - коефіцієнт втрати тепла конвекцією за час зберігання готового корму [7];

t_8 - час зберігання коренебульбоплодів від підготовки до видачі, с. За зоотехнічним нормам воно не повинно перевищувати 4 годин [8, 21].

Призначений час t_8 зберігання коренебульбоплодів встановлено, виходячи з їх збереження (самонагрівання або замерзання). Цей час слід скоротити до 1 години з метою збереження акумульованого тепла та якості в підготовленому кормі.

t_k, t_n - температура продукту відповідно спочатку процесу обробки і в кінці, град.

Потреба енергії для нагріву $Q_{загр}$ забруднювачів

$$Q_{загр} = \frac{m_{кор}(100 + \delta_{исх})}{100} \cdot c_{загр} (t_2 - t_1) = m_{загр} c_{загр} (t_2 - t_1), \quad (3.7)$$

де $Q_{загр}$ - маса забруднювача, кг;

$c_{загр}$ - усереднена питома теплоємність забруднювача, Дж/(кг · °К);

t_2, t_1 - температура забруднювача відповідно на початку процесу і в кінці, °К.

Потреба енергії для нагріву $Q_{вод}$ з води

$$Q_{вод} = m_{в} c_{в} \varepsilon (t_2 - t_1), \quad (3.8)$$

де $m_{в}$ - маса води для мийки коренебульбоплодів, кг.

$c_{в}$ - питома теплоємність води, Дж/(кг · °К);

ε - коефіцієнт, що враховує зміну теплоємності води від ступеня забрудненості;

t_2, t_1 - температура води відповідно спочатку процесу і в кінці, °К.

Кількість теплоти $Q_{маш}$ необхідної для нагріву коренебульбоплодної мийної машини і втрачається в навколишнє середовище визначається за формулою

$$Q_{маш} = Q_{ст} + Q_{ср}, \quad (3.9)$$

де $Q_{ст}$ - кількість теплоти, необхідної для нагрівання коренебульбоплодної мийної машини, Дж;

$Q_{ср}$ - кількість теплоти, необхідної для компенсації втрат в навколишнє середовище машиною, Дж.

$Q_{ст}$ визначається за формулою

$$Q_{ст} = G_{ст} c_{ст} (t_2 - t_1), \quad (3.10)$$

де $G_{ст}$ - маса коренебульбоплодної мийної машини, кг;

$c_{ст}$ - питома теплоємність стінок коренебульбоплодної мийної машини, Дж/(кг · °К).

$Q_{ср}$ знаходиться по формулі

$$Q_{ср} = F \beta t_p (t_2 - t_1), \quad (3.11)$$

де F - площа поверхні коренебульбоплодної мийної машини стикається із зовнішнім середовищем, м²;

β - коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м² · К).

Отже, підвищити рентабельність тваринницької продукції можна за рахунок зниження витрат ресурсів на мийку коренебульбоплодів шляхом

підвищення їх ефективності від згодовування через додатково отриману продукцію за рахунок підведеного тепла з рекупераційною водою.

3.3 Теоретичне обґрунтування параметрів барабана гідротурбіни мийної машини

3.3.1 Продуктивність і вибір режиму роботи установки

Відомо, що продуктивність Q (кг/год) аналога барабанної машини [30] виражається рівнянням

$$Q = 60nm_qz_q, \quad (3.12)$$

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

m_q - маса коренебульбоплодів, що вивантажують одним черпаком за оборот барабана, кг;

z_q - кількість вивантажувальних черпаків у барабані, шт.;

Критична частота $n_{кр}$ обертання барабана визначається за формулою

$$n_{кр} \approx \frac{30}{\sqrt{R_\delta}}, \quad (3.13)$$

де R_δ - радіус барабана, м.

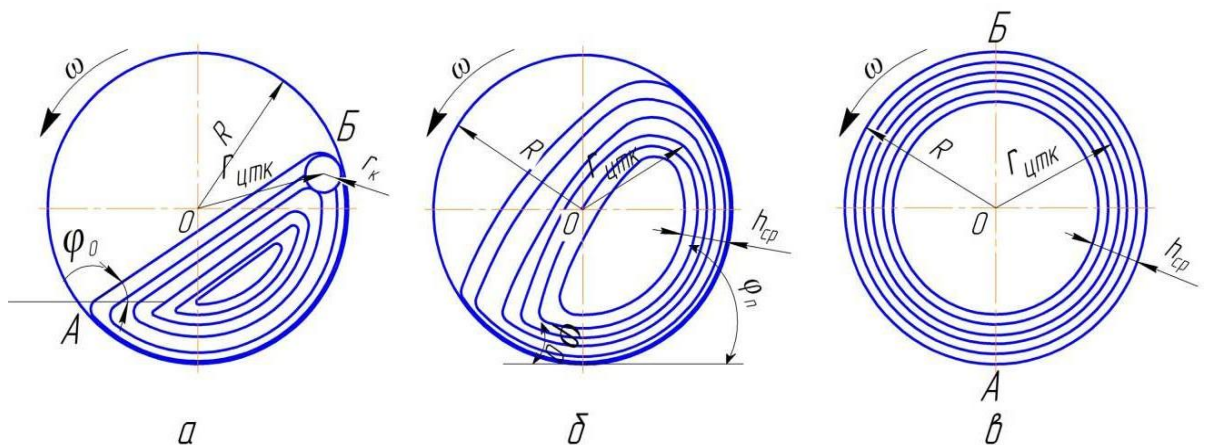


Рис. 3.3 - Схема руху коренебульбоплодів у барабані в залежності від частоти обертання: а - частота обертання дорівнює $0,45n_{кр}$; б - частота обертання дорівнює $n_{кр}$; в - частота обертання $n > n_{кр}$; R_δ - радіус барабана; r_k - радіус коренебульбоплоди; $r_{ик}$ - радіус центра ваги коренебульбоплодів; $h_{ср}$ - середня товщина шару коренебульбоплодів

При обертанні барабана з таким режимом роботи коренебульбоплоди із середнім r_k - радіусом піднімаються по внутрішній стінці за рахунок сил тертя від точки А до точки Б (рис. 3.3а) і зсипаються під кутом природного укосу φ_0 (при товщині шару h_{cp} , перекочуються один по одному, зчищаючи шар забруднювача, омиваються у воді і знову захоплюються барабаном в обертання.

Як видно з рис. 3.3а, коренебульбоплоди беруть участь в мийці шляхом перетирання тільки по довжині хорди АБ, а весь інший обсяг пасивно переміщається від низу до верху, займаючи зайві обсяги. Для інтенсифікації роботи коренебульбоплодної мийчої машини, частота обертання барабана може бути збільшена до $n = n_{кр}$ [4]. При цьому частина коренебульбоплодів, найбільш віддалених від центру барабана, при традиційній технології переходить за критичну висоту точки Б (рис. 3.3б) і, не відриваючись від стінки барабана, втягується в наступний оборот, що знижує пропускну здатність машини і веде до нераціональних витрат енергії і травмування коренебульбоплодів.

В експериментальній установці частоту обертання барабана приймаємо $n_{опт} > n_{кр}$ (рис. 3.3в), при якій всі коренебульбоплоди будуть залучені в безперервний обертальний рух, маючи середню товщину h_c по всьому периметру - режим центрифугування, що вимагає нового конструктивного підходу для залучення їх у взаємне переміщення.

Для інтенсифікації технологічного процесу мийки коренебульбоплодів необхідно скоротити час перебування їх в робочій частині барабана шляхом змінного впливу на них водяних струменів створених нагнітальними ковшами. Це забезпечує підвищення ефективності мийки коренебульбоплодів при досить великій частоті обертання барабана установки [27].

Коефіцієнт заповнення барабана φ рекомендують [8, 25] приймати 0,25 - 0,35. Корисний об'єм у відомих типах мийних установок використовується

нераціонально, займаючи великі виробничі обсяги будівель, збільшуючи експлуатаційні витрати. Продуктивність барабанної гідротурбіни коренебульбоплодної мийної машини визначиться залежністю

$$Q_{\epsilon} = 3600 \varphi_{\epsilon} \pi R_{\epsilon}^2 v_{\text{т}} \rho_{\text{к.в}} K_{\epsilon}, \quad (3.14)$$

де Q_{ϵ} - продуктивність барабанної коренебульбоплодної мийної машини, кг/год;

φ_{ϵ} - коефіцієнт заповнення обсягу експериментального барабана більше коефіцієнта заповнення барабана φ відомих коренебульбоплодних мийних машин.

$\varphi_{\epsilon} > \varphi$ тобто $(0.35-0.4) > (0.25-0.35)$ приймаємо $\varphi_{\epsilon} = 1/3$;

$v_{\text{т}}$ - швидкість транспортування коренебульбоплодів у ванні, м/с;

$\rho_{\text{к.в}}$ - щільність оброблюваних коренебульбоплодів у воді, кг/м³;

K_{ϵ} - коефіцієнт впливу водяних струменів на якісні показники оброблених коренебульбоплодів, який визначається експериментально і залежить від швидкості водяного потоку і площі його поперечного перерізу $K_{\epsilon} = 1, 1-1, 3$.

Ця залежність не враховує забрудненість, вид забруднювача коренебульбоплодів, час активного впливу робочих органів (робочої рідини) машин і ряд інших чинників.

Теоретичний об'єм барабана, що розробляється, V_p коренебульбоплодної мийної машини виразиться залежністю

$$V_p = \frac{Q_{\epsilon} \cdot t_{\epsilon}}{\varphi_{\epsilon} K_{\epsilon} \rho_{\text{к.в}}}, \quad (3.15)$$

де t_{ϵ} - час перебування коренебульбоплодів у воді експериментальної установки, хв.

Прирівнюючи рівняння (3.4) з перетвореним (3.15) за умови перебування в ПТЛ мийки коренебульбоплодів однією машиною, отримаємо

$$\frac{\sum n_{\text{ж}} m_{\text{сут}} (100 + \delta_{\text{исх}} + \Delta_{\text{м}})}{100 T_p} = \frac{V_p \varphi_{\epsilon} \rho_{\text{к.в}} K_{\epsilon}}{t_{\epsilon}}$$

З цього рівняння визначимо обсяг барабана, що розраховується V_p

$$V_p = \frac{\sum n_{ж} m_{сут} (100 + \delta_{исх} + \Delta_m) t_{э}}{100 T_p \varphi_{э} \rho_{к.в} K_{э}} \quad (3.16)$$

Для затребуваної продуктивності, приймаючи діаметр барабана рівним $D=0,6$ м як найбільш поширений у відомих вітчизняних і зарубіжних барабанних установках, знайдемо його довжину L_b

$$L_b = \frac{\sum n_{ж} m_{сут} (100 + \delta_{исх} + \Delta_m) t_{э}}{100 T_p \varphi_{э} \rho_{к.в} K_{э} F_b}, \quad (3.17)$$

де $F_b = \pi D^2 / 4$ - площа поперечного перерізу барабана, м.

Для розробленого барабана, оснащеного нагнітальними ковшами [9], визначимо обсяг мийної ванни $V_{ван}$ гідротурбіни барабанної коренебульбоплодної мийної машини (рис. 3.4), що забезпечує оптимальний технологічний процес мийки коренебульбоплодів:

$$V_{ван} = V_{э.б.} + V_{ков} + V_{уд.в} + V_{вод} + V_{пас}, \quad (3.18)$$

де $V_{э.б.}$ - об'єм, займаний експериментальним барабаном, з урахуванням секції видалення води і забруднювачів, м³;

$V_{уд.в}$ - обсяг секції видалення води і забруднювачів з поверхні коренебульбоплодів, що поєднує процес вивантаження готового продукту, м³;

$V_{ков}$ - умовний обсяг, який він обіймав ковшами, м³;

$V_{вод}$ - обсяг технологічної води у ванні, м³;

$V_{пас}$ - обсяг пасивного простору коренебульбоплодної мийної машини, м³.

При цьому $V_{ков}$ визначається за формулою

$$V_{ков} = V_{1\text{ ков}} Z_{ков} \eta_{ков}, \quad (3.19)$$

де $V_{1\text{ ков}}$ - обсяг, займаний максимально розкритим ковшем, м³;

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

$\eta_{ков}$ - коефіцієнт використання об'єму ковша.

Обсяг, займаний ковшами, складається з умови відштовхування шару коренебульбоплодів від внутрішньої стінки барабана.

Коренебульбоплоди разом з водою при заданій безрозмірною частоті ω - відношення часу дії до характеру часу перенесення імпульсу та високих значеннях осциляційного впливу Γ при сталому коефіцієнті заповнення барабана φ розташовуються у вигляді сегмента (рис. 3.5), обмеженого хордою АВ, яка є підставою АОВ з кутом α при вершині в центрі кола O барабана. В даному режимі тільки частина коренебульбоплодів всього обсягу сегмента перекочується по хорді АВ, а решта коренебульбоплоди пасивно переміщуються уздовж дуги АСВ.

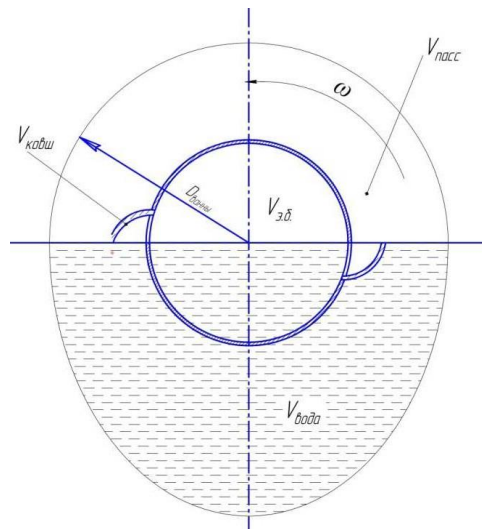


Рис. 3.4 - Схема до розрахунку обсягу мийної ванни гідротурбінної коренебульбоплодно мийної машини

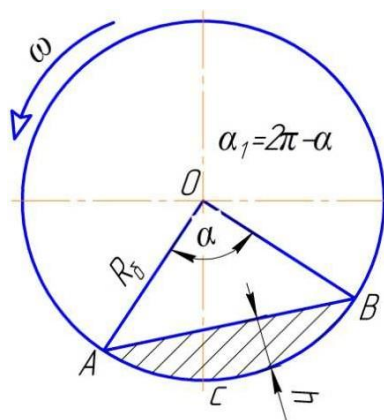


Рис. 3.5 - Схема розташування коренебульбоплодів з водою в барабані

Щоб інтенсифікувати процес очищення коренеплодів, необхідно

збільшити частоту зміни поверхні АВ шляхом збільшення частоти обертання барабана з одночасним руйнуванням цілісності обсягу сегмента струменями води з ковшів з боку ванни і одночасно виключити їх відцентрове обертання у внутрішній частині барабана. При цьому необхідно дотримуватися умова, щоб вся енергія водно-коренеплідної маси сегмента $m_{кор}$ в обертвовому барабані була відкинута енергією маси води $m_{вод}$, створеної нагнітальними ковшами, вираженої рівнянням

$$m_{кор} \cdot \omega_{кор}^2 \cdot r_{ц.т.к.} \leq m_{вод} \cdot \omega_{вод}^2 \cdot r_{ц.т.в.} \quad (3.20)$$

де $m_{кор}$, $m_{вод}$ - маса коренебульбоплодів і води в сегменті, кг;

$\omega_{кор}$, $\omega_{вод}$ - кутова швидкість центра ваги сегмента включаючого коренебульбоплодів з водою, рад/с.

Для оптимізації технологічного процесу роботи гідротурбіни коренебульбоплодної мийної машини умовно поділимо внутрішню частину барабана (рис. 3.6) на рівних сегментів з хордами 1, 2; 2, 3; 3, 4; і т. д. [7] з умови рівномірного заповнення барабана продуктами.

Для зручності інженерного розрахунку довжина цих хорд повинна бути скоригована і стати кратної 3, 6, 12, 24 або 4, 8, 16, 32 і т.д.

Точки ділення окружності барабана з'єднаємо з центром O , в результаті чого отримаємо правильний вписаний багатокутник з центральними кутами α .

Дотримуючись прийняті умови про рівномірності впливу маси води з ванни на масу коренебульбоплодів з водою в сегментах барабана, необхідно рівномірно розподіляти нагнітальні ковші по поверхні барабана з радіусом R_b і довжиною барабана L_b , шляхом побудови описаного багатокутника навколо того ж кола барабана. Для цього коло барабана поділили на рівні частини, зазначених точками (A, B, C, D, E, F), що припадають на середину сегмента з h_{max} . Від кожної з них провели дотичні $N-N$, $M-M$ і т.д. до кола. Обмежили кожну з дотичних точками їх перетину з дотичними, проведеними в сусідніх точках поділу 1, 2, 3, 4, 5, 6. Отримали правильний багатокутник, описаний

близько окружності барабана, з радіусом ковшів $r_{ков}$ великим R_{δ} на b_k , рівну висоті ковша з вершинами трикутників в одному центрі O .

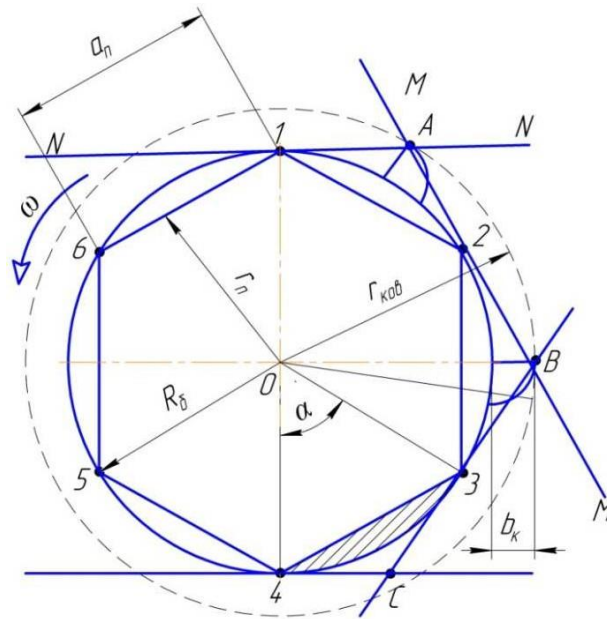


Рис. 3.6 - Схема розташування сегментів, заповнених коренебульбоплодів з водою вписаних в барабан R_{δ} гідротурбіни коренебульбоплодної мийної машини і описаних траєкторією нагнітальних ковшів $r_{ков}$

Сторони і кути багатокутника рівні, так як кожна з них як кут між дотичними вимірюється полярністю дуг, з яких менша завжди дорівнює $1/n$ частині кола. Рівність сторін видно з рівності трикутників А 1 2, В 2, 3 і т.д. Всі вони рівнобедрені, мають рівні кути при вершинах і рівні підстави. Отримані два правильних n - кутника з однаковим числом сторін подібні. Отже, в барабані з виступаючими за його межі ковшами по контуру описаного багатокутника і вписаного кола з одного загального центру O радіусом описаного кола $r_{ков}$ радіус вписаного кола R_{δ} є апофемой. Із законів математики відомо, що апофема R_{δ} завжди менша радіуса $r_{ков}$, тому пріоритет між відстанню до вершини ковшів при заданому n правильного багатокутника визначено з точністю до подібності. Відносини між стороною, апофемой і радіусом будуть залежати тільки від n . Кут α між радіусами, проведеними з центру O , в сусідні вершини вписаного і описаного

багатокутників дорівнює $a=360^\circ/\pi$

За відомим виразами [7] знаходимо одну з наступних складових r_n , a_n, R_6

$$r_n = R_6 \cos \frac{180^\circ}{n}; a_n = 2R_6 \sin \frac{180^\circ}{n}; \frac{a_n^2}{4} + r_n^2 = R_6^2. \quad (3.21)$$

Розглядаючи (3.21), бачимо, що маса коренебульбоплодів і маса води в межах сектора $m_{сек}$ (рис. 3.5) становить

$$m_{сек} = V_6 \varphi_6 (K_{кор} \rho_{кор.в} + K_{вод} \rho_{вод.б.}), \quad (3.22)$$

де V_6 - обсяг барабана коренебульбоплодної мийної машини, м³;

φ_6 - коефіцієнт заповнення барабана коренебульбоплодами.

Розглядаємо його в межах $\varphi_6 = 0,35 - 0,4$;

$K_{кор}$ - коефіцієнт, що враховує відношення коренебульбоплодів у сегменті до його об'єму. Приймаємо $K_{кор} = 2/3$;

$K_{вод}$ - коефіцієнт заповнення водою сегмента $K_{вод} = 1/3$;

$\rho_{кор.в}$ - щільність коренеплодів у воді (експериментальні дані), кг/м³;

$\rho_{вод.б.}$ - щільність води в барабані c і % забрудненістю, кг/м³.

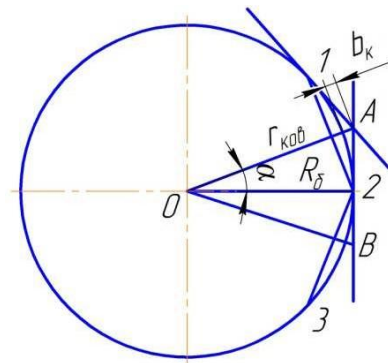


Рис. 3.7 - Схема до теорії визначення висоти b_6 нагнітального ковша

Коренебульбоплоди з водою під дією відцентрових сил $P_{мс}$ в розрахунковому секторі з довжиною l_c притискаються до периферійної стінці барабана

$$P_{мс} = \frac{\pi^2 n^2}{30^2} l_c F_6 \varphi_6 2 \left(K_{кор} \rho_{кор.в} (R_6 - r_{кор})^2 + K_{в} \rho_{вод.б.} R_6^2 \right). \quad (3.23)$$

Маса води, що зачерпується ковшами з ванни, під дією центробіжних

сил проходить через шари коренебульбоплодів і відштовхує їх від стінки барабана.

$$m_{\text{вк}} = \frac{\pi^2 n^2}{30^2} a_{\text{к}} b_{\text{к}} \varphi_{\text{н.к.}} (R_{\text{б}} + b_{\text{к}}) \rho_{\text{вод.б.}} Z_{\text{ков.}} \quad (3.24)$$

Звідки частота обертання барабана

$$\omega_{\text{б}} = \sqrt{\frac{m_{\text{вк}}}{a_{\text{к}} b_{\text{к}} \varphi_{\text{н.к.}} (R_{\text{б}} + b_{\text{к}}) \rho_{\text{вод.б.}} Z_{\text{ков.}}}}, \quad (3.25)$$

де $b_{\text{к}}$ - висота ковша, м. Приймаємо $b_{\text{к}} = d_{\text{к.min,l}}$

$d_{\text{к.min}}$ - мінімальний розмір діаметра коренеплоду (бульбоплоду), що надходить на обробку, м. Ця вимога ґрунтується на тому, щоб виключити проскакування дрібних коренебульбоплодів через нагнітальні ковші у ванну.

У свою чергу, кількість ковшів на барабані коренебульбоплодної мийної машини має дорівнювати

$$Z_{\text{ков}} = \frac{m_{\text{вк.сек}}}{a_{\text{к}} \cdot b_{\text{к}} \cdot \varphi_{\text{н.к.}} (R_{\text{б}} + a_{\text{к}}) \rho_{\text{вод}}}. \quad (3.26)$$

Для отримання більш рівномірного потоку водяних струменів необхідно провести подвоєння сторін багатокутника, відповідно зберігаючи параметри $a_{\text{к}}$, $b_{\text{к}}$

Питомий вплив водяних струменів на коренебульбоплоди визначається за формулою

$$\Omega = \frac{n Z_{\text{ков}}}{Q_{\text{з}} t}, \quad (3.27)$$

де Ω - кількість впливів водяних струменів на тонну коренеплодів на годину;

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

$Z_{\text{ков}}$ - кількість нагнітальних ковшів, шт;

t - час знаходження коренеплодів у воді, хв ;

Q - продуктивність коренебульбоплодної мийної машини, т/год .

З іншого боку, висота ковша $b_{\text{к}}$ знаходиться зі складових двох правильних багатокутників, один з яких вписаний в коло барабана, а інший описаний навколо неї

$$b_k = r_{\text{ков}} - R_6. \quad (3.28)$$

Всі коренебульбоплоди всередині барабана, від секції завантаження l_1 , переміщуються до секції видалення води і забруднювачів l_4 . Тут відбувається остаточне видалення механічних домішок і води у ванну під дією відцентрових сил.

Робочу площу $S_{уд}$ секції l_4 , можна визначити за формулою

$$S_{уд} = 2 \pi R_6 l_4 \eta_{уд}, \quad (3.29)$$

де $S_{уд}$ - робоча площа секції видалення води і забруднювачів з поверхонь коренебульбоплодів, м²;

$\eta_{уд}$ - ККД секції видалення води і забруднювачів з коренебульбоплодів;

l_4 , - довжина секції видалення води і забруднювачів з коренебульбоплодів, м.

Довжина секції видалення води і забруднювачів з коренебульбоплодів

$$l_4 = \frac{Z_{\text{ков}} a_k b_k}{2\pi R_6 \eta_{уд}}, \quad (3.30)$$

ККД $\eta_{уд}$ секції видалення води і забруднювачів з коренебульбоплодів

$$\eta_{уд} = \frac{\sum S_{\text{отв}}}{S_{уд}}, \quad (3.31)$$

де $\sum S_{\text{отв}}$ - сума площ отворів у секції видалення води і забруднювачів, м²;

$S_{уд}$ - загальна площа поверхні секції видалення води і забруднювачів, м².

Змінюючи відношення обсягу води, що нагнітається, ковшами в одиницю часу до обсягу, виведеному через секцію видалення води і забруднювачів, отримаємо швидкість поздовжнього потоку v , тобто основну складову продуктивності гідротурбіни барабанної коренебульбоплодної мийної машини.

Компенсаційний обсяг $V_{\text{ком}}$ водяного потоку по ділянках l_1-l_4 , виражається залежністю

$$V_{\text{ком}} = V_{\text{уд}} - V_{\text{наг}}, \quad (3.32)$$

де $V_{\text{уд}}$ - обсяг водяного потоку з коренебульбоплодами видаляємою в одиницю часу в секції видалення води і забруднювачів з коренеплодів, м^3 ;

$V_{\text{наг}}$ - обсяг водяного потоку в одиницю часу, створюваний нагнітальними ковшами, $\text{м}^3/\text{с}$.

Обсяг секції видалення води і забруднювачів з коренебульбоплодів $V_{\text{уд}}$ дорівнює

$$V_{\text{уд.в}} = V_{\text{з.б}} k_{\text{уд}}, \quad (3.33)$$

де $k_{\text{уд}}$ - коефіцієнт, що показує відношення обсягу секції видалення води і забруднювачів до обсягу барабана. Виходячи з експериментальних даних, коефіцієнт $k_{\text{уд}}$ складає 0,20-0,25 [4], а обсяг технологічної води $V_{\text{вод}}$ висловимо рівнянням

$$V_{\text{вод}} = \frac{n_l m_{\text{сут}} (100 + \delta_{\text{н.с.к}} + \Delta_m)}{100 \rho_{\text{к.в}}} k_{\text{уд.в}}, \quad (3.34)$$

де $k_{\text{уд.в}}$ - питома витрата води на одиницю об'єму оброблюваної маси. Він приймається в межах 0,150 - 0,250 т/т. При цьому пасивний об'єм $V_{\text{пас}}$ коренебульбоплодної мийної машини виразиться рівнянням

$$V_{\text{пас}} = L_{\text{ван}} \left(\frac{\pi D_{\text{ван}}^2}{4} \right) - L_{\text{бар}} \left(\frac{\pi D_{\text{бар}}^2}{4} \right). \quad (3.35)$$

Висновки

1. Для підвищення ефективного використання корму і зниження питомих витрат на мийку коренебульбоплодів встановлена закономірність перетворення вхідних потоків енергоносіїв у максимальний енерговміст кінцевого продукту.

2. Розроблені теоретичні закономірності щодо визначення продуктивності коренебульбоплодної мийної машини, що враховують поведінку рідини в частково заповненому барабані з горизонтальною віссю, відсоток вихідної та кінцевої забрудненості коренебульбоплодів (3.2 - 3.16).

3. Дано аналітичні вирази, що дозволили визначити діаметр барабана рівний 0,6 м, частоту його обертання 60 хв^{-1} , параметри нагнітальних ковшів $a_k \times b_k = 64 \times 115$ мм, кількість ковшів в залежності від затребуваної продуктивності в межах 12-48 шт. з кроком 65, 130 і 260 мм, потужності що витрачається. Довжина барабана L_b після обчислень (3.17) прийнята 1640 мм.

5. Розроблено математичну модель (3.105) гідротурбіни коренебульбоплодної мийної машини з частково заповненим барабаном, що обертається у воді навколо горизонтальній осі, що дозволяє визначити швидкість переміщення всередині барабана і час виконати вдосконалення конструктивно - режимних параметрів установки. В результаті розрахунку швидкість v_k для різних видів і забрудненості коренебульбоплодів у барабанних гідротурбінних коренебульбоплодних мийних машинах знаходиться в межах 0,08-0,12 м/с.

РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОТУРБІННОЇ БАРАБАННОЇ МИЙНОЇ МАШИНИ

4.1 Прийняті визначення та допуски

Дослідження фрагментів експериментальної установки проводилися з метою підтвердження адекватності теоретичних розробок з практичними і визначенням параметрів установки, які неможливо визначити теоретично. З цією метою були виготовлені окремі фрагменти лабораторно виробничої барабанної гідротурбіни мийної машини (рис. 4.1), що включає: 1 - ванну; 2 - робочий барабан; 3 - вивантажний скребок; 4 - вивантажний лоток.

Основою створення експериментальної машини є знання фізико-механічних властивостей матеріалу, з яким вона буде працювати. Таким матеріалом, є коренебульбоплоди і їх відомі, мало вивчені або практично не вивчені фізико-механічні властивості, в тому числі дійсна густина досліджуваних коренебульбоплодів, яка визначається без урахування пористості, щільності, що розраховується, як відношення маси речовини до всього займаного ним обсягом.



Рис. 4.1 - Фрагмент лабораторно-виробничої установки для мийки коренебульбоплодів: 1 - ванна; 2 - барабан; 3 - вивантажний скребок; 4 - вивантажний лоток; 5 - прозора стінка

Кут кочення коренебульбоплодів у воді по текстоліту, скла яке не б'ються, ДВП полірованому, дереву полірованому з синтетичним покриттям та інших конструкційних матеріалів.

Еліпсність, конусність, веретеноподібні, корінцеві поглиблення, центр ваги та інші, які практично мало відомі в першоджерелах, але впливають на рухливість матеріалу, його забрудненість, якість мийки та технологічні параметри.

За продуктивність коренебульбоплодної мийної машини приймаємо фізичну продуктивність Q_{ϕ} як пропускну здатність вихідного матеріалу зі сформованою забрудненістю в одиницю часу

$$Q_{\phi} = \frac{60 \cdot m \cdot (100 - \delta_{\text{вих}} + \delta_{\text{ост}})}{100 t_{\text{в}}}, \quad (4.1)$$

де m - маса оброблюваних коренебульбоплодів, кг;

$\delta_{\text{вих}}$ - вихідна забрудненість, %;

$\delta_{\text{ост}}$ - залишкова забрудненість, %.

$t_{\text{в}}$ - час перебування коренеплодів у воді, хв.

Продуктивність Q_{ϵ} експериментальної гідротурбіни коренебульбоплодної мийної машини виразимо у вигляді

$$Q_{\epsilon} = \frac{\pi D^2}{4} \varphi \rho_0 v_k, \quad (4.2)$$

де D - діаметр барабана, м;

φ - коефіцієнт заповнення барабана, %;

ρ_0 - питома щільність продукту, кг/м³;

v_k - поздовжня швидкість переміщення коренебульбоплодів, м/с.

де $v_k = L\sigma/t_m$

У свою чергу тривалість мийки t_m . Равна

$$t_m = \frac{\delta_{\text{вих}} - \delta_{\text{ост}}}{\xi} = \frac{(\delta_{\text{вих}} - \delta_{\text{ост}}) \cdot t_i}{\delta_{\text{инт}}}, \quad (4.3)$$

де ξ - коефіцієнт інтенсивності брудовідділення, %;

t_i - час інтенсивного брудовідділення, хв;

$\delta_{\text{инт}}$ - питома інтенсивність брудовідділення.

$$\xi = \frac{\delta_l}{t_l} \text{ или } \xi = \frac{m_l}{t_l}. \quad (4.4)$$

Підставляємо вихідні дані в формулу (4.2) отримаємо узагальнюючу формулу визначення продуктивності барабанної гідротурбіни коренебульбоплодної мийної машини.

$$Q_3 = \frac{\pi D^2}{4} \varphi \rho_0 \frac{L_6 \delta_{\text{шт}}}{(\delta_{\text{исх}} - \delta_{\text{ост}}) \cdot t_l}. \quad (4.5)$$

4.2 Опис експериментальної установки та результати її дослідження

Для проведення дослідження експериментальної мийної машини [23] було виготовлено установку (рис. 4.2), в яку входять: ваги 1 типу ЕТВУ-2, на яких встановлено транспортер 2 коренебульбоплодів із завантажувальним бункером 3 для забруднених коренебульбоплодів; завантажувальна воронка 4 для подачі коренебульбоплодів всередину барабана 6, що обертається у воді із закритого кожухом 5.

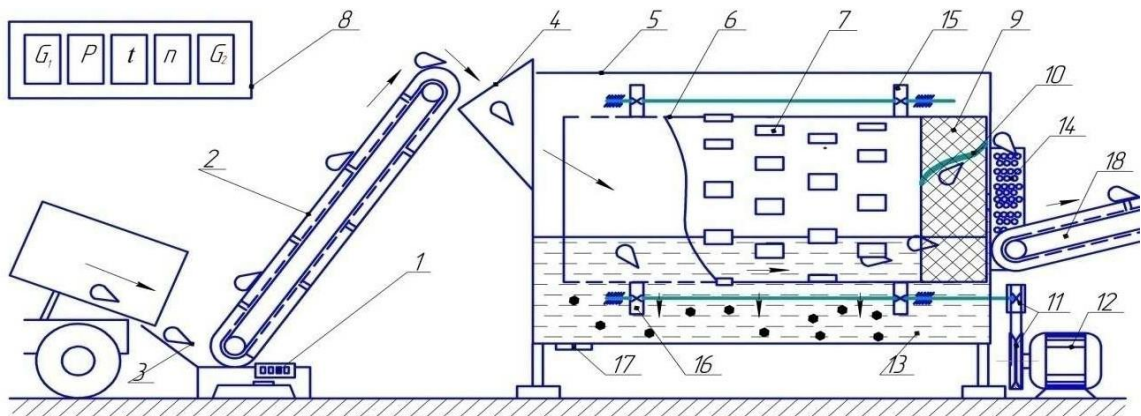


Рис. 4.2 - Схема експериментальної установки для дослідження барабанної гідротурбіни мийної машини: 1 - ваги; 2, 18 - транспортер; 3 - бункер забруднених коренебульбоплодів; 4 - завантажувальна воронка; 5 - кожух; 6 - барабан; 7 - нагнітальні ковші; 8 - пульт управління; 9 - секція видалення води і забруднювачів; 10 - вивантажний скребок; 11 - шківи; 12 - регульований електродвигун; 13 - грязевідстійник; 14 - лоток; 15 - притискні ролики; 16 - опорно-провідні ролики; 17 - заслінка

На барабані 6 встановлені змінні елементи нагнітальних ковшів 7, що складаються з двох паралельних сегментів (рис. 4.3), всередині яких розташований козирок 8, який має можливість змінювати кут атаки α , і закріплювати фіксатором 9 поворот козирка щодо осі 10. Управління технологічним процесом здійснювалося з пульта 8, що показує масу, що надходять на обробку, коренеплодів G_1 і масу оброблених G_2 коренебульбоплодів, споживану потужність P , час знаходження коренебульбоплодів у рідині t , частоту обертання барабана n . У барабані після нагнітальних ковшів 7 передбачена секція 9 видалення води і забруднювачів, у якій встановлено вивантажний скребок 10 для виведення вимитих коренебульбоплодів. Для приводу барабана 6 передбачені змінні шківни 11, з'єднані еластичною трансмісією від чотиришвидкісного асинхронного електродвигуна 12 серії АО2-62- 12/8/6/4 (500/750/1000/1500 хв⁻¹).

У нижній частині барабана передбачені брудовідстійник 13, з якого через заслінки 17 видаляли і зважували бруд. Барабан 6 встановлений на 4 опорно - провідних роликах 16, а зверху утримується від зсуву притискними роликками 15. Вимиті коренеплоди по лотку 14 виводяться на транспортер 18 у контрольні ємності. Після обробки однієї порції коренеплодів спускали відстій бруду в брудозбірник. Для контролю якості процесу мийки вибирали навішення з п'яти коренеплодів і за відомою методикою визначали залишкову забрудненість і втрату початкової маси.

4.2.1 Робота гідротурбіни барабанної мийної машини

Перед початком роботи оглядали експериментальну установку на відсутність сторонніх предметів. Включали в роботу на холостому ходу вивантажний транспортер 18, робочий барабан 6, завантажувальний транспортер 2 з пульта управління 8. Встановлювали мінімальну частоту обертання електродвигуна 12, вивантажний скребок 10 встановлювали на мінімальну продуктивність. Заповнювали ванну гідротурбіни

коренебульбоплодної мийної машини водою, на висоту 1/3 частини діаметра барабана. У бункер 3 завантажували зважені забруднені коренебульбоплоди. За допомогою електронних ваг 1 визначали їх масу. Під вивантажний транспортер 18 встановлювали контрольну ємність. Визначали вихідну масу забруднених коренебульбоплодів. Включали в роботу вивантажний транспортер 18, барабан 6 і після входження його в робочий режим включали транспортер 2. За свідченнями електронних ваг 1 визначали масу завантажених коренеплодів. За часом заповнення контрольних ємностей вимитими коренебульбоплоди і певної їх маси розраховували продуктивність установки. Визначали залишкову забрудненість вимитих коренебульбоплодів, після чого проводили коригування продуктивності і якості кінцевого продукту за допомогою вивантажувального скребка 10. Масу відпрацьованої води та забруднювачів збирали в брудозбірник, розташований під рамою барабанної гідротурбіни мийної машини.

4.3 Методика експериментального дослідження гідротурбіни барабанної мийної машини

Для визначення оптимальних конструктивно-режимних параметрів мийної машини в нагнітальній секції 7 (рис. 4.3) встановлювали козирок 8 ковшів під кутом $\alpha = 5^\circ$ і включали в роботу барабанну миючу машину. У бункер 3 завантажували 100 кг брудних коренебульбоплодів із забрудненістю 2,8; 3,5; 6,0; 10,0 %. Вимиті коренебульбоплоди збирали в мірну ємність і фіксували час досліду, після чого визначали якість мийки коренебульбоплодів і продуктивність установки. Потім встановлювали козирок 8 під кутом 10° , 20° , 45° , 75° і обробляли по 100 кг коренебульбоплодів. Для наступного досліду завантажували 150, 200, 500 кг.

Раніше встановлені торцеві ковші для подачі струменів води в поздовжньому напрямку згідно патенту [9], через складність конструкції системи регулювання та спрощення експериментальної установки були

виключені, а функцію переміщення води по поздовжній осі барабана переклали на секцію видалення води і забруднювачів з поверхні коренебульбоплодів.

Знову введена секція 9 (рис. 4.2) для видалення води і забруднювачів, працюючи в режимі центрифугування забезпечувала видалення води з поверхні коренебульбоплодів, роблячи їх сухими і чистими, а також скидаючи з їх поверхні забруднювачі, які прилипли, що дозволяло проводити мийку коренебульбоплодів у більш забрудненій воді, в якій піщинки у воді забезпечували кращу якість мийки.

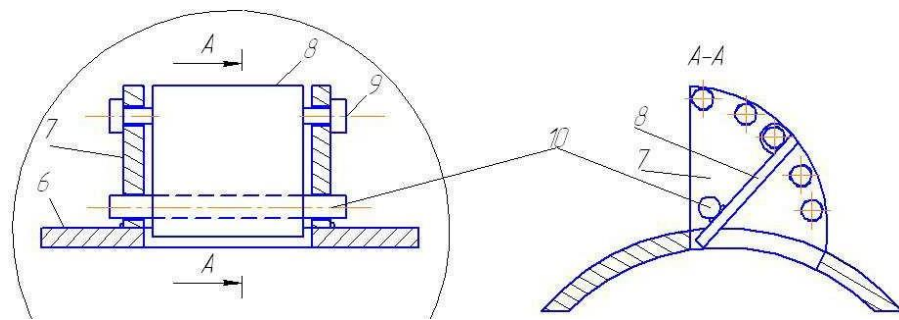


Рис. 4.3 - Схема фрагмента нагнітальних ковшів мийної машини: 6 - барабан; 7 - сегмент нагнітальної секції ковша; 8 - козирьок; 9 - фіксатор; 10 - вісь козирка

Проводили випробування трьох моделей вивантажувальних скребків 14 для виведення вимитих коренебульбоплодів з секції l_4 , барабана 6 (рис. 4.4).

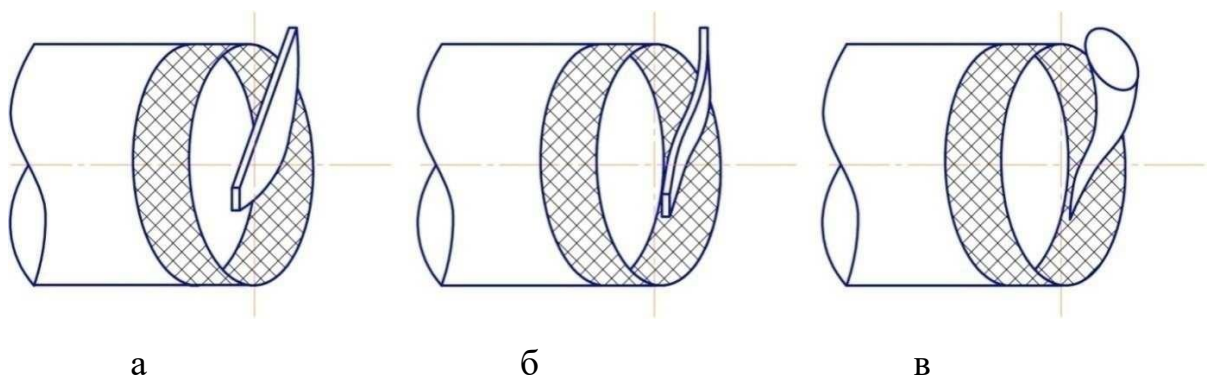


Рис. 4.4 - Схеми моделей вивантажувальних скребків коренебульбоплодів з барабана: а - плоскої форми; б - S-подібної форми; в - комбінований (просторовий)

Модель скребка плоскої форми з гладкою поверхнею застосовується для скидання сипучих матеріалів з стрічок транспортерів [28], що встановлюється під кутом тертя до руху вантажу, будучи змонтованим в барабані (рис. 4.4 а), показала негативні властивості технологічного процесу розвантаження у вигляді пошкодження окремих коренебульбоплодів при зустрічі зі скребком і при ударі під час розвантаження в режимі центрифугування.

Друга модель [6] (рис. 4.4б) - скребок *S*-подібної форми забезпечувала м'який вивід коренебульбоплодів, але на вході, так само як і у першій моделі, зберігала пошкоджуваність продукту на великих окружних швидкостях барабана.

Третя модель (рис. 4.4в) - у вигляді рогу *S*-подібної форми [7], забезпечувала мінімальне пошкодження коренебульбоплодів і максимальне їх контактування з поверхнею скребка, створюючи найкращі умови вивантаження і їх очищення.

Досліди проводили в такій послідовності через бункер 3 (рис. 4.2) завантажували наважку коренебульбоплодів зі ступенем вихідної забрудненості δ_{icx} 2,8; 3,5; 6,0; 9,9 % і масою 25, 50, 100, 150, 200 кг. Високу забрудненість порції стабілізували шляхом пропускання вихідної маси через вібротранспортер - очищувач, низьку - стабілізували нанесенням рідкої маси з глини, чорнозему та піску на коренебульбоплоди з подальшим підсушуванням на повітрі до 15-27 % вологості.

Коренебульбоплоди з бункера 3 транспортером 2 подавали через завантажувальну воронку 4 в обертовий барабан 6 при сталому режимі частоти обертання n , часу експозиції t або продуктивності Q . У барабані 6 коренебульбоплоди в місці завантаження утворювали масу з кутом $\approx \varphi + \Delta\varphi$ - пересипалися уздовж барабана, пронизували струменями води з ванни за допомогою нагнітальних ковшів, захоплювалися в обертальний рух, відмикались, перетирали одна об одну об стінки барабана, відштовхувалися

від стінок барабана і переміщалися потоком води до секції видалення води і забруднювачів і вивантажувалися. Тут відбувається інтенсивне промивання коренебульбоплодів під дією відцентрових сил води, що викидається з барабана у ванну, з одночасним відділенням поверхневої вологи і забруднювачів з виведенням їх з барабана 6 скребком 10 на лоток 14 і подачею в контрольну ємність. Потім вимиті коренебульбоплоди зважували і визначали ступінь залишкової забрудненості за методикою [22].

Досліди проводили в п'ятикратній повторності, отримані результати обробляли у вигляді графічних залежностей і порівнювали з теоретичними ідентичними передумовами.

4.4 Порівняльний аналіз дослідження гідротурбіни барабанної мийної машини

Дослідження гідротурбіни мийної машини виробничого зразка проводили на установці (рис. 4.5), в якій барабан 5 був встановлений на чотирьох опорно-провідних роликах 13, а зверху притискався двома притискними роликами 6. Крім цього, ковші на витяжних секціях і торцеві нагнітальні ковші були виключені з технологічних міркувань.

Установка включає полегшену раму 1, розташовану над бетонним брудозборників 2, до якого було направлено зливна трубка 3, розташована в нижній частині ванни 4, в якій знаходиться барабан 5 і зверху притискається роликами 6.

Для управління технологічним процесом передбачено пульт 7 з контрольно-вимірювальними приладами 8. З торця барабана розташована завантажувальна воронка 9, а з протилежного боку - вивантажна горловина 11.

Ванна 4 закривається герметично кришкою 10. Для контролю протікання технологічного процесу всередині барабана передбачена торцева прозора стінка з координатною сіткою 12.

Ефективність роботи гідротурбіни мийної машини, крім відомих

параметрів, залежить від поведінки води 14 в обертовому барабані 5 з горизонтально розташованою віссю. Вода піддається впливу з боку гравітаційного поля і поля відцентрової сили.

Поле відцентрової сили модульовано осцилюючим під обертається системі полем тяжіння. Інтенсивність осциляційного впливу виявляється вирішальним фактором, що визначає можливість існування центрифугування розподілу води.

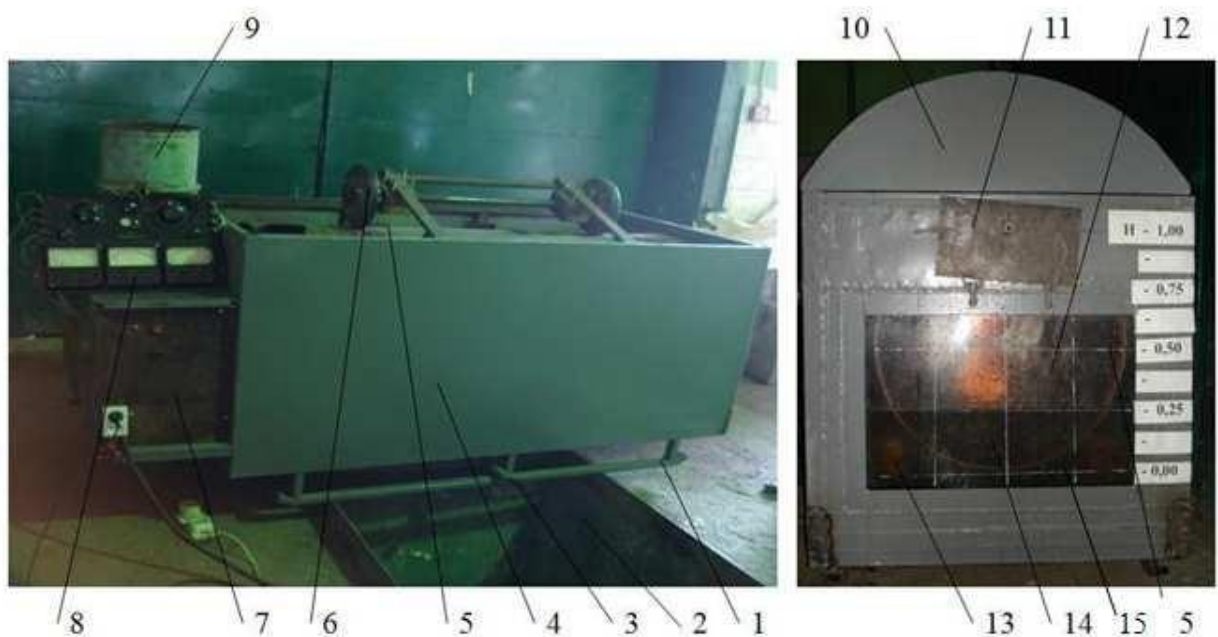


Рис. 4.5 - Загальний вигляд гідротурбіни барабанної мийної машини: 1 - рама; 2 - брудозбірник; 3 - зливна трубка; 4 - ванна; 5 - барабан; 6 - притискні ролики; 7 - пульт управління; 8 - контрольно-вимірювальні прилади; 9 - завантажувальна воронка; 10 - кришка; 11 - вивантажний горловина; 12 - прозора стінка з координатної сіткою; 13 - опорно-провідні ролики; 14 - вода; 15 - коренебульбоплоди

Інтенсивність осциляційного впливу характеризується показниками параметрів $\Gamma = g/\Omega^2 R$ (рис. 4.6). Теоретичні залежності показують відповідність отриманих дослідних даних в тому, що при високих значеннях (повільне обертання) рідина розподіляється нерівномірно вздовж поверхні барабана. Виділена оптимальна зона роботи мийної машини обмежена при

зазначеній частоті обертання n 20, 30, 50, 60 хв^{-1} мінімальним радіусом барабана 0,1 м через неможливість обробки коренебульбоплодів з діаметром 20 і більше мм, а максимальним - радіусом 0,35 м через підвищене пошкодження коренебульбоплодів і пускового моменту завантаженого коренебульбоплодами барабана (при вимушених зупинках).

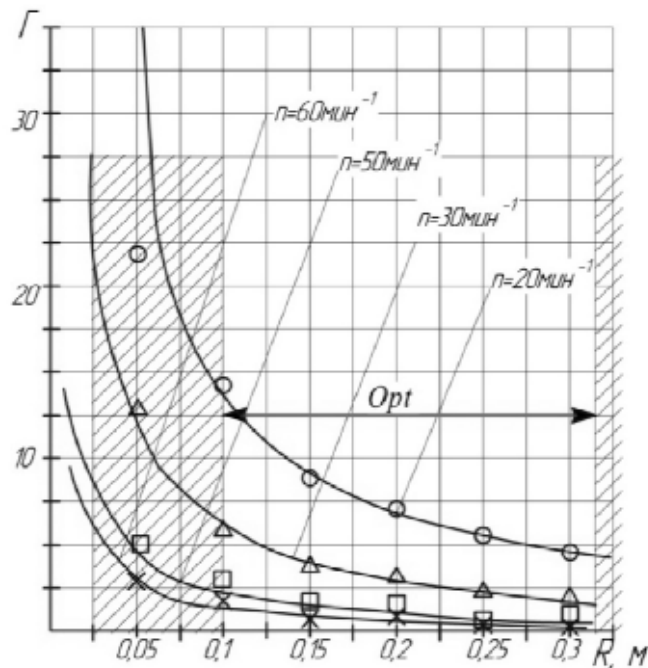


Рис. 4.6 - Інтенсивність осциляційного впливу води в барабані гідротурбіни мийної машини

Дослідження експериментальної коренебульбоплодної мийної машини проводили на чотирьох режимах. Перший режим ($n = 20 \text{ хв}^{-1}$) копіював основні параметри барабанної мийної машини, що працює на високих значеннях, вказаних в першоджерелі [25].

Другий, третій і четвертий режими - це режими теоретично обґрунтованих передумов, для дослідження конструктивно-режимних параметрів, які передбачають (рис. 4.7) можливість додаткового монтажу на барабані 1 коренебульбоплодної мийної машини нагнітальних ковшів 2, а також секції видалення води і забруднювачів з поверхні коренебульбоплодів при меншій витраті води і високій якості мийки. Збільшення частоти обертання барабана в 2 - 3 рази (режим центрифугування), дозволяє

рівномірний розподіл товщини води уздовж внутрішньої поверхні барабана 1 на відміну від базового (щітково-барабанна). Крім цього замість щіток і душіруючих труб непрацюючих на низькому Γ передбачений скребок S - подібної, просторової форми у вигляді рогу, що забезпечує спокійний висновок без травмування коренебульбоплодів з барабана.

Продуктивність барабанної коренебульбоплодної мийної машини визначали за відомою методикою [22].

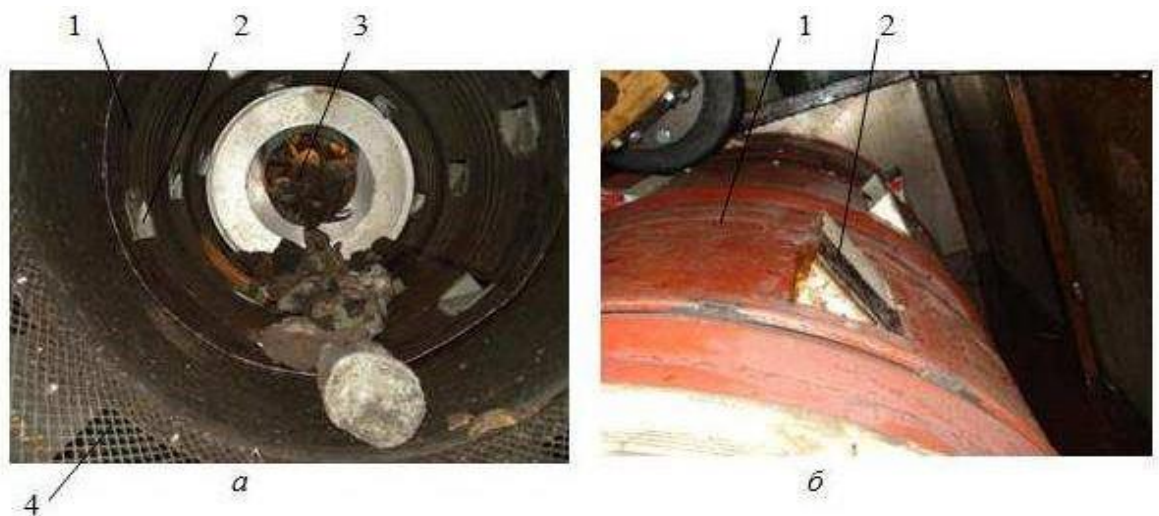


Рис. 4.7 – Фрагменти гідротурбіни барабанної коренебульбоплодної мийної машини: а- -від з барабана; б - вид на барабан. 1 - барабан; 2 - ковші; 3 - завантажувальна воронка; 4 - секція вивантаження, видалення води і бруду з коренебульбоплодів

Перед пуском в роботу коренебульбоплодної мийної машини в лабораторно виробничих умовах коренебульбоплодів з вихідною забрудненістю 2,8; 3,5; 6,0; 9,9 % розкладали рівним шаром на подаючому транспортері.

Для кожного варіанту дослідження задавали коефіцієнт заповнення барабана $\varphi = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4$, встановлювали його частоту обертання, що дорівнює 20; 30 хв^{-1} , з одним вивантажним черпаком, що вміщує масу 1,35 кг, і потім з двома вивантажувальними черпаками, що вміщують масу 2,5 кг. Після досягнення сталого режиму частоти обертання барабана включали в

роботу транспортер ТК-5.0 з подачею в нього попередньо зваженої порції (100, 200, 300, 400, 500 кг) коренебульбоплодів. Під вивантажний транспортер встановлювали мірну ємність і фіксували час обробки навішування секундоміром.

Зібрану масу коренебульбоплодів зважували на платформних вагах РЦ-600ц13б. Визначали продуктивність і ступінь залишкової забрудненості. Час обробки заміряли за хронометром, а частоту - електронним частотоміром, споживану потужність фіксувалися за показниками приладів на контрольному щитку К-50 (рис. 4.9), що включає: вольтметр 1, амперметр 2 і ватметр 3.



Рис. 4.9 - Контрольно-вимірювальний щиток К-50: розташовані зліва направо: 1 - вольтметр; 2 - амперметр; 3 - ватметр

Отримані результати обробляли за програмою Mathcad і будували графіки $Q=f(n)$ (рис. 4.10). З аналізу яких слід, що при коефіцієнті заповнення барабана, що дорівнює 0,1 (залежність 1) і частоті обертання 10 хв^{-1} видно, що Q склала 800 кг/год . Зі збільшенням n до 20 хв^{-1} продуктивність зростала лінійно, після чого збільшення Q придбало криволінійний характер. Маса черпаків, що вичерпували коренебульбоплоди, становив $1,35 \text{ кг}$. Збільшення φ барабана з $0,1$ до $0,2$ збільшило (залежність 2) Q в два рази при $n = 10 \text{ хв}^{-1}$.

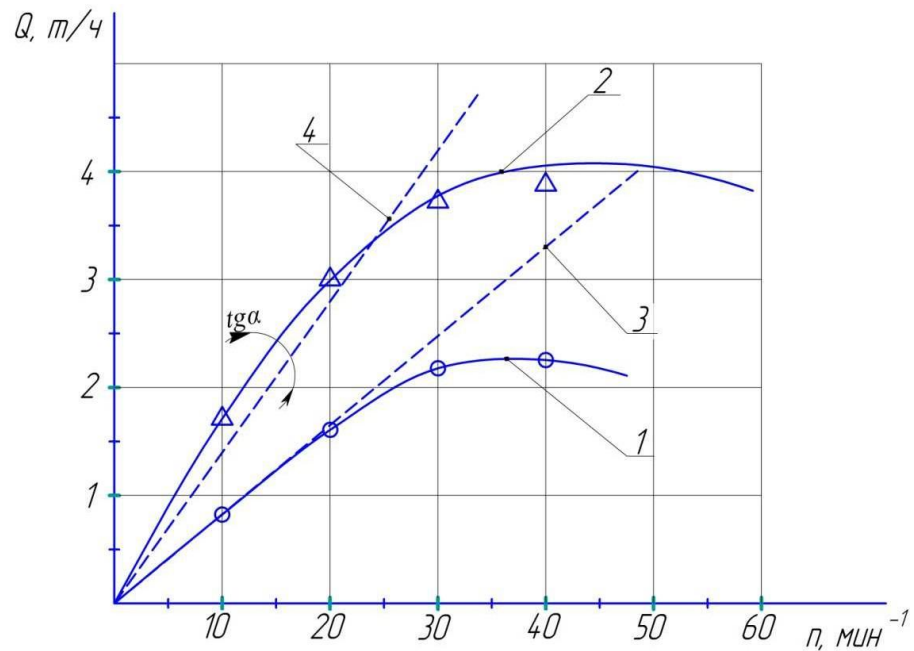


Рис. 4.10 - Продуктивність барабанної мийної машини з вивантажувальними черпаками в залежності від частоти обертання при обробці цукрового буряка з $\delta_{icx} = 9.9\%$ і вологістю забруднювача 17.1% , з витратою води 310 л/т продукту, втрати маси $5,2\%$, пошкодженістю шкірки $9,9\%$: 1 - графік продуктивності мийної машини при одному вивантаженому черпаку; 2 - графік продуктивності мийної машини при двох вивантажувальних черпаках; 3 - графік теоретичної залежності продуктивності мийної машини з одним вивантажним черпаком; 4 - графік теоретичної залежності продуктивності мийної машини з двома вивантажувальними черпаками

Зростання Q спостерігався по лінійній залежності до частоти обертання 20 хв⁻¹ як при одному, так і при двох вивантажувальних черпаках. Збільшення n з 20 до 30 хв⁻¹ знизило інтенсивність росту Q при одному вивантаженому черпаку до 2260 кг/год і при двох черпаках до 3800 кг/год. Приріст Q в інтервалі від 30 до 40 хв⁻¹ склало близько $1 - 2\%$ в результаті того, що частина коренебульбоплодів, під дією відцентрових сил стала захоплюватися на повторне обертання, при цьому залишкова забрудненість зросла більш ніж на $3,0\%$.

Частота обертання барабана в межах $10 - 15 \text{ хв}^{-1}$ дає низьку продуктивність, а якість миття не досягає встановлених зоотехнічних норм ($2,0 - 3,0 \%$), при експозиції не більше 6 хв , що підтверджує вплив високих значень Γ (рис. 4.6). Частота обертання барабана більше $30 - 35 \text{ хв}^{-1}$ (рис. 4.11) веде до припинення пересипання майже всіх коренебульбоплодів в барабані і вони залучаються в обертальний рух, в результаті чого знижується продуктивність щодо теоретичних розрахунків до $1,5$ раз, які показані штриховою лінією на рис. 4.10.

Збільшення φ з $0,1$ до $0,2$ дало приріст Q при $n = 10 \text{ хв}^{-1}$ на $6 - 10 \%$. Подальше збільшення φ до $0,3$ і $0,4$ на продуктивності мийної машини практично не позначилося.

При дослідженні гідротурбіни мийної машини на барабані якого були встановлені ковші в 3 ряди, по шт. в ряду, проводили обробку цукрового буряка (рис. 4.12) з $\delta_{icx}=9,9\%$ та $n=60 \text{ хв}^{-1}$, з коефіцієнтом заповнення $\varphi = 0,35$ і $Q = 15 \text{ т/год}$, які забезпечили середню δ_{ocm} більше $3,7\%$. При цьому інтенсивність впливу водяних струменів на коренебульбоплоди $\Omega=2100(\text{т} \cdot \text{год})^{-1}$ (залежність 1). Потім монтували на барабані нагнітальні ковші (3×4 шт.) і встановлювали частоту обертання $40; 50; 60; 70 \text{ хв}^{-1}$ для експериментальної мийної машини.

Зі збільшенням числа нагнітальних ковшів по довжині барабана до 4 ковшів у ряду забрудненості коренебульбоплодів знизилася на $3,25 \%$.

Подвоєння ковшів по колу барабана (6×4) збільшило $\Omega 5700 (\text{т} \cdot \text{год})^{-1}$, що знизило δ_{ocm} до $2,9 \%$. Коренебульбоплоди рухалися вздовж барабана хвилеподібно (згрупувано). Подальше додавання ковшів ($6 \times 6 = 36$ шт.) підвищило рівномірність розподілу коренебульбоплодів у водяному потоці і знизило δ_{ocm} на $0,32\%$. Збільшення кількості ковшів в ряду до 8 із збереженням 6 шт. по колу поліпшило якість мийки до $2,19 \%$, причому окремі коренебульбоплоди мали забрудненість $2,86 \%$. При такому режимі роботи барабан мийної машини підвпливав і провідні ролики пробуксовували, що зажадало установки двох притискних роликів (рис. 4.5),

а електродвигун споживав більше 2,5 кВт-год. З цих причин кількість нагнітальних ковшів на барабані вирішено більше не збільшувати.

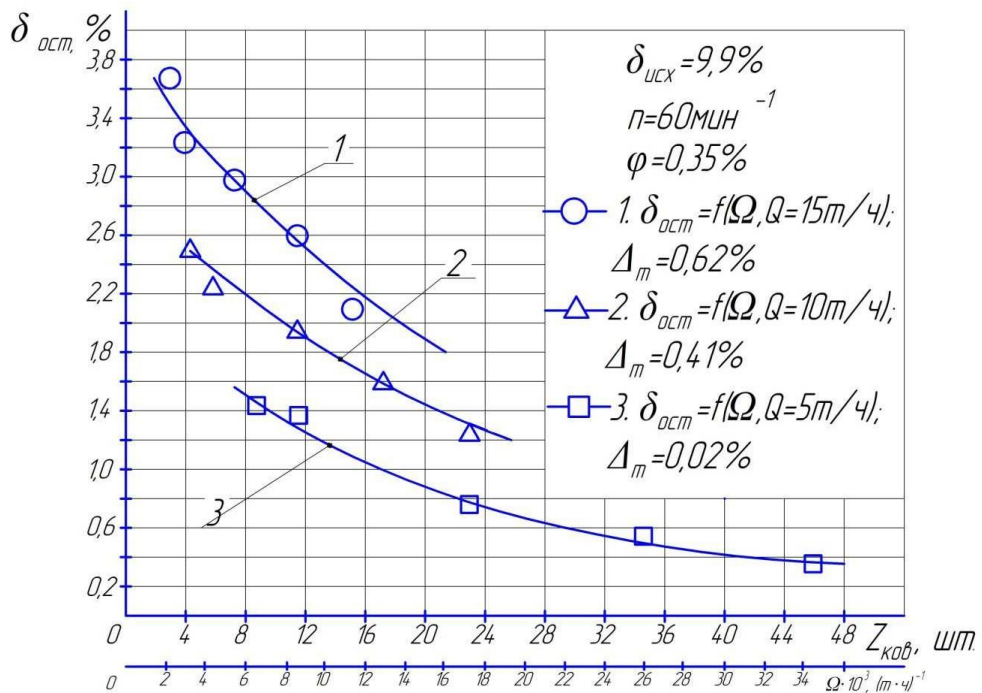


Рис. 4.12 - Залежність якості мийки $\delta_{ост}$ від числа впливів водяних струменів Ω на тону коренеплодів при вологості забруднювача 17 % і пошкодженості коренеплодів Δ_m , %, витрата води 175 - 250 л/т

При роботі мийної машини з $Q = 10 \text{ т/год}$ зберігся криволінійний характер зниження залишкової забрудненості (залежність 2) із зростанням кількості ковшів і інтенсивністю впливу водяних струменів. Так, при $Z_{ков} = 3 \times 4 = 12$ знизило залишкову забрудненість в середньому до 2,5 %. Подвоєння нагнітальних ковшів до 24 шт. Знизило $\delta_{ост}$ до 1,88%, а до $Z_{ков} = 36$ шт і потім до 48 шт. відповідно - $\delta_{ост}$ склало 1,67 і 1,29 %. При $\Omega = 8600, 13000$ і 17300 раз/т. На всіх режимах роботи не спостерігалось окремих коренебульбоплодів із забрудненістю більш зоотехнічних норм.

При $Q = 5 \text{ т/год}$ характер кривої (залежність 3) зберігся $\delta_{ост}$ варіювала від 1,4% при 9 ковшах до 1,22 при 12, потім 24, 36 і 48 ковшах 95, 0,59, 0,35% забруднення при відповідних $\Omega = 6480, 8670, 17200, 25900$ і 34500 (т · год)⁻¹.

Збільшення Q на існуючому типі мийних машин призвело до зниження

якості кінцевого продукту і зростання питомої енергоємності з 0,25 кВт-год/т до 0,51 кВт год/т, що підтверджує теоретичні викладки.

Зростання швидкості поздовжнього потоку оброблюваних коренебульбоплодів до 0,027 м/с збільшив продуктивність мийної машини до 3,25 т/год замість теоретичної 3,31 т/год при середній залишкової забрудненості 1,4 %.

Збільшення v_v до 0,003 м/с забезпечило зростання Q на 0,20 т/год замість розрахункової 3,6 т/год при збільшенні залишкової забрудненості на 0,1 %.

Витрата води становив 160 - 170 л/т коренебульбоплодів.

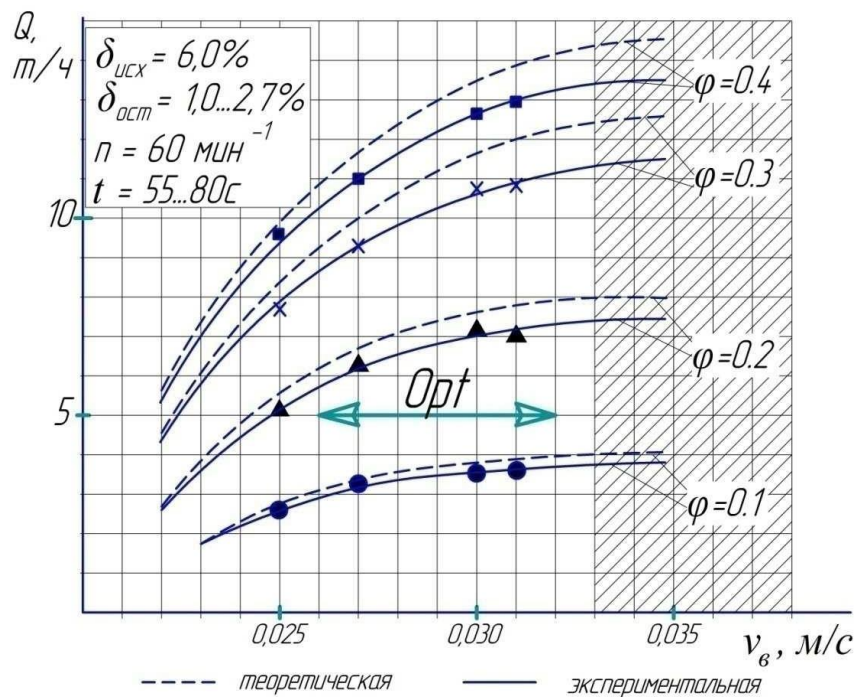


Рис. 4.14 - Графіки залежності продуктивності Q гідротурбіни мийної машини на мийці цукрового буряка від швидкості v_v при вологості забруднювача 17.1 %

Збільшення v_v до 0,031 м/с, збільшило Q мийку з 3,45 до 3,6 т/год замість 3,8 т/год. Якість готового продукту $\delta_{ост}$ варьировало в межах 1,5 - 1,7 %.

Збільшення швидкості переміщення поздовжнього потоку коренебульбоплодів веде до зростання продуктивності і зниження якості. Щоб забезпечити необхідну за зоотехнічним нормам якість готового

продукту, продуктивність коренебульбоплодної миючої машини задавали шляхом зміни кута установки вивантажувального скребка, тобто змінювали час знаходження коренебульбоплодів під впливом водяних струменів

Подальша теоретична продуктивність зросла до $Q = 7,9$ т/год, а фактична - призупинилася в результаті погіршення якості мийки, викликаного зниженням часу знаходження коренебульбоплодів у воді з 70 до 65 с.

Аналізуючи графіки витрати електроенергії на привід гідротурбіни мийної машини, бачимо, що найбільш енергоємною культурою є цукровий буряк. На її мийку в воді з температурою $7,1$ °С з продуктивністю 5 т/год і забрудненістю 10 % потрібно (залежність 3) потужність 0,8 кВт, при $Q = 10, 15, 17$ т/год, відповідно витрачається 1,5, 1.92, 1.98 кВт.

Менш енергоємною культурою для мийки є картопля, вимагає потужності 0,71 кВт на продуктивності 5 т/год.

Збільшення продуктивності в 2 рази призвело до зростання споживаної потужності до 1,35 кВт, а при $Q = 15$ т/год потужність N зросла до 1,76 кВт і відповідно при $Q = 17$ т / год N_n досягла 1,81 кВт.

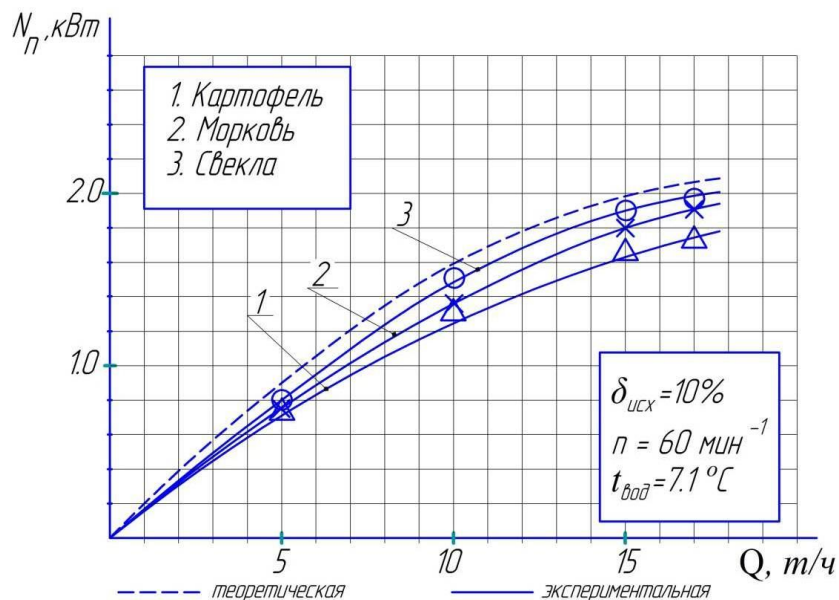


Рис. 4.15 - Графіки залежності споживаної потужності N_n від продуктивності Q мийки при обробці коренебульбоплодів

На мийці кормової моркви при тих же режимах, як і на обробці буряка і картоплі, витрати енергії були проміжні і зберігали характер кривизни в межах від 0.73, 1.4, 1.8 і 1.93 кВт. Витрата води становила від 170 до 220 л/т оброблених коренебульбоплодів.

Висновки

1. Найбільш досконалою мийною машиною є розроблена гідротурбінна коренебульбоплодна мийна машина, так як внутрішній технологічний час завантаження t_z , вивантаження t_e і обробки t_n поєднане і прагне до оптимальних.

2. Дано графоаналітичні вирази, що відображають узгодженість продуктивності потокових технологічних ліній забезпечують переміщення коренебульбоплодів у процесі їх обробки при заданій продуктивності Q і нормативній якості кінцевого продукту не перевищує залишкову забрудненість $\delta_{ост} < 2,5\%$ і при втратах маси до $\Delta_m = 0,9\%$ і пошкодзованості шкірки до 7% , що нижче нормативних.

3. Розроблені аналітичні вирази відображають продуктивність коренебульбоплодні мийної машини $Q = V\varphi v_{cp}\rho$ при постійних V , φ , ρ узгоджуються в допустимих межах з практичними результатами, які коригуються в технологічному процесі за рахунок збільшення швидкості переміщення потоку v_{cp} в стільки разів, у скільки буде збільшена інтенсивність обробки коренебульбоплодів у порівнянні з базовою (щітково-барabanної) по продуктивності в 2-5 разів і меншій витраті води на 300 л/т.

4. Результати фактично одержаного $Q_{фак}$ показують, що зі зменшенням φ та $\delta_{ост}$, які задають t_n (знаходження коренебульбоплодів у барабані), зображені на графіках 4,10; 4,12; 4,14; 4,16; 4, 18 відображають залежність продуктивності у вигляді $Q_{фак} = Q_{теор} / t_n$.

5. Результати порівняльних досліджень показали, що оптимальним

режимом роботи гідротурбіни барабанної коренебульбоплодної мийної машини на обробці буряків, як найбільш трудомісткою культурою є φ в межах 0,30 - 0,35% при $v_k = 0,08 - 0,12$ м/ с, що гарантує якість мийки в межах менше 1,7 - 2,0 % при частоті обертання барабана 55 - 60 хв^{-1} і потужності приводу до 2 кВт.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз способів і засобів розробленої класифікації коренебульбоплодної мийної машини дозволив виявити перспективний напрямок створення барабанної коренебульбоплодної мийної машини і після вивчення фізико-механічних властивостей коренебульбоплодів у воді за допомогою розроблених приладів теоретично обґрунтувати конструктивно-режимні параметри дослідного зразка, які підтверджені теоретичними і експериментальними результатами і техніко-економічною ефективністю, отриманою на тваринницьких фермах.

2. З аналізу літературних джерел і розробленої класифікації випливає, що перспективним напрямком створення конструктивно технологічної схеми для очищення коренебульбоплодів від забруднювачів є барабанна гідротурбіна коренебульбоплодна мийна машина. Проведені дослідження фізико-механічних властивостей коренебульбоплодів на розроблених приладах, дозволили визначити справжню і уявну щільність буряка цукрового 1110 і 714 кг/м³, кормових буряків 1123 і 656 кг/м³, відповідно моркви 1072 і 840 кг/м³. Центр тяжкості коренебульбоплодів знаходиться на 1/3 довжини від їх головки, кут тертя кочення по сухому склотекстоліту уздовж осі коренебульбоплодів дорівнює 26°, а у воді - 30°, кут ковзання по склу, що не б'ється 26°, сталевому листу 25°, пластмасі 26°.

3. Теоретичні дослідження робочого процесу барабанної гідротурбіни коренебульбоплодної мийної машини дозволили розробити функціональну модель, визначаючи входні і вихідні фактори, що впливають на ефективність робочого процесу гідротурбінної коренебульбоплодної мийної машини. Отримано аналітичні залежності для визначення продуктивності, довжини барабана, кількість ковшів їх кроку, частоти обертання барабана і математичну модель швидкості переміщення коренебульбоплодів уздовж поздовжньої осі обертання барабана і рівняння споживаної потужності приводу на мийку коренеплодів гідротурбіни коренебульбоплодної мийної

машини.

4. Результати експериментальних досліджень показали, що залишкова забрудненість коренебульбоплодів при діаметрі барабана 0,6 м, частоті його обертання 60 хв^{-1} , кількості ковшів 12, 24, 48 шт. з розмірами 64x115 мм. і кроком відповідно 260, 130 і 65 мм, продуктивністю 5, 10 і 15 т/год не перевищувала 1,7-2,7 %, а витрата води варіювала в межах 0,1-0,25 л/кг оброблюваного продукту. Енергоємність процесу очищення коренебульбоплодів становила 0,133-0,4 кВт-год/т. Порівняльний аналіз результатів теоретичних і експериментальних досліджень показав їх збіжність в межах 95-97 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Винников И.К. Технологии, системы и установки для комплексной механизации и автоматизации доения коров / И.К. Винников, О.Б. Забродина, Л.П. Кормановский; под ред. Л.П. Кормановского. – зерноград, 2001. – 354 с.
2. Хохрин С.Н. Корма и кормление животных. – СПб.: «Лань», 2002. – 512 с.
3. Мурусидзе Д.Н. Технология производства продукции животноводства / Д.Н. Мурусидзе, В.Н. Легеза, Р.Ф. Филонов. – М.: КолосС, 2005. – 432 с.
4. Хазанов Е.Е. Технология и механизация молочного животноводства / Е.Е. Хазанов, В.В. Гордеев, В.Е.Хазанов. – СПб.: Лань, 2010. – 352 с.
5. Берестов В.А. Звероводство: учеб. пособие / В.А. Берестов. – СПб.: Лань, 2002. – 480 с.
6. Коновалов В.В. Расчет оборудования и технологических линий приготовления кормов (примеры расчетов на ЭВМ): учеб. пособие / В.В. Коновалов. – Пенза: РИО ПГСХА, 2002. – 206 с.
7. Паламарчук І.П. Механічні процеси та обладнання переробного та харчового виробництва. Том 1. Навчальний посібник / І.П. Паламарчук, П.С. Берник, З.А. Стецько, В.В Яськов, І.А.Зозуляк // Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2004. – 336 с.
8. Баранов Д.А. Процессы и аппараты : учеб. для студентов образоват. учреждений сред. проф. образования [Текст] / Д.А. Баранов, А.М. Кутепов. – 2-е изд., стер. – М. : Academia, 2005. – 299 с.
9. Назаренко І.І. Основи проектування і конструювання машин та обладнання переробних виробництв. Навчальний посібник/ І.І. Назаренко, І.М. Берник // Затверджено міністерством освіти і науки, молоді та спорту України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних

- закладів.(лист № 1/11-14407 від 12.09.2012р.). Видавництво «Аграр Медіа Груп», - К:- 2013.-544
- 10.Снежкін Ю.Ф. Енергоефективні тепло технології виробництво функціональних харчових порошків /Ю.Ф. Снежкін, Ж.О. Петрова, В.М. Пазюк // Вінниця, видавництво «РВВ ВНАУ», 2016. – 458с.
 - 11.Iryna Bernyk Research parameters of ultrasound processing equipment dispersed in technological environment./ MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture-2016.vol.18/№ 3. 3-13
 - 12.Паламарчук І.П. Дослідження фізико-механічних властивостей зернової крохмаловмісної сировини як об'єкта технологічної дії спиртового виробництва / І.П. Паламарчук, В.П Янович., І.М. Купчук // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» №3 (95) 2016. – С.126-129
 - 13.Технологические основы производства и переработки продукции животноводства / сост.: М.В. Забелина, Р.А. Денисов, А.В. Продивлянов и др.; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2006. – 1126 с.
 - 14.Паламарчук І.П. Дослідження реологічних характеристик зернової крохмалевмісної сировини спиртового виробництва. / І.П. Паламарчук, В.П. Янович, І.М. Купчук // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» №3 (95) 2016. – С.130-134
 - 15.Берник І.М. Аналіз методів визначення швидкості розповсюдження хвиль в кавітаційній області ультразвукового поля/ І.М. Берник, О.Ф. Луговський// Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» серія «Нові рішення в сучасних технологіях» №18(1190) 2016. С.10-15.
 - 16.Механизация и технология производства продукции животноводства / В.Г. Коба, Н.В. Брагинец, Д.Н. Мурусидзе, В.Ф. Некрашевич и др. – М.: Колос, 2000. – 528 с.
 - 17.Берник І.М. Дослідження процесів взаємодії апарату і технологічного середовища в умовах розвиненої кавітації/ І.М. Берник, О.Ф. Луговсь-

- кий, І.І. Назаренко// Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» серія «Машинобудування» №1(76) 2016. С.12-19.
- 18.Паламарчук І.П. Експериментальна оцінка енергетичних параметрів віброторної дробарки крохмаловмістної сировини спиртової промисловості / І.П Паламарчук, В.П. Янович, І.В. Купчук // Вібрації в техніці та технологіях. – 2015. – № 3 (79). – С. 133-136
- 19.Павленко В. С. З'єднання в машинобудуванні / В. С. Павленко, І. П. Паламарчук, О. В. Цуркан, Ю. А. Полєвода / За ред. В. С. Павленка. – Вінниця : ПП "ТД"Едельвейс і К"", 2015. – 110 с.
- 20.Цуркан О.В. Гідродинаміка процесу фільтраційного зневоднення свіже очищеного насіння гарбуза з вібраційною активацією. / О.В. Цуркан, Т.І. Римар, О.В. Станіславчук // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях» №2 (74). – 2014р. – С. 138-144.
- 21.Стабников В.Н. Процессы и аппараты пищевых производств : учебник для вузов [Текст] / В.Н. Стабников, В.М. Лысянский, В.Д. Попов. – 4-е изд., перераб. доп. – М. : Агропромиздат, 1985. – 510 с.
- 22.Карташов Л.П. Механизация, электрификация и автоматизация животноводства / Л.П. Карташов, А.И. Чугунов, А.А. Аверкиев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1997. – 368 с.
- 23.Паламарчук І.П. Тепломасообмінні процеси та обладнання переробного та харчового виробництва. Том 2 Навчальний посібник/ І.П. Паламарчук, П.С. Берник, З.А. Стецько, В.В Яськов, І.А.Зозуляк // Львів: Видавництво „Бескид Біт”, 2006. – 368 с.
- 24.Зимон А.Д. Адгезия пищевых масс [Текст] / А.Д. Зимон, А.М. Евтушенко. – М. : ДеЛи принт, 2008. – 397 с.
- 25.Павленко В. С Пасові передачі. Теорія, розрахунки, конструювання: Навчальний посібник / В. С. Павленко, О. В. Цуркан, І. Є. Кравченко, М. В. Любін. За ред. В. С. Павленка. - К. : Хай-Тек Прес, 2011. - 140 с.

26. Паламарчук І.П. Обґрунтування технології та обладнання для попередньої обробки крохмалевмісної сировини при виробництві спирту. / Паламарчук І.П., Янович В.П., Купчук І.М. // Вібрації в техніці та технологіях – 2013. - № 4(72) – С. 112-116.
27. Машины и аппараты пищевых производств [Текст] : в 3-х кн. / под ред. акад. РАСХН В.А. Панфилова. – М. : КолосС, 2009. – Кн. 1.
28. Берник І.М. Аналіз параметрів впливу на формування моделі акустичної обробки рідинних харчових середовищ. / І.М. Берник // Наукові праці ОНАХТ. Серія Технічні науки. Випуск 45. – Том 2. – м. Одеса, 2014р.- С. 129-133
29. Берник І.М. Встановлення основних параметрів впливу технологічного середовища на робочий процес ультразвукової кавітаційної обробки. / І.М. Берник, О.Ф. Луговський // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях» №3 (75) 2014. – С. 121-126
30. Плаксин Ю.М. Процессы и аппараты пищевых производств [Текст] / Ю.М. Плаксин, Н.Н. Малахов, В.А. Ларин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 2007. – 760 с.
31. Паламарчук І.П. Аналіз параметрів впливу на формування моделі акустичної обробки рідинних харчових середовищ. / І.П. Паламарчук, О.В. Зозуляк, І.Г. Липовй // Наукові праці ОНАХТ. Серія Технічні науки. Випуск 45. – Том 2. – м. Одеса, 2014р.- С. 124-128
32. Семенов Е.В. Методы расчетов гидромеханических процессов в пищевой промышленности [Текст] / Е.В. Семенов, В.А. Карамзин, Г.Д. Новикова. – М.: МГУПП, 2002. – 502 с.
33. Павленко В.С., Підшипники кочення. Вибір за статичною та динамічною вантажопідйомністю, конструювання підшипникових вузлів: Навчальний посібник / В. С. Павленко, О. В. Цуркан, І. Є. Кравченко За ред. В. С. Павленка - К. : Хай-Тек Прес, 2012. - 170 с.
34. Фаритов Т. А. Корма и кормовые добавки для животных: учебное пособие для вузов [Текст] / Т. А. Фаритов [и др.]. – СПб. : Лань, 2010. –

298 с.

35. Берник І.М. Інтенсифікація технологічних процесів обробки харчових середовищ. / Берник І.М. // Вібрації в техніці та технологіях – 2013. - № 3(71) – С. 109-115.