

Одеська державна академія харчових технологій

Гуртовий Микола Володимирович

УДК 664. 8. 022.1

Наукові основи ресурсозберігаючого розподілу овочefруктової суспензії на перфорованій поверхні

Спеціальність 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Одеса – 2002

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській державній академії харчових технологій Міністерства освіти і науки України

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор **Гладушняк Олександр Карпович**, Одеська державна академія харчових технологій, завідуючий кафедрою технологічного обладнання харчових виробництв.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **Мирончук Валерій Григорович**, Український державний університет харчових технологій, завідуючий кафедрою технологічного обладнання харчових виробництв;

доктор технічних наук, професор **Остапчук Микола Васильович**, Одеська державна академія харчових технологій, професор кафедри процесів і апаратів;

доктор технічних наук, професор **Дударев Іван Романович**, Одеський державний аграрний університет, завідуючий кафедрою механізації і автоматизації сільськогосподарських виробництв.

Провідна установа: Харківська державна академія технології та організації харчування, кафедра устаткування підприємств харчування Міністерства освіти і науки України (м. Харків).

Захист відбудеться 27 червня 2002 р. о 10-30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.01 при Одеській державній академії харчових технологій, за адресою: 65039, м. Одеса, вул. Канатна, 112.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Одеської державної академії харчових технологій: 65039, Україна, м. Одеса, вул. Канатна, 112.

Автореферат розісланий 20 травня 2002 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради, д. т. н., проф.

Гапонюк О. І.

Загальна характеристика роботи

Актуальність теми. Розподіл овочefруктової сировини на перфорованій поверхні – це технологічний процес, який широко використовується в харчовій та переробній промисловості для виробництва соків із м'якоттю, пюреподібних продуктів для дитячого й дієтичного харчування, відокремлення насіння плодів і овочів.

Обладнання, яке використовують для здійснення цього процесу, споживає значну кількість енергії і чимало коштує. Досконалість машин безпосередньо визначає частку цінних харчових компонентів сировини, що втрачаються з відходами. Аналіз існуючого обладнання показує, що склалося велике відставання технічного рівня машин для розподілу суспензії кісточкових культур: питома продуктивність перфорованої поверхні машин становить лише (0,6.. 0,9) $кг/с \cdot м^2$, що в кілька разів менше, ніж при розподілі суспензії зерняткових культур. Відомі машини потребують значних витрат енергії (питома робота, що споживається на розподіл кісточкових культур, перевищує 10 $кДж/кг$), мають великі розміри та масу. Багато корисних речовин сировини втрачається з відходами.

Удосконалення існуючого обладнання гальмується низьким рівнем теорії цього процесу. Не визначено дію транзитного руху суспензії по перфорованій поверхні на показники процесу, недостатньо досліджені явища закупорювання отворів перфорації частками дисперсної фази та їх очищення білами. Відкритими залишаються питання про умови, за яких можна уникнути пошкодження плодкових кісточок. Бракує методів, які дозволяють вибрати раціональну схему протиральної машини, знайти оптимальний режим її експлуатації.

Заради збереження матеріальних та енергетичних ресурсів необхідно розробити наукові основи процесу розподілу овочefруктової суспензії на перфорованій поверхні. Така розробка дасть можливість суттєво зменшити на користь України витрати на розподіл овочefруктової сировини в агропромисловому комплексі України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота входить у наукову Програму "Малогобаритна техніка і безвідходна технологія переробки сільськогосподарської сировини для фермерських і колективних господарств України", яка затверджена наказом № 68 Міністерства освіти України від 31.02.92 року, і є складовою частиною координаційного плану "Наукові основи створення енерго- і ресурсозберігаючих технологій, машин та апаратів для харчової промисловості", затвердженого наказом Міністерства освіти України № 37 від 13.02.97 року. Робота відповідає Закону України від 11 липня 2001 року № 2623-III "Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки". Роботу виконано відповідно до державної бюджетної тематики кафедри технологічного обладнання харчових виробництв Одеської державної академії харчових технологій.

Мета й задачі дослідження. Мета дослідження – розробити наукові основи ресурсозберігаючого розподілу овочefруктової суспензії на перфорованій поверхні в умовах транзитного руху суспензії і очищення отворів перфорації і вдосконалити обладнання, що використовується для цього.

Відповідно до стану проблеми й мети роботи необхідно розв'язати такі задачі:

- визначити дію транзитного руху суспензії на закупорювання отворів перфорації частками дисперсної фази та витратні характеристики перфорованої поверхні;
- визначити дію структури потоку в машині на глибину розподілу суспензії;
- виявити умови збереження цілісності плодкових кісточок під час розподілу суспензії в машині;
- одержати вихідні дані та закономірності, необхідні для інженерних розрахунків обладнання для розподілу суспензії;
- науково обґрунтувати раціональну конструктивну схему машини;
- розробити методикку оптимізації режимів розподілу суспензії на перфорованій поверхні;
- запропонувати технічні рішення, які дозволяють поліпшити показники процесу та

розробити вдосконалені протиральні машини для розподілу овочefруктових суспензій, зокрема суспензій кісточкових культур.

Наукова новизна одержаних результатів.

- Розроблено наукові основи нового напрямку розподілу овочefруктової суспензії на перфорованій поверхні за умови транзитного руху суспензії й очищення поверхні билами. Дослідження охоплює систему явищ, що відбуваються в довкіллі отвору перфорації, робочих зон та машини у цілому.
- Досліджено явища закупорювання отвору перфорації частками дисперсної фази. Виявлено основні механізми закупорювання отворів в умовах транзитного руху суспензії відносно перфорованої поверхні.
- Розроблено нові теоретичні моделі розподілу овочefруктової суспензії, які враховують явища закупорювання й очищення отворів перфорованої поверхні.
- Досліджено дію структури потоку суспензії у машині на продуктивність перфорованої поверхні, втрати часток тканин, що запасують поживні речовини, з відходами.
- Сформульовано умови запобігання руйнації фруктових кісточок у процесі розподілу суспензії.
- Дістала подальшого розвитку теорія руху продукту в барабані інерційної протиральної машині безперервної дії: одержані рівняння, що описують форму вільної поверхні продукту під час його пересування билами; залежності для розрахунку довжини робочих зон машини; умови утримання та евакуації відходів із барабана машини.
- Запропоновано метод оптимізації режиму розподілу суспензії на перфорованій поверхні, який базується на мінімізації ресурсів, що витрачаються на розподіл суспензії.

Практичне значення одержаних результатів. Сукупність проведених досліджень дозволила обґрунтувати доцільну конструктивну схему та режими експлуатації протиральних машин, які забезпечують збереження матеріальних й енергетичних ресурсів при розподілі овочefруктової суспензії. Розроблено режими розподілу суспензії, що містить фруктові кісточки, які полягають у підвищенні швидкості бил до (14...18) м/с. Запропоновано нові технічні рішення, які дозволили підвищити техніко-економічні показники протиральних машин.

Дослідження втілено в удосконалених моделях протиральних машин. Розроблено фінішер РЗ-КИЗ, який випускається серійно і використовується на консервних підприємствах України, Росії, Молдови. Розроблено протиральну машину РЗ-КИД, яка забезпечує якісний швидкісний розподіл суспензії кісточкових плодів.

Для потреб малих підприємств розроблено універсальну малогабаритну протиральну машину Ш24-КПМ, яка розділяє широкий асортимент плодоовочевих суспензій, у тому числі кісточкових культур.

Удосконалені протиральні машини відрізняються високими техніко-економічними показниками. Машини для протирання кісточкових культур забезпечують питому продуктивність перфорованої поверхні, яка приблизно у (4...8) разів більша за показники відомих машин, у той час як витрати енергії зменшуються у (2...3) рази, а втрати корисних речовин з відходами – на (20...40)% . Машини для розподілу суспензії зерняткових культур та вторинного протирання дозволяють заощадити (15...25)% енергії. Річний економічний ефект від упровадження у виробництво машини РЗ-КИЗ становить 8 727 крб. за цінами 1988 р., протиральної машини РЗ-КИН – 5800 крб. за цінами 1990 р.

Результати теоретичних й експериментальних досліджень включено в програми дисциплін “Технологічне обладнання харчових виробництв”, “Теорія технічних систем”, “Розрахунки й конструювання машин та апаратів харчових виробництв”, “Теоретичні основи розрахунків технологічних машин та апаратів”, що читаються бакалаврам і магістрам.

Матеріали дисертації використовуються студентами при виконанні курсових та дипломних проектів та під час дослідницької роботи.

Особистий внесок здобувача. У наукових працях, що надруковані в співавторстві, здобувачеві належить:

- обґрунтування і розробка наукових гіпотез, теоретичних моделей, формулювання висновків;
- планування й опрацювання результатів експерименту, теоретична інтерпретація отриманих результатів;
- складання опису винаходів, складання та редагування формул винаходів, теоретичне обґрунтування запропонованих рішень.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації викладені й одержали позитивну оцінку на (38...61) наукових конференціях ОТХП ім. М. В. Ломоносова та ОДАХТ; на міжкафедральних семінарах ОДАХТ, що відбулися 10.06.96 р., 22.10.98 р., 03.07.2000 р. та 11.10.2001 р.; на 9-й міжнародній конференції по удосконаленню процесів і апаратів хімічних, харчових і нафтохімічних виробництв (Одеса, 1977); на міжнародній науково-практичній конференції за проектом “Екологія людини й проблеми виховання молодих учених” (Одеса, 1997); на міжнародній конференції з технологій харчування та економічних проблем торгівлі (Харків, 1988).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 20 статей у наукових фахових виданнях, 11 авторських свідоцтв та патентів на винаходи, 3 статті у наукових журналах і збірниках, 7 тез докладів на наукових конференціях.

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, 6-ти основних розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків.

Дисертаційна робота, викладена на 318 сторінках машинописного тексту, включає 74 рисунка (17 сторінок), 25 таблиць (9 сторінок), 4 додатки (5 сторінок). Список використаних літературних джерел складається з 266 найменувань (25 сторінок).

Основний зміст роботи

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, зв'язок із науковими програмами, планами й темами, сформульовано мету й задачі дослідження, показано наукову новизну й практичне значення одержаних результатів, особистий внесок здобувача в проведених дослідженнях, наведено відомості про апробацію роботи й публікації здобувача за темою дисертаційної роботи.

У **першому** розділі наведено огляд літературних даних, обґрунтовано напрямки дослідження.

Дослідження процесу протирання овочefруктової сировини викладено у роботах І. А. Алієва, І. В. Анісімова, Л. А. Боневої, М. Я. Дікіса, О. К. Гладушняка, А. К. Д'яконої, М. І. Кепіна, І. М. Маленко, М. С. Мордковича, К. М. Порошина, Ю. Г. Скорикової, Б. М. Уточкіна, Р. В. Штейнберга та інших авторів.

Переважна більшість робіт стосується розподілу овочefруктової сировини на інерційних протиральних машинах із нерухомих перфорованих барабаном (рис 1а). Процес характеризують фактором розподілу

$$Fr = \omega^2 \cdot R / g, \quad (1)$$

де ω – швидкість обертання встановлених на вал бил;
 R – внутрішній радіус перфорованого барабана;
 g – прискорення сили тяжіння.

У роботах О. К. Гладушняка викладено теорію руху продукту в барабані протиральної машини безперервної дії. Припускається, що овочefруктова сировина описується моделлю ньютонівської рідини, властивості якої не змінюються в процесі розподілу. Відокремлення обробленого напівфабрикату трактується як витікання однорідної рідини через отвори перфорації. Витрати напівфабрикату крізь отвір перфорації визначаються за формулою

$$q_o = \mu_o \cdot s_o \cdot \sqrt{2g \cdot h \cdot Fr}, \quad (2)$$

де μ_o – коефіцієнт витрат;

s_o – повний переріз отвору;

h – товщина шару продукту в барабані протиральної машини.

Між тим для розподілу овочefруктових суспензій запропоновані вельми різні конструктивні схеми машин (рис.1). Всі відомі машини мають основні робочі органи: перфоровану поверхню 1, виконану у вигляді барабана і біла або скребачки 3, які очищують цю поверхню.

Аналіз науково-технічної інформації показує, що подальший розвиток обладнання для розподілу овочefруктових суспензій гальмується недостатнім рівнем теоретичного дослідження процесу, а саме:

- відомі дослідження стосуються лише інерційної протиральної машини з нерухомим перфорованим барабаном і непридатні для аналізу відомих машин та вибору раціональної конструктивної схеми машини;
- модель відокремлення напівфабрикату (2) не враховує явища закупорювання та очищення отворів перфорації. Це приводить до помилкових висновків щодо напрямків удосконалення існуючого обладнання;
- відомі теоретичні моделі не враховують зміни властивостей суспензії внаслідок відокремлення обробленого напівфабрикату і придатні лише для аналізу окремих стадій процесу;
- бракує аналізу взаємодії робочих органів машини з частками суспензії, зокрема, із фруктовими кісточками;
- не розроблено інженерних методик оптимізації режиму розподілу суспензій на перфорованій поверхні.

Показано, що технічний рівень обладнання для розподілу овочefруктової сировини на перфорованій поверхні можна оцінити за такими ознаками: питомою продуктивністю перфорованої поверхні машини; витратами енергії на розподіл одиниці маси сировини; втратами поживних речовин з відходами; придатністю машини до розподілу існуючих видів плодовоовочевих суспензій.

Сформульовані наукові гіпотези, які покладено в основу роботи:

Розподіл овочefруктової суспензії на перфорованій поверхні є системою процесів, що відбуваються на мікрорівні, макрорівні та в машині у цілому.

Основний опір відокремленню напівфабрикату чинить отвір перфорації, при цьому на витратні характеристики отворів суттєво впливає транзитний рух суспензії по перфорованій поверхні і явища закупорювання отворів частками баластових тканин та їх очищення білами.

Поведінка фруктової кісточка під час розподілу суспензії (руйнування або збереження цілісності) вирішується при її взаємодії з робочими органами машини.

Цілі й задачі дослідження викладено в загальній характеристиці роботи.

Розділ 2 присвячено мікроаналізу процесів розподілу компонентів овочefруктової суспензії на отворах перфорованої поверхні та взаємодії робочих органів машини з фруктовими кісточками.

Овочefруктова сировина розглядається як суспензія, яка містить частки тканин, що запасують поживні речовини (паренхимні клітини і їх групи) і частки баластових тканин (фрагменти шкірочки, насінини, кісточка, кам'яністі клітини, судинні волокна).

Дослідження процесу закупорювання отворів перфорації при витіканні суспензії здійснено для простих суспензій, які містять однакові частки дисперсної фази. Моделі, що використано для дослідження поведінки часток баластових тканин, наведено у табл. 1.

Якщо суспензія містить *сферичні частки* (рис. 2), то поведінка часток на отворі залежить від швидкості транзитного руху суспензії v_{∞} . Уведено граничну швидкість, при якій

частки утримаються на отворі

$$v_{\text{реж}} = \varphi_{\text{сум}} \sqrt{p \cdot 0,785 d^3 / (\zeta \cdot \rho \cdot s_z)}, \quad (3)$$

де $\varphi_{\text{сум}}$ – коефіцієнт, який враховує зниження швидкості поблизу ситового полотна;
 ζ – коефіцієнт обтікання часток;
 s_z – статичний момент частки відносно рівня перфорованої поверхні.

Таблиця 1

Моделі часток баластових тканин

Походження часток	Теоретична модель
Кісточка	Тверде сферичне тіло
Насінина	
Ранева перидерма Кам'яниста клітина	Пластичне тіло з граничною напругою зсуву $[\tau_{\sigma}]$
Фрагмент шкірочки (епідерміс)	Гнучка пластина
Судинне волокно, прозенхімна клітина	Ниткоподібна частка

Якщо виконується умова

$$v_{\infty} < v_{\text{реж}}, \quad (4)$$

то частка затримується на отворі перфорації й витікання суспензії через певний час припиняється. Такий режим названо *тихохідним*.

Якщо умова (4) порушується, то частка змивається транзитним рухом суспензії.

Теоретичний аналіз показав, що при розвиненому турбулентному тонкошаровому русі суспензії в інерційній протиральній машині сферичні частки не закупорюють отвори перфорації. При збільшенні h/R сили тиску здатні утримувати частки, розміри яких $d_{\text{сф}}$ порівнянні з розмірами отворів d . Але навіть при повному заповненні барабана розмір утримуваних часток знаходиться в межах $d \leq d_{\text{сф}} \leq 1,5 d$.

У випадку витікання суспензії, що містить *дрібні частки* (розмір часток у (4...10) разів менший за розміри отвору) пробка утворюється на бічній поверхні отвору. Коефіцієнт відкриття отвору ε , що дорівнює відношенню вільного перерізу до його повного перерізу, не може бути меншим критичної величини. Пробка періодично змивається потоком суспензії, що витікає через отвір.

Якщо суспензія містить *ниткоподібні частки*, то пробка утворюється на робочій крайці отвору. Характер закупорювання залежить від довжини часток с суспензії. Якщо довжина часток l_q менше від граничної величини, то пробка періодично змивається суспензією, яка витікає через отвір. Якщо довжина часток перевершує границю, то витіканні суспензії закінчується повним закупорюванням отвору й розподіл суспензії через певний час припиняється.

Розподіл суспензії на перфорованій поверхні з періодичним очищенням отвору розглянуто як систему процесів витікання дисперсійного середовища, закупорювання та очищення отворів (рис. 3).

Припускається, що витрати дисперсійного середовища становлять

$$q = \varepsilon \cdot q_o, \quad (5)$$

де ε – плинний коефіцієнт відкриття отвору.

Витрати напівфабрикату на виході з отвору

$$q_{\text{н/ф}} = q_o \cdot \exp(-t/t_{\text{ч3}}) (1 - c), \quad (6)$$

де t – проміжок часу від моменту, коли отвір був повністю відкритим;

$t_{\text{ч3}}$ – характерний час закупорювання;

c – частина об'єму суспензії, що йде на утворення пробки,

$$t_{\text{ч3}} = v_{\text{нр}} / (c \cdot q_o), \quad (7)$$

де v_{np} – середній об'єм пробки, яка цілком закупорює отвір.

Очищення отвору описано вірогідною та детерміністичною моделями. Вірогідна модель припускає, що в результаті проходження біла над отвором било з імовірністю p_o цілком очищує отвір, або з імовірністю $(1 - p_o)$ залишає його стан без зміни. Детерміністична модель виходить із припущення, що в результаті проходження біла над отвором коефіцієнт відкриття змінюється таким чином, що коефіцієнт

$$i_o = (1 - \varepsilon_+) / (1 - \varepsilon_-) \quad (8)$$

є стала величина. У (8) позначено ε_+ , ε_- – коефіцієнти відкриття до і після проходження біла над отвором.

Середні за довгий час витрати напівфабрикату на виході з отвору, що очищується з імовірністю p_o , становлять

$$q_{н/ф} = q_o \cdot p_o \cdot t \cdot (1 - c \cdot \lambda) \cdot (1 - \exp(-t_o/t_{ч3}) / (1 - (1 - p_o) \cdot \exp(-t_o/t_{ч3}))), \quad (9)$$

де λ – частка об'єму пробки, яка при очищенні отвору повертається в простір над перфорованою поверхнею.

Якщо прийняти $p_o = 1 - i_o$, то з (9) можна отримати середні витрати для детерміністичної моделі очищення отворів.

Аналіз рівняння (9) дозволяє виділити дві основні аналітичні моделі відокремлення напівфабрикату.

Модель витікання розбавленої суспензії подає середні за довгий час витрати обробленого напівфабрикату у вигляді

$$q_{вит} = \varepsilon_{сеп} \cdot q_o, \quad (10)$$

де $\varepsilon_{сеп}$ – середній коефіцієнт відкриття отвору.

У випадку, коли $t_o/t_{ч3} \rightarrow 0$, з (9) одержуємо

$$\varepsilon_{сеп} = (1 - c \cdot \lambda) / (1 + t_o / (p_o \cdot t_{ч3})). \quad (11)$$

Основною характеристикою в цьому випадку є коефіцієнт витрат

$$\mu = \varepsilon_{сеп} \cdot \mu_o, \quad (12)$$

де μ_o – коефіцієнт витрат при витіканні дисперсійного середовища через повний переріз отвору.

Модель витікання розбавленої суспензії придатна, якщо виконується умова $t_o / (p_o \cdot t_{ч3}) \geq 0,5$.

Модель протирання описує розподіл концентрованої суспензії, якщо

$$t_o / (p_o \cdot t_{ч3}) \leq 2,5.$$

У цьому випадку основний вплив на витрати напівфабрикату справляють процеси закупорювання та очищення отворів білами (рис. 4). Витрати розраховуються по формулі

$$q_{прот} = s_o \cdot \widehat{l} / t_o, \quad (13)$$

де \widehat{l} – товщина шару напівфабрикату, що відокремлюється після проходження над отвором біла,

$$\widehat{l} = p_o \cdot l_{np} \cdot (1 - c \cdot \lambda) / c, \quad (14)$$

де λ – доля об'єму пробки, яка повертається при очищенні отвору.

Вихід обробленого напівфабрикату на ділянці перфорованої поверхні dS відповідно до цієї моделі можна подати як

$$dB = (\varphi \cdot \widehat{l} / t_o) dS, \quad (15)$$

де φ – живий переріз перфорованої поверхні.

З (14, 15) витікає, що витрати напівфабрикату пропорційні вірогідності очищення отворів перфорації та швидкості очищення поверхні і зменшуються зі збільшенням умісту в суспензії часток, що закупорюють отвори.

Аналіз пересування сферичної частки (фруктової кісточки) билом інерційної протиральної машини дозволяє виділити види руху частки. Зміна руху відбувається в залежності від кута нахилу біла до поверхні барабана (рис. 5).

Перекочування частки відбувається, якщо

$$f_0 < f_{кр}; \quad (16)$$

ковзання по поверхні барабана має місце, якщо

$$f < f_{кр} < f_0, \quad (17)$$

де f, f_0 – коефіцієнт тертя частки по перфорованій поверхні й билу;

$f_{кр}$ – критичний коефіцієнт тертя,

$$f_{кр} = \text{Sin } \beta / (1 + \text{Cos } \beta). \quad (18)$$

Якщо $f_{кр} < \min(f, f_0)$, то кісточка затискується між билом і перфорованою поверхнею і руйнується.

Збереження кісточка від руйнації внаслідок зіткнення з робочими органами машини можливе за умови, коли

$$v_y \leq v_{сп} = \sqrt{\frac{2E}{k_E \cdot m \cdot (1 - c_y)}}, \quad (19)$$

де v_y – складова швидкості кісточка, нормальна до поверхні робочого органа;

$v_{сп}$ – гранична відносна швидкість кісточка;

E – кінетична енергія руйнації кісточка;

k_E – коефіцієнт, що враховує втрати кінетичної енергії кісточка.

У **третьому розділі розглянуто** обертальний і аксіальний рух продукту на окремих стадіях процесу розподілу суспензії в інерційній протиральній машині.

Відокремлення напівфабрикату відбувається під дією тиску, що створюється продуктом, який обертається в нерухомому барабані машини

$$p = \rho \cdot \omega^2 \cdot R \cdot h (1 - h/2R) \cdot \alpha_p, \quad (20)$$

де α_p – коефіцієнт, що враховує відхилення фактичного епюра швидкості від епюра швидкості твердого тіла, яке обертається зі швидкістю ω .

Обертальний рух продукту в залежності від режиму роботи бил може бути плівковим або секційним.

При плівковому обертальному русі течію рідкого продукту в нерухомому барабані можна охарактеризувати товщиною шару плівки $H_{пл}$ і частотою обертання продукту ω^* , яка завжди менша від частоти обертання бил ω_0 . В роботі виведені й наведені відповідні залежності.

У випадку секційного обертального руху зазор між крайкою бил і перфорованою поверхнею ущільнюється частками баластових тканин. Продукт обертається зі швидкістю бил і інтенсивність інерційних сил значно більша, ніж при плівковому русі. Під впливом сил інерції, реакції біла і поверхні барабана переріз продукту приймає певну форму, яка залежить від реологічних властивостей сировини.

Товщину шару рідкого продукту на кутовій відстані θ від робочої крайки біла можна розрахувати як

$$h(\theta) = H_{pid} \sqrt{1 - \theta / \theta_{pid}},$$

(21)

де H_{pid} – найбільша товщина шару рідкого продукту;

θ_{pid} – кутова ширина перерізу рідкого продукту.

Площа поперечного перерізу визначається як

$$S_{pid} = 2R \cdot H_{pid} \cdot \theta_{pid} / 3 = 2 \alpha_p \cdot H_{pid}^3 / (3 c_f \cdot R), \quad (22)$$

де c_f – коефіцієнт гідравлічного опору при русі продукту по поверхні барабана.

Характер *обертального руху пластичного продукту* залежить від його граничної напруги зсуву $[\tau_\infty]$, перерізу та інтенсивності сил інерції.

Якщо розміри поперечного перерізу наближаються до характерних величин

$$h_o = 2[\tau_\infty] / (\rho \cdot \omega^2 \cdot R \cdot (1 - h / 2R)), \quad \theta_o = h_o / (f \cdot R), \quad (23)$$

то пластичний продукт ковзає як єдине ціле, а його форма може варіюватися в широких межах.

Якщо розміри поперечного перерізу у багато разів перевершують h_o , θ_o , то продукт переміщується по поверхні барабана з безперервним деформуванням. З точністю до h_o і θ_o вільна поверхня описується рівнянням

$$h = \sqrt{h_o \cdot R \cdot (\theta_{nl} - \theta)}, \quad (24)$$

де θ_{nl} – кутова ширина перерізу пластичного продукту (рис. 6 а).

Геометричні параметри поперечного перерізу можна оцінити по найбільшій товщині H_{nl} шару продукту в перетині

$$\theta_{nl} = H_{nl}^2 / (h_o \cdot R); \quad S_{nl} = 2H_{nl}^3 / 3 h_o; \quad h = \sqrt{H_{nl}^2 - h_o \cdot R \cdot \theta}. \quad (25)$$

На *стадії ковзання відходів* властивості продукт описано моделлю сипкого ґрунту. Гранична напруга зсуву відповідно до відомого закону Ш. Кулона прямо пропорційна напрузі тиску

$$[\tau_\infty] = f_{вн} \cdot \sigma,$$

де $f_{вн}$ – коефіцієнт внутрішнього тертя продукту.

Незалежно від розмірів перерізу продукт ковзає по поверхні барабана в “отверділому” стані. Форма його вільної поверхні має вигляд спіралі Архімеда

$$h = R \cdot f_{вн} \cdot (\theta_{ep} - \theta), \quad (26)$$

параметри поперечного перерізу можна розрахувати за найбільшою товщиною шару продукту H_{ep} (рис. 6б)

$$\theta_{ep} = H_{ep} / (f_{вн} \cdot R); \quad S_{ep} = H_{ep}^2 / 2f_{вн}; \quad h = H_{вн} - \theta \cdot R \cdot f_{вн}. \quad (27)$$

Аксіальний рух рідкого продукту описано системою рівнянь потоку з вільною поверхнею та змінними витратами по шляху пересування

$$dQ = -dB = -0,8 \sqrt{2\hat{\mu}} \cdot \varphi Z \omega R^2 \cdot \left(\frac{H_1}{R} \right)^{5/2} \cdot dy$$

$$\frac{dH_1}{dy} = - \frac{3}{4} \cdot \frac{c_f}{\alpha_p} \cdot \frac{R}{H_1 \cdot \text{Cos}^2 \alpha} \cdot \left(\frac{v_6 - \hat{v}_6}{v_\theta} \right)^2 \cdot \left(1 + \frac{c_f}{\alpha_p} \cdot \frac{R}{H_1 \cdot \text{Cos} \alpha} \right) \cdot \left(\frac{1}{1 - \frac{3H_1 \cdot \text{Cos} \alpha}{8R}} \right), \quad (28)$$

де $\hat{\mu}$ – комплекс безрозмірних коефіцієнтів,
$$\hat{\mu} = \frac{\mu_{уст} \cdot \alpha_p}{c_f};$$

 v_6 – швидкість рівномірного аксіального руху суспензії;
 y – координата, спрямована вздовж осі барабана.

Аналогічну систему диференціальних рівнянь одержано для пластичного продукту.

Потужність, що споживається на відповідній стадії процесу розподілу суспензії при секційному обертальному русі представлено в узагальненому вигляді

$$N_i = k_{Ni} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot V_{бар} / R, \quad (29)$$

де k_{Ni} – безрозмірний коефіцієнт, що залежить від реологічного стану продукту та відносної товщини шару продукту;

$V_{бар}$ – об'єм перфорованого барабана.

У розділі 4 викладено результати теоретичного аналізу процесу розподілу суспензії у масштабі протиральної машини. Характер та показники процесу суттєво залежать від структури потоку.

Повне перемішування суспензії (рис. 7) приводить до того, що властивості суспензії однакові у всій робочій зоні машини, концентрація часток баластових тканин у відходах дорівнює їх змісту в робочій зоні і становить

$$c_{відх} = c_{вих} \left(\frac{1 + Q^*}{Q^* + c_{вих}} \right), \quad (30)$$

де $c_{вих}$ – концентрація часток у вихідній суспензії;

Q^* – відносне завантаження перфорованої поверхні, що визначається як

$$Q^* = \frac{Q(1 - c_{вих})}{\varphi \cdot \frac{\hat{l}_{вих}}{t_o} \cdot S}, \quad (31)$$

де S – площа перфорованої поверхні машини;

$\hat{l}_{вих}$ – товщина шару напівфабрикату, що відокремлюється при проходженні над отвором біла, коли всю поверхню барабана вкриває вихідна суспензія.

Витрати напівфабрикату становлять

$$B = \varphi \frac{S}{t_o} \cdot \hat{l}_{вих} \cdot \frac{Q^*}{1 + Q^*}. \quad (32)$$

Розподіл з *ідеальним витискуванням суспензії* виходить із припущення, що суспензія під час процесу переміщується вздовж перфорованої поверхні від перерізу, через який відбувається завантаження сировини до перерізу вивантаження відходів, при цьому повздовжнього перемішування суспензії не відбувається. Аналіз процесу розподілу овочefруктової суспензії у цьому випадку дозволяє виділити стадії відокремлення основних компонентів (рис.8).

Якщо виконується умова

$$c_3 + c_6 + c_n < c_{кр}, \quad (33)$$

то спостерігається відокремлення дисперсійного середовища,

де c_3 ; c_6 ; c_n – об'ємна концентрація часток тканин, що запасують поживні речовини, баластових опуклих та ниткоподібних часток;

$c_{кр}$ – критична концентрація, при досягненні якої частки контактують між собою й утворюють структуру.

Коли сумарна концентрація часток досягає критичного рівня, тобто

$$c_3 + c_6 + c_n \approx c_{кр}, \quad (34)$$

починається стадія переважного відокремлення тканин, що запасують поживні речовини. Ця стадія продовжується, доки зміст твердих часток баластових тканин та ниткоподібних часток не досягне критичного рівня, тобто $c_6 + c_n \approx c_{кр}$. Після цього відокремлення напівфабрикату уповільнюється й наступає стадія ковзання відходів, коли розподіл продукту практично припиняється.

У залежності від конструктивних параметрів машини в течії суспензії можна виділити одну, дві або три зони довжиною $L_1, L_2, L_{відх}$, що відповідають стадіям відокремлення дисперсійного середовища, тканин, що запасують, та ковзання відходів, відповідно (рис. 8). Довжину перелічених зон можна розрахувати як

$$L_1 = \frac{B_1}{Z \cdot \varphi \cdot l_{вих} \cdot \omega \cdot R}, \quad L_2 = \frac{B_{2,\infty}}{Z \cdot \varphi \cdot l_{вих} \cdot \omega \cdot R} \cdot \ln \left(\frac{B_{2,\infty}}{B_{2,\infty} - B_2} \right), \quad (35)$$

де B_1, B_2 – вихід напівфабрикату на стадіях відокремлення дисперсійного середовища й тканин, що запасують;

$B_{2,\infty}$ – вихід тканин, що запасують поживні речовини, в машині з нескінченно довгим перфорованим барабаном;

$l_{вих}$ – товщина шару напівфабрикату, що відокремлюється при проходженні над отвором біла, у випадку, коли над перфорованою поверхнею знаходиться вихідна суспензія.

Аналіз показує, що машина може працювати в одному з таких режимів: пусковому, накопичення баластових тканин і вивантаження відходів.

Аналіз сил, які діють на відходи, дозволяє сформулювати умову, при якій відходи утримуються у барабані машини

$$F_a / P \leq f_g - \operatorname{tg} \alpha, \quad (36)$$

де F_a – сила тиску на бічну грань об'єму відходів із боку суспензії, яка перебуває на стадії відокремлення тканин, що запасують;

P – сила, що діє на масу відходів із боку біла;

f_g – коефіцієнт тертя відходів по поверхні біла.

Умову (34) можна подати у вигляді

$$L_{відх} \geq L_{ymp} = 2H / 3(f_g - \operatorname{tg} \alpha), \quad (37)$$

де L_{ymp} – гранична довжина зони ковзання відходів, при якій вони утримуються у барабані машини.

Якщо умови (35, 37) не виконуються, то маса продукту, що перебуває на стадії ковзання відходів, переміщується під дією прикладених до неї сил у бік патрубка для вивантаження відходів. Швидкість осьового переміщення відходів становить

$$v_y = \omega_6 \cdot R \cdot \operatorname{tg} \beta, \quad (38)$$

де β – кут підйому гвинтової лінії, по якій переміщуються відходи

$$\beta = \operatorname{Arc Sin} (\sin \alpha + (F_a / P) \operatorname{Cos} \alpha - f'_6 \cdot \operatorname{Cos} \alpha), \quad (39)$$

де f'_6 – коефіцієнт тертя ковзання по поверхні біла.

У розділі 5 описано експериментальні установки, методику проведення експерименту та результати комплексного експериментального дослідження.

В результаті дослідження виявлено, що тиск, який створюється за рахунок обертального руху продукту в нерухомому барабані інерційної машини, визначається рівнянням (20). При цьому у діапазоні $Re_\infty = (2 \dots 50) \cdot 10^4$ і $h / R = (0,2 \dots 0,6)$ коефіцієнт α_p не перевищує 1,1 і з точністю $\pm 0,005$ описується рівнянням

$$\alpha_p = 1,227 - 0,038 \cdot \lg Re_\infty. \quad (40)$$

Експериментально підтверджена правомірність використання теоретичних залежностей

(21...25), які описують вільну поверхню продукту в барабані машини. Коефіцієнт гідравлічного опору рідини при цьому становить $c_f = (0,0082...0,0092)$ і наближається до величин, відомих в гідравліці відкритих потоків. Коефіцієнт внутрішнього тертя відходів під час розподілу суспензії зерняткових культур в інерційній машині залежить від виду сировини й режимів роботи машини. За результатами дослідження цей коефіцієнт знаходиться в межах (0,4...0,7). Коефіцієнт тертя відходів по перфорованій поверхні залежить від виду сировини, колової швидкості і за результатами дослідження змінюється від 0,25 до 0,60.

Розподіл овочefруктових культур на перфорованій поверхні досліджено на прикладі томатної, яблукової та абрикосової суспензії. При цьому діаметри отворів перфорації становили (0,415; 0,8 2,9) мм, колова швидкість бил – (5,7; 11,3; 15,7) м/с. За рахунок зміни ширини зазору між робочою крайкою бил і ситовим полотном змінювали режими роботи бил: з ущільненням зазору між билом і ситовим полотном та без ущільнення зазору.

Усі досліджені режими можна розділити на дві групи: режими, при яких розподіл закінчується повним закупорюванням перфорованої поверхні (табл. 2) та режими, при яких спостерігається відокремлення обробленого напівфабрикату (табл. 3). Щоб забезпечити відокремлення напівфабрикату, необхідно використовувати режими роботи бил з ущільненням зазору між билом і перфорованою поверхнею, вибирати колову швидкість бил, яка перевершує границю, що призводить до закупорювання отворів.

Таблиця 2.

Режими, при яких спостерігається повне закупорювання отворів

Сировина що переробляється	Діаметр отвору, мм	Режим роботи бил	Колова швидкість бил, м / с
Томатна суспензія	0,415	Без ущільнення зазору	$\leq 5,7$
Яблунова суспензія	0,415	Без ущільнення зазору	$\leq 11,3$
		З ущільненням зазору	$\leq 5,7$
	2,9	Без ущільнення зазору	Усі досліджені режими
Абрикосове пюре-напівфабрикат	0,415	Без ущільнення зазору	$\leq 11,3$
	2,9; 1,2	Без ущільнення зазору	Усі досліджені режими

Таблиця 3.

Режими, при яких спостерігається відокремлення напівфабрикату

Сировина, що переробляється	Діаметр отвору, мм	Режим роботи бил	Колова швидкість бил, м / с
Томатна суспензія	0,415	Без ущільнення зазору	$> 5,7$
		З ущільненням зазору	Усі досліджені режими
Яблунова суспензія	0,415	Без ущільнення зазору	$> 11,3$
		З ущільненням зазору	$> 5,7$
Абрикосове пюре-напівфабрикат	0,415	Без ущільнення зазору	$\leq 11,3$

Експериментально підтверджено існування таких механізмів закупорювання отворів перфорації при витіканні суспензії:

1. Утворення пробки на бічній поверхні отвору. Явище спостерігається, коли розміри часток у (4...10) разів менші за розміри отвору. Пробка періодично змивається струмом суспензії, що витікає, при цьому коефіцієнт витрат зростає зі збільшенням товщини шару продукту в машині й описується залежністю (9). Коефіцієнт відкриття отвору знаходиться в межах (0,5...0,9).
2. Утворення пробки з часток, які періодично знімаються билем, що проходить над отвором. У цьому випадку витрати напівфабрикату визначаються явищами закупорювання та очищення отвору і не залежать від товщини шару продукту в барабані машини. Ефективний коефіцієнт витрат отвору зменшується зі збільшенням товщини шару продукту в барабані і знаходиться в межах (0...0,2).

Енергія удару, здатного зруйнувати шкарлупу фруктової кісточки, є вірогідною величиною, яка описується логарифмічно нормальним законом розподілу

$$P(E) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot \int_{-\infty}^{\lg E} \exp - \frac{(\lg E - \lg M)^2}{2\sigma^2} \cdot d \lg E \quad (41)$$

де $P(E)$ – імовірність пошкодження шкарлупи кісточки при енергії молотка E ;
 M – середнє геометричне значення енергії удару, необхідної для руйнування;
 σ – середньоквадратичне відхилення $\lg E$ від математичного очікування.

Результати статистичної обробки результатів дослідження руйнування кісточок наведено в табл. 4, 5.

Слід відзначити, що з імовірністю 95% енергія, необхідна для пошкодження кісточки сливи, може відрізнятись в більшу або меншу сторону в 1,7 разів, а для кісточки абрикоси – у 2,5 разів. Покриття робочого органу еластичним матеріалом (гумою) збільшує енергію, необхідну для руйнування фруктових кісточок.

На основі експериментальних даних по формулі (17) розраховано граничну відносну швидкість, при якій з вірогідністю 99% кісточка після зіткнення з робочим органом машини залишиться непошкодженою. Для вишневих кісточок ця швидкість становить 20 м/с, абрикосових – 22 м/с, сливових – 12,5 м/с.

Таблиця 4.

Параметри логарифмічно нормального закону розподілу енергії пошкодження шкарлупи фруктових кісточок при іспитах на жорсткій основі, температури 20°C

Вид кісточок	Стан кісточок	Параметри розподілу	
		<i>M, Дж</i>	σ
Вишня	Вологі	0,131	1,13
	Сухі	0,145	1,20
Абрикоса	Вологі	0,773	1,31

Таблиця 5.

Параметри логарифмічно нормального закону розподілу енергії пошкодження шкарлупи кісточок сливи при гумовій прокладці між кісточкою й ковадлом

Товщина гумової прокладки, мм	Параметри розподілу при температурі (°C) кісточок			
	20		95...100	
	<i>M, Дж</i>	σ	<i>M, Дж</i>	σ
0	0,098	1,39	0,15	1,45
3,37	0,27	1,38	0,30	1,24
6,75	0,44	1,35	0,40	1,30
10,12	0,50	1,42	0,50	1,31
13,5	0,57	1,38	0,55	1,31

Рух продукту й відокремлення обробленого напівфабрикату в інерційній машині безперервної дії було досліджено на прикладах томатної суспензії, абрикосового й айвового попередньо протертих напівфабрикатів. При цьому варіювалися швидкість обертального руху бил, завантаження машини, кут випередження бил. Приклад одержаних даних наведено на рис. 9. Колова швидкість бил у цьому прикладі становила 13,9 м/с, радіус барабану – 45,5 мм, кут випередження бил – 6°, діаметр отворів перфорації – 0,35 мм, подача сировини – 134 г/с.

Аналіз експериментальних даних показав, що при розподілі цих продуктів спостерігається порівняно невеликі зміни товщини шару продукту в поперечному перерізу барабана, дуже значне зменшення осьової складової швидкості. Коефіцієнт витрат знижується до як завгодно малого рівня. При розподілі суспензії насінневих та кісточкових культур процес можна розділити на стадії переважного відділення дисперсійного середовища, тканин, що запасують поживні речовини й ковзання відходів.

Відокремлення дисперсійного середовища можна описати моделлю витікання розбавленої суспензії (10), а тканин, що запасують поживні речовини – моделлю протирання (15). На другій стадії спостерігається зменшення товщини шару напівфабрикату, що відокремлюється при проходженні над отвором била, пропорційне до виходу напівфабрикату, що збігається з результатами теоретичного дослідження для моделі протирання концентрованої суспензії. Приклад такої залежності наведено на рис. 10.

Параметри, які характеризують витратні характеристики перфорованої поверхні інерційної машини при розподілі досліджених овочefруктових суспензій, наведено в табл. 6.

Таблиця 6.

Витратні характеристики перфорованої поверхні при розподілі овочефруктової суспензії

Суспензія	Умови розподілу				Стадія відокремлення дисперсійного середовища		Стадія відокремлення тканин, що запасують		Гранична кількість відходів, %
	d , мм	v , м/с	α , град.	Z , шт	$\mu_{\text{вих}}$	B_p , %	$l_{\text{вих}}$, %	$B_{2,\infty}$, %	
Томатна	2,8	5,0; 7,5	0	1; 2	0,35	63	4,0	35	2
Абрикосовий напівфабрикат	0,35	6,9; 13,9	6	2	0,25	40	2,0	56	3
Айвовий напівфабрикат	0,35	6,9	5	2	0,20	23	0,8	34	43
		13,9	0	2	0,20	48	1,25	50	3,0

У шостому розділі розкрито шляхи вдосконалення протиральних машин та впровадження результатів дослідження.

Показано, що для продуктивного розподілу суспензії на перфорованій поверхні необхідно виконати умову (4) швидкісного протирання суспензії. Порівняно також роботу машин, які відрізняються структурою потоку в робочій зоні. Показано, що в машині повного перемішування вміст баластових часток у відходах завжди менший, ніж у машині ідеального витискування. Відношення концентрацій збільшується з ростом глибини розподілу суспензії.

На основі цих даних проведено якісний аналіз можливостей протиральних машин різних конструктивних схем, які описані в науково-технічній інформації (табл. 7).

Таблиця 7.

Порівняння конструктивних схем протиральних машин

Конструктивна схема	Чинник оцінки конструкції			Висновок про перспективи використання
	Швидкісний режим	Структура потоку	Складність конструкції	
Інерційна з нерухомим барабаном (рис. 1а)	+	+	+	Має великі потенційні можливості
Машина з барабанами, що обертаються планетарно	+	+	-	Занадто складна
Інверсійна із скребками, які розташовано зовні барабана (рис. 1в)	+	-	+	Багато втрат корисних речовин з відходами
Інверсійна із скребками, розташованими всередині барабана (рис. 1г)	-	-	+	
Машина з плоским ситом	-	-	+	Неперспективна
Валкова машина (рис. 1б)	-	-	-	Непридатна

У випадку, коли конструкція машини забезпечує швидкісний розподіл суспензії та структура потоку наближається до схеми ідеального витискування, в таблиці стоїть знак “+”,

у протилежних випадках – знак “–”. У графі “складність конструкції” знак “–” проставлено у тих випадках, коли конструкція ускладнена необхідністю додаткових пристроїв для завантаження сировини або вивантаження відходів, має складну кінематичну схему, яка, повинна забезпечувати планетарний рух барабанів, потребує багатьох перфорованих барабанів, тощо.

Річний економічний ефект від упровадження двох фракційної протиральної машини КЗ-КИЗ становить 8727 карбованців за цінами 1988 року, протиральної машини РЗ-КИН – 5800 карбованців за цінами 1990 року.

Висновки

1. Розроблено наукові основи розподілу овочefруктової суспензії на перфорованій поверхні в умовах транзитного руху суспензії й очищення поверхні билами. Запропоновано й підтверджено експериментально аналітичні моделі, які описують систему явищ, що відбуваються в довкіллі отвору перфорації, робочої зони й машини в цілому.
2. Запропоновано класифікацію процесу розподілу суспензії на перфорованій поверхні відповідно до швидкості транзитного руху суспензії та структури потоку в робочій зоні, яка дозволяє якісно оцінювати конструкцію й режими роботи обладнання для розподілу суспензії.
3. Виявлено умови, необхідні для розподілу овочefруктової суспензії на перфорованій поверхні. Транзитна швидкість суспензії має перевищувати граничну величину. Для томатної суспензії гранична швидкість становить 5,7 м/с, яблунової суспензії й абрикосового напівфабрикату – 11,3 м/с. Для розподілу яблунової суспензії й абрикосового напівфабрикату необхідно очищувати перфоровану поверхню билами, які працюють у режимі ущільнення зазору частками баластових тканин.
4. Установлено вплив структури потоку суспензії у робочій зоні машини на показники процесу й механізм розподілу. Наближення структури до схеми ідеального витискування дозволяє суттєво зменшити втрати поживних речовин із відходами і збільшити продуктивність протиральної машини. При цьому в потоці суспензії можливо виділити стадії переважного відокремлення дисперсійного середовища й тканин, що запасують поживні речовини. Доля напівфабрикату, що відділяється на стадії відокремлення дисперсійного середовища, залежить від виду суспензії і становить (40...63)%, на стадії відокремлення тканин, що запасують – (34...56)%.
5. Описано теоретично й підтверджено експериментально механізм закупорювання отворів перфорації, коли пробка утворюється на бічній поверхні отвору і періодично змивається струменем, що витікає. Механізм спостерігається на стадії відокремлення дисперсійного середовища, коли явищами закупорювання отворів можна знехотіти, при цьому коефіцієнт відкриття отвору становить (0,6...0,9).
6. Розроблено нову аналітичну модель розподілу концентрованої суспензії згідно якої витрати напівфабрикату визначаються явищами закупорювання й очищення отвору. Витратною характеристикою цієї моделі є товщина шару напівфабрикату, яка відокремлюється внаслідок проходження била над отвором. Модель протирання описує розподіл овочefруктової суспензії на стадії відокремлення тканин, що запасують поживні речовини. Товщина шару, що відокремлюється на початку цієї стадії становить (0,8...4,0) мм і зменшується по мірі відокремлення напівфабрикату.
7. Розвинуто теорію руху продукту в нерухомому перфорованому барабані інерційної протиральної машини. Запропоновано і підтверджено експериментально рівняння, яке описує тиск продукту, що обертається в нерухомому барабані. Одержано залежності для описання форми поперечного перерізу, що приймає під дією сил інерції і реакцій робочих органів рідкий, пластичний продукт а також відходи. Виведено систему диференціальних рівнянь, які описують аксіальний сталий рух продукту перед билами протиральної машини.

8. Виявлено умови, необхідні для запобігання руйнування фруктових кісточок під час розподілу суспензії у машині. Нормальна складова швидкості кісточок при зіткненні з робочими органами машини не повинна перевершувати 12,5 м/с для сливових кісточок, 22 м/с для абрикосових, 20 м/с для вишневих. Біла машини мають бути встановлені перпендикулярно до перфорованої поверхні.
9. Науково обґрунтовано, що для розподілу овочefруктової суспензії доцільно використовувати інерційну протиральну машину, яка містить нерухомий перфорований барабан і суцільні плоскі біла, що змонтовано на вал перпендикулярно до поверхні барабана. Зі сторони завантажувального патрубку на валі монтується диск або додатковий барабан, призначений для плавного введення сировини в перфорований барабан. У випадку протирання суспензії кісточкових культур на виході з барабана слід установити фрикційний гаситель швидкості відходів (а. с. № 1119650 (1984), № 1340720 (1987), патент України № 5733 (1994)).
10. Параметри процесу розподілу овочefруктової суспензії на перфорованій поверхні доцільно вибирати з урахуванням суми витрат, пов'язаних з утратами корисних речовин із відходами, витратами енергії на обертання бил, інвестиціями у придбання машини. Розроблено алгоритм для розрахунку питомих витрат. Одержано аналітичні вирази для оцінки швидкості бил і завантаження машини, при яких витрати мінімальні. Оптимальна колова швидкість удосконалених протиральних машин знаходиться у межах (14...18) м/с.
11. Результати досліджень використано у фінішері РЗ-КИЗ, протиральній машині РЗ-КИН. Для потреб малих підприємств розроблено універсальну малогабаритну машину Ш24-КПМ. Питома продуктивність перфорованої поверхні при розподілі суспензії кісточкових культур у (4...8) разів більша, ніж у аналогів. Витрати енергії на розподіл кісточкових культур зменшено в (2...3) рази, інших видів сировини – на (15...25)%. Річний економічний ефект від упровадження у виробництво машини РЗ-КИЗ становить 8727 карбованців у цінах 1988 р., машини РЗ-КИН – 5800 карбованців у цінах 1990 р.

Перелік основних умовних позначень

Параметри машини: S – площа перфорованої поверхні; R – радіус перфорованого барабана; L – довжина перфорованого барабана; $V_{\text{бар}}$ – об'єм барабана; Z – кількість бил; α – кут випередження бил; β – кут нахилу площини біла до поверхні барабана; ω_b – частота обертання бил; v – колова швидкість бил; Δ – зазор між крайкою біла і поверхнею барабана; φ – живий переріз перфорованої поверхні; Q – продуктивність машини по суспензії, що завантажується; Q^* – відносне завантаження перфорованої поверхні машини (дивись 31); B – фактичний вихід обробленого напівфабрикату; B_∞ – вихід обробленого напівфабрикату в машині з нескінченною перфорованою поверхнею; t_o – час між очищеннями перфорованої поверхні білами; C_m – вартість машини.

Властивості суспензії та продуктів розподілу: c_f – коефіцієнт гідравлічного опору поверхні барабана при переміщенні рідкої суспензії; $[\tau_\infty]$ – гранична напруга зсуву пластичного продукту; h_o , θ_o – характерні розміри поперечного перерізу пластичного продукту (дивись (23)); $f_{\text{вн}}$ – коефіцієнт внутрішнього тертя відходів; c – частина об'єму суспензії, що йде на утворення пробки; $c_{\text{кр}}$ – критична концентрація дисперсної фази при досягненні якої її частки контактують між собою і утворюють структуру; c_3 , c_o , c_n – об'ємні концентрації часток, що запасують поживні речовини, баластових випуклих та ниткоподібних часток; E – кінетична енергія руйнації шкарлупи кісточка; C_c – вартість сировини.

Рух продукту в барабані: $H_{\text{рід}}$, $H_{\text{пл}}$, $H_{\text{зр}}$ – найбільша товщина рідкого, пластичного

продукту і відходів в поперечному перерізі; θ_{pid} , θ_{nl} , θ_{ep} – кутова ширина перерізу продукту; p – тиск на перфорованій поверхні; α_p – коефіцієнт у формулі (20); v_0 – швидкість рівномірного аксіального руху продукту.

Параметри розподілу суспензії на мікрорівні: s_0 – переріз отвору перфорації; d – діаметр отвору перфорації; ε – коефіцієнт відкриття отвору; p_0 – вірогідність очищення отвору при проходженні над ним біла; q_0 – витрати дисперсійного середовища через отвір; μ_0 – коефіцієнт витрат при витіканні дисперсійного середовища; l – товщина шару напівфабрикату, що відокремлюється при проходженні біла над отвором (дивись (14)); l – товщина шару напівфабрикату, що відокремлюється при проходженні біла над отвором, якщо поверхню барабана вкриває вихідна суспензія; t_{cz} – характерний час закупорювання (дивись (7)); v_∞ – швидкість транзитного руху суспензії; $v_{реж}$ – швидкість транзитного руху суспензії, при досягненні якої відбувається зміна режиму відокремлення напівфабрикату (дивись (3)).

Інші величини: C_N – вартість енергії; P – питомі витрати ресурсів на розподіл суспензії; T – час експлуатації машини, за який має повернутися її вартість; N – витрати енергії на розподіл суспензії; g – прискорення земного тяжіння; t – час.

Перелік опублікованих за темою дисертації праць

Статті у наукових фахових виданнях

1. Гуртовой М. В. Обгрунтування конструктивної схеми машини для розподілу плодоовочевої суспензії на перфорованій поверхні // Зб. наук. пр. – Одеса: Одеська державна академія харчових технологій. – 2001. – Вип. 22. – С. 204-208.
2. Гуртовой М. В. Оптимізація параметрів процесу розподілу плодоовочевої суспензії на перфорованій поверхні // Холод. тех-ка і технологія. – 2000. № 67. – С. 86-88.
3. Гуртовой М. В. Аналіз протирання плодоовочевої сировини як суспензії // Зб. наук. пр. – Одеса: Одеська державна академія харчових технологій. – 1999. – Вип. 20. – С. 262-266.
4. Гуртовой Н. В. Моделирование разделения плодоовощного сырья в протирачной машине // Изв. вузов. Пищ. технология. – 1999. – №1. – С. 70-73.
5. Гуртовой М. В. При переробці кісточкових плодів... // Харчова і переробна пром-сть. – 1998. – №1. – с. 28.
6. Гуртовой Н. В. Моделирование процесса протирания плодоовощного сырья // Научн. тр. междунар. конф. “Прогрессивные ресурсосберегающие технологии и их экономическое обоснование в предприятиях питания. Экономические проблемы торговли.” Часть 1 – Харьков: ХГАТОП, 1998. – С. 82-85.
7. Гуртовой М. В. Процеси розділення суспензії або пульпи на перфорованих поверхнях // Зб. наук. пр. – Одеса: Одеська державна академія харчових технологій. – 1998. – Вип. 18. – С. 141-145.
8. Гуртовой М. В. Аналіз закупорювання отворів перфорації при перетиранні плодоовочевої сировини // Зб. наук. пр. – Одеса: Одеська державна академія харчових технологій. – 1998. – Вип. 18. – С. 132-137.
9. Гуртовой М. В. Перетирання плодоовочевої сировини // Харчова і переробна пром-сть. – 1997. – №8. – С. 28.
10. Гуртовой М.В. Моделирование процесу перетирання плодоовочевої сировини // Зб. наук. пр. – Одеса: Одеська державна академія харчових технологій. – 1997. – Вип. 17. – С. 189-196.
11. Гуртовой М. В. Теоретичні основи перетирання плодоовочевої сировини в машинах періодичної дії // Зб. наук. пр. – Одеса: Одеська державна академія харчових технологій. – 1996. – Вип. 16. – С. 206-211.
12. Гуртовой М.В., Гладушняк О. К., Кепин М. І. Перетиральна машина // Харчова і

- переробна пром-сть. – 1995. – №5. – С. 8.
13. Гуртовой М. В., Гладушняк О. К. Удосконалення машин для протирання кісточкових плодів // Харч. і перерв. пром-сть. – 1992. – № 8. – С. 25.
 14. Гладушняк А. К., Гуртовой Н. В. Рациональные параметры и режимы эксплуатации скоростных протилочных машин и финишеров // Пищевая и перерабатывающая пром-сть. – 1985. – №1. – С. 54-56.
 15. Гладушняк А. К., Гуртовой Н. В. Влияние финиширования на дисперсный состав продуктов // Изв. вузов. Пищ. технология. – 1984. – №2. – С. 85-88.
 16. Гладушняк А. К., Гуртовой Н. В. Обоснование режима протирания томатов в холодном состоянии // Консервная и овощесушильная пром-сть. – 1982. – № 4. – С. 9-10.
 17. Гладушняк А. К., Гуртовой Н. В. Новые конструктивные схемы и рабочие органы протилочных машин и финишеров // Консервная и овощесушильная пром-сть. – 1982. – №8. – С. 18-20.
 18. Гладушняк А. К., Гуртовой Н. В. Разработка модели процессов протирания и финиширования // Изв. вузов. Пищ. технология. – 1981. – №2. – С. 70-73.
 19. Гладушняк А. К., Гуртовой Н. В., Кузьмичев Б. Д. Перспективы использования сит с щелевой перфорацией для финиширования плодоовощного сырья // Консервная и овощесушильная пром-сть. – 1981. – №9. – с 17-19.
 20. Гладушняк А. К., Гуртовой Н. В. Пути улучшения дисперсного состава томатопродуктов в процессе протирания // Консервная и овощесушильная пром-сть. — 1980. – №5. – С. 13-15.

Авторські свідоцтва та патенти

21. Пат. 5732 Україна, МКВ А23N15/00. Пристрій для одержання соку із рослинної сировини / М. В. Гуртовой, О. К. Гладушняк, В. А. Бжезицький - №94260836; Заявл. 15.09.93; Опубл. 29.12.94. Бюл. № 8-1.
22. Пат. 5733 Україна, МКВ А23N15/00. Протиральна машина / М. В. Гуртовой, О. К. Гладушняк, О. М. Кукін - №94260837; Заявл. 15.09.93; Опубл. 29.12.94. Бюл. № 8-1.
23. Пат. 9231 Україна, МКВ А23N15/00. Протиральна машина / М. В. Гуртовой, О. К. Гладушняк, - №3954679; Заявл. 17.09.85; Опубл. 30.09.96. Бюл. № 3.
24. Протилочная машина: А. с. 906502 СССР, МКИ А23N15/00 / А. К. Гладушняк, Н. В. Гуртовой, Г. М. Евстигнеев (СССР). – № 2958343/28-13; Заявлено 16.07.80; Опубл. 23.02.82, Бюл. №7.
25. Протилочная машина: А. с. 1017276 СССР, МКИ А23N15/00 / А. К. Гладушняк, Н. В. Гуртовой (СССР). – № 3356837/28-13; Заявлено 17.11.81.; Опубл. 15.05.83, Бюл. № 18.
26. Протилочная машина: А. с. 1119650 СССР, МКИ А23N15/00 / А. К. Гладушняк, Н. В. Гуртовой, В. И. Святошнюк (СССР). – № 3513630/28-13; Заявлено 19.11.82; Опубл. 23.10.84, Бюл. №39.
27. Протилочная машина: А. с. 1321401 СССР, МКИ А23N15/00 / Н. В. Гуртовой, А. К. Гладушняк (СССР), – № 3961788/28-13; Заявлено 13.06.85; Опубл. 07.07.87, Бюл. №25.
28. Протилочная машина А. с. 1340720. СССР, МКИ А23N15/00. / А. К. Гладушняк, Н. В. Гуртовой – № 3888167/31-13; Заявлено 22.04.85; Опубл. 30.09.87, Бюл. № 36.
29. Протилочная машина: А. с. 1472055 СССР, МКИ А23N15/00 / А. К. Гладушняк, Н. В. Гуртовой, В. А. Бжезицкий (СССР). – № 4142545/28-13; Заявл. 03.11.86; Опубл. 15.04.89, Бюл. № 14.
30. Протилочная машина: А. с. 1824167 СССР, МКИ А23N15/00 / Н. В. Гуртовой, А. К. Гладушняк, В. А. Бжезицкий (СССР). – № 4917069/ 13; Заявлено 05.03.91; Опубл. 30.06.93, Бюл. № 24.
31. Способ протирания пульпы, содержащей семена или косточки: А. с. 1731149 СССР,

МКИ А23N15/00 / Н. В. Гуртовой, А. К. Гладушняк (СССР). – № 4771223 / 13; Заявлено 19.12.89; Опубл. 07.05.92, Бюл. № 17.

Статті у наукових журналах і збірниках

32. Гуртовой М. В., Загика О. П. Обгрунтування вихідних даних для розробки побутової протиральної машини // Зб. наук. пр. – Одеса: Одеська державна академія харчових технологій. – 1997. – Вип. 17. – С. 186-189.
33. Гуртовой Н. В. Стадии протирания плодоовощного сырья // Научные труды международной научно-практической конференции “Экология человека и проблемы воспитания молодых ученых” Одесса, 11-14 ноября 1997 г., Часть II. – Одесса: Астропринт, 1997. – С. 329-331.
34. Гуртовой М. В. Універсальна перетиральна машина – ефективний засіб переробки плодоовочевої сировини // Натураліс. – 1998. – №1. – С. 15.

Тези доповідей

35. Гуртовой Н. В. Вращательное движение продукта в барабане протирочной машины // Труды 9-ї міжнар. конф. “Удосконалення процесів та апаратів хім., харч. та нафтохім. вир-тв. Ч. 1 Гідромеханічні процеси. Мембранні технології” / 10-13 вересня 1996 р. – Одеса: ОГАХТ, 1996. – С. 37.
36. Гуртовой Н. В. Анализ поведения плодовых косточек в процессе протирания // Труды 56-й научн. конф. – Одесса: Одесская государственная академия пищевых технологий. – 1996. – С. 125.
37. Гуртовой Н. В. Многостадийная модель протирания плодоовощного сырья // Труды 56-й научн. конф. – Одесса: Одесская государственная академия пищевых технологий. – 1996. – С. 124.
38. Гуртовой Н. В. Протирание как система взаимосвязанных процессов // Труды 55-й научн. конф. – Одесса: Одесская государственная академия пищевых технологий. – 1995. – С. 124.
39. Гуртовой Н. В., Гладушняк А. К., Кепин Н. И. Истечение суспензии через очищаемую перфорированную поверхность // Труды 54-й научн. конф. – Одесса: Одесская государственная академия пищевых технологий. – 1994. – С. 7.
40. Гуртовой Н. В., Гладушняк А. К., Кепин Н. И. Давление вращающейся в цилиндрическом барабане жидкости // Труды 54-й научн. конф. – Одесса: Одесская государственная академия пищевых технологий. – 1994. – С. 6.
41. Гуртовой Н. В. Классификация процессов протирания // Труды 55-й научн. конф. – Одесса: Одесская государственная академия пищевых технологий. – 1995. – С. 141.

Анотація

Гуртовой М. В. Наукові основи ресурсозберігаючого розподілу овочefруктової суспензії на перфорованій поверхні. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. – Одеська державна академія харчових технологій, Одеса, 2001.

В дисертації розроблено наукові основи ресурсозберігаючого розподілу овочefруктової суспензії на перфорованій поверхні в умовах транзитного руху суспензії й очищення поверхні білами. Проведено системний аналіз явищ, які відбуваються в масштабі отворів перфорації, робочих зон і всієї машини. Установлено закономірності, які визначають витрати напівфабрикату через отвори перфорованої поверхні, вміст баластових часток у відходах, взаємодію фруктових кісточок із робочими органами машини. Науково обгрунтовано конструктивну схему машини і запропоновано методи вибору

ресурсозберігаючого режиму її експлуатації. Результати роботи знайшли промислове впровадження в удосконалених протиральних машинах, які забезпечують продуктивний і глибокий розподіл суспензії кісточкових і зерняткових культур, вторинне протирання.

Ключові слова: розподіл суспензії, перфорована поверхня, фруктова суспензія, овочева суспензія, протиральна машина.

Annotation

Gurtovoy N.V. Scientific foundations of resource-saving separation of vegetable-fruit suspension on the perforated surface.- Manuscript.

Doctoral dissertation for gaining scientific degree of Doctor of technical sciences on the specialty 05.18.12- processes and equipment of food, microbiological and pharmaceutical productions. Odessa State Academy of Food Technologies, Odessa, 2001.

Scientific foundations of resource-saving separation of vegetable-fruit suspension on the perforated surface in condition of transit movement of the suspension and cleansing the surface with the beater bars have been worked out in the dissertation. Systematic analysis of the phenomena, which take place on a scale of perforation outlets, working zones and the whole machine, has been carried out. Regularities, which determine consumption of a half-finished product through outlets of the perforated surface, content of ballast particles in tailings, interaction of fruit stones with the working members of the machine, have been established. Structural scheme of the machine has been scientifically based and methods of the resource-saving regime choice of its operation have been suggested.

The results of the work have found its industrial introduction in the improved rubbing-through machines which provide for productive and deep separation of the suspension of stone and seed cereals, secondary rubbing through.

Key words: separation of suspension, perforated surface, fruit suspension, vegetable suspension, rubbing through machine.

Аннотация

Гуртовой Н. В. Научные основы ресурсосохраняющего разделения овощефруктовой суспензии на перфорированной поверхности. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. – Одесская государственная академия пищевых технологий, Одесса. 2001.

Диссертация посвящена вопросам разделения овощефруктовой суспензии на перфорированной поверхности (ПП) и усовершенствованию протирочных машин (ПМ). Разделение суспензии рассматривается как система процессов, происходящих в окрестности отверстия, в масштабе рабочей зоны и машины в целом, при этом учитывается транзитное движение суспензии и очищение ПП бичами.

В разделе 1 приведен критический обзор литературы, задачи и обосновано направление исследований, в разделе 2 – результаты теоретического анализа явлений разделения суспензии в масштабе отверстия ПП (закупорка отверстий, отделение обработанного полуфабриката (ОП)) и взаимодействия частиц с рабочими органами машины. В разделе 3 рассмотрены явления, которые происходят в рабочей зоне машины: форма свободной поверхности продукта, вращательное и осевое движение продукта в барабане инерциальной машины. В разделе 4 рассмотрено разделение суспензии в машинах полного перемешивания и идеального вытеснения. В разделе 5 описаны экспериментальные установки, методика экспериментов и результаты комплексного исследования процессов разделения плодоовощных суспензий, которые подтверждают выдвинутые теоретические положения и дают исходные данные для решения прикладных задач. В разделе 6 обоснована конструктивная схема ПМ, описаны пути усовершен-

ствования ПМ, предложен метод оптимизации процесса, описаны усовершенствованные ПМ и использование результатов в промышленности.

На защиту выносятся совокупность подтвержденных экспериментально аналитических моделей, которые раскрывают движение сырья в рабочей зоне ПМ, механизм отделения ОП и описывают расходные характеристики ПП на стадиях отделения дисперсионной среды и запаасающих тканей. Сформулированы условия, при которых происходит разделение суспензии, условия сохранения целостности фруктовых косточек. Научно обоснована рациональная конструктивная схема ПМ и оптимальные режимы ее эксплуатации.

Результаты исследований использованы в усовершенствованных машинах, которые обладают в (4...8) раз большей удельной производительностью и позволяют в (2...3) раза уменьшить затраты энергии на разделение суспензии косточковых культур.

Ключевые слова: разделение суспензии, перфорированная поверхность, фруктовая суспензия, овощная суспензия, протирачная машина.