

УДК 637.2
№ держреєстрації 0121U110201
Інв. №

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

72312, Запорізька обл., м. Мелітополь, пр-т. Б. Хмельницького, 18
тел. (0619) 42-13-06

"ЗАТВЕРДЖУЮ"

Проректор з наукової роботи ТДАТУ
д.с-г.н., проф.

_____ Оксана ЄРЕМЕНКО

»_____» _____ 2021 р.

ЗВІТ
про науково-дослідну роботу
(проміжний)

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ І
ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ І ПЕРЕРОБКИ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ

Директор НДІ АТЕ
д.т.н., проф.

_____ Олеся ПРИСС

Науковий керівник
д.т.н., проф.

_____ Кирило САМОЙЧУК

2021

Результати роботи розглянуто НТР
протокол № __ від " __ " _____ 2021 р.

Список виконавців

- 1 Керівник підпрограми 6,
д.т.н., професор, завідувач кафедри
ОПХВ ім. проф. Ф.Ю. Ялпачика
Самойчук К.О.
(розділ 1,4,7, 8,9, 10)
- 2 д.т.н., професор.
Ялпачик В.Ф.
(розділ 1)
- 3 к.т.н.,доц.
Петриченко С.В.
(розділ 1)
- 4 д.т.н., професор.
Журавель Д.П.
(розділ 2)
- 5 ст.викладач
Чебанов А.Б.
(розділ 2)
- 6 інженер
Петренко К.Г.
(розділ 2)
- 7 інженер
Верещага О.Л.
(розділ 2)
- 8 інженер
Гавдида Г.І.
(розділ 3)
- 9 к.т.н., доц
Олексієнко В.О.
(розділ 3,6)
- 10 аспірант
Самохвал В.А.
(розділ 4)
- 11 д.т.н., професор.
Кюрчев С.В.
(розділ 5)
- 12 к.т.н., доц.
Верхоланцева В.О.
(розділ 5)
- 13 к.т.н.,доц.
Ломейко О.П.
(розділ 6)
- 14 асистент
Червоткіна О.О.
(розділ 7)

15 асистент

В'юник О.В.

(розділ 8)

16 к.т.н.,

Ковальов О.О.

(розділ 9)

17 аспірант

Лебідь М.Р.

(розділ 10)

18 к.т.н.,

Паляничка Н.О.

(розділ 10)

РЕФЕРАТ

Звіт з НДР: 93 стор, 46 рисунок, 97 посилань.

Об'єкти дослідження – технологічні процеси для переробки і зберігання сільськогосподарської продукції та процесів і обладнання харчових виробництв.

Мета роботи – підвищення ефективності технологічних процесів переробки і зберігання сільськогосподарської продукції та процесів і обладнання харчових виробництв.

Методи дослідження – теоретично-експериментальні методи, лабораторні випробування, перевірка гіпотез і обробка експериментальних даних виконані за стандартними програмами. Експериментальні дослідження проводилися в лабораторіях ТДАТУ відповідно до прийнятих методик та галузевих стандартів.

У даному звіті пропонуються:

- вдосконалення процесів і обладнання переробки продуктів бджільництва;
- підвищення ефективності гомогенізації молока в клапанних гомогенізаторах;
- обґрунтування геометричних характеристик вороху рицини;
- зберігання ягід із застосуванням заморожування;
- обґрунтування параметрів і режимів вакуумного охолодження плодів черешні та їх короткотривалого зберігання;
- оптимізація параметрів струминного змішування напоїв;
- підвищення ефективності процесу гранулювання вторинної сировини сокового виробництва;
- підвищення ефективності роботи установки для виготовлення паливних брикетів;
- обґрунтування технологічних параметрів прискореного пророщування зерна у циліндричному барабані з іонізацією повітря.

БДЖОЛИНИЙ ВІСК, ЕЛЕКТРООЧИЩЕННЯ, ГОМОГЕНІЗАЦІЯ МОЛОКА, ПРОТИТЕЧІЙНО-СТРУМИННИЙ ЗМІШУВАЧ, ПЛІВКОВИЙ ОХОЛОДЖУВАЧ НАПОЇВ, ВАКУУМНЕ ОХОЛОДЖЕННЯ, ГРАНУЛЯЦІЯ, ВІДХОДИ СОКОВОГО ВИРОБНИЦТВА, ЗАМОРОЖУВАННЯ, ЯГОДИ, ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ, КЛЕЙКОВИНА, ДОЗА ІОНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯ, ТОВЩИНА ШАРУ ЗЕРНА, ВОЛОГІСТЬ СОЛОДУ, КРАТНІСТЬ ПОВІТРООБМІНУ

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1. Вдосконалення процесів і обладання переробки продуктів бджільництва.....	7
2. Обґрунтування геометричних характеристик вороху рицини.....	17
3. Моделювання виробничого процесу дозрівання зерна у циліндричному барабані.....	29
4. Підвищення ефективності роботи установки для виготовлення паливних брикетів.....	38
5. Зберігання ягід із застосуванням заморожування.....	43
6. Обґрунтування параметрів і режимів вакуумного охолодження плодів черешні та їх короткотривалого зберігання.....	52
7. Підвищення ефективності процесу гранулювання вторинної сировини сокового виробництва.....	61
8. Оптимізація параметрів струминного змішування напоїв.....	68
9. Аналітичні дослідження руйнування жирової кульки молока.....	77
10. Підвищення ефективності гомогенізації молока в клапанних гомогенізаторах.....	87

ВСТУП

Бджолиний віск являє собою складну композицію з більш, ніж трьохсот речовин, 111 з них було ідентифіковано. Склад воску від *Apis mellifera* унікальний і відрізняється від воску, що виділяється іншими видами бджіл (*Apis florea* і *Apis cerana florea*). Складні ефіри (головним чином ефіри церіловий, меліссінового спиртів і відповідних кислот) складають від 70 до 75%, воску.

Рицина є високоолійною технічною культурою, основним продуктом переробки якої є касторова олія, що використовується у хімічній електротехнічній, медичній авіаційній, інших галузях виробництва та при виготовленні біопалива. У деяких галузях виробництва касторова олія нерідко є незамінним або важко замінним продуктом.

Дослідження струминного змішування рідин є складним процесом, зокрема проблематичним є аналітичне визначення впливу відстані між соплами форсунок на витрату рідини, а значить на продуктивність змішувача. Також визначення впливу відстані між соплами форсунок є важливим для знаходження швидкості струменів у момент зіткнення, адже саме швидкість струменів визначає якість змішування.

Гомогенізація молока являє собою один з процесів, що використовується при виробництві більшості продуктів молокопереробної галузі. Але дана операція відрізняється декількома специфічними ознаками, серед яких високі енерговитрати процесу, що складають в середньому 8 кВт/т для конструкції клапанного гомогенізатору який є найбільш поширеним та забезпечує найкращий ступінь гомогенізації.

Важливою складовою сучасного індустріального підходу до виробництва овочів є процес зберігання. Адже виробник має поставляти в торгові мережі якісну продукцію протягом практично всього року. Для забезпечення зберігання сільськогосподарської продукції, та овочів з мінімальними кількісними і якісними характеристиками використовується сучасне обладнання. Для зберігання кожного виду продукції потрібно використовувати комплекти обладнання в залежності від ступеню значимості.

Проблема забезпечення потреби країни прискореним пророщенням зерна є досить гострим і актуальним питанням. Технології прискореного пророщування солоду завжди були і залишаються предметом особливої державної турботи. Виробництво солоду – це складний технологічний процес, що включає в себе: вибір ячменю, замочування і солодоращення ячменю.

Тема паливних брикетів з біомаси є надзвичайно актуальною і для України. В країні почалося суттєве підвищення цін на природний газ для домогосподарств, в результаті чого населення стало активно переходити на біомасу.. Обладнання для виготовлення паливних брикетів обумовлено високим механічним коефіцієнтом корисної дії, але має свої суттєві недоліки: велике питоме споживання енергії, значна вартість, інтенсивне спрацювання деталей.

ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ І ОБЛАДАННЯ ПЕРЕРОБКИ ПРОДУКТІВ БДЖІЛЬНИЦТВА

РЕФЕРАТ

Об'єкт дослідження: технологічний процес промислового очищення воскової сировини

Предметом дослідження: Фізико-хімічні закономірності процесу відділення домішок з воскової сировини.

Метою дослідження: підвищення ефективності очищення воскової сировини.

Методи дослідження: експериментальні методи центрифугування, седиментаційні методи розділення емульсій, електричні методи розділення електростатично заряджених часток.

Основні результати дослідження:

- проаналізовані існуючі методи промислового очищення воскової сировини;
- визначені закономірності, що підвищують якість технологічного процесу;
- проведені експериментальні дослідження з метою визначення оптимального способу очищення від механічних домішок;
- розроблена схема технологічного процесу;
- розроблена конструкція кристалізатора для очищення воскової сировини;
- розроблені рекомендації щодо параметрів та режимів роботи кристалізатора для очищення воскової сировини.

БДЖОЛИНИЙ ВІСК, ОЧИЩЕННЯ, ОСВІТЛЕННЯ, ЕЛЕКТРООЧИЩЕННЯ, КРИСТАЛІЗАЦІЯ.

ВСТУП

Бджолиний віск являє собою складну композицію з більш, ніж трьохсот речовин, 111 з них було ідентифіковано. Склад воску від *Apis mellifera* унікальний і відрізняється від воску, що виділяється іншими видами бджіл (*Apis florea* і *Apis cerana florea*). Складні ефіри (головним чином ефіри церіловий, меліссінового спиртів і відповідних кислот) складають від 70 до 75%, воску. Вільні жирні кислоти (лігноцеринова, церотинова, меліссінова і ін.) - від 12 до 15%.

Інші компоненти воску (близько 11%) представлені окси- і кетакислотами, вуглеводами парафінового ряду, одно- і двохатомними спиртами, мінеральними речовинами, смолами, рослинними пігментами, ароматичними речовинами, вітамінами, холестерином, тритерпенами і іншими речовинами. У ньому виділені і ідентифіковані 11 білків, тритерпени (сквален і ланостерин), стероли (холестерол і його ефіри) і субстанції, що позитивно впливають на ріст рослин, такі, як міріциловий спирт, гіббереллін і стероїд рапсового масла. Бджолиний віск містить невелику кількість води (від 0,1 до 2,5%) і каротиноїдів (12,8 мг в 100 г воску. До теперішнього часу не вдалося отримати бджолиний віск на основі хімічного синтезу. Саме тому проблема очищення воскової сировини в промислових масштабах є актуальною.

Центрифугування розплавленого воску проводили на центрифугі з параметрами:

- частота обертання ротора 1300 об/хв; - діаметр ротора – 0,5 м.

Програма досліджень

Основною проблемою проведення при центрифугуванні є швидке охолодження воску оточуючим повітрям всередині центрифуги до температури кристалізації. Внаслідок більшої колової швидкості нижньої частини пробірки (периферія ротора) кристалізація відбувалась в першу чергу в цій частині. При початку кристалізації воску дослід повинен бути припинений.

Програмою досліджень передбачено:

- визначити закономірності, що підвищують якість технологічного процесу;
- провести експериментальні дослідження з метою визначення оптимального способу очищення від механічних домішок;
- розробити схему технологічного процесу;

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Температура повітря всередині центрифуги підтримувалась в діапазоні 50-60 °С. В якості пробірок для центрифуги використані полімерні преформи, які характеризуються низької теплопередачею через стінки (це необхідно для зменшення часу охолодження воску). Після центрифугування преформи з воском охолоджували холодною водою та звільняли твердий віск від преформи.



Рис. 1. Зразки продукції після центрифугування (відповідно зверху вниз): 6 хв, 3 хв і без центрифугування.

Навіть після центрифугування протягом 3 хвилин в нижній частині пробірки збирається видимий темний осад, кількість якого незначно збільшується при підвищенні часу центрифугування з 3 до 6 хв. Після 6 хвилин починалась кристалізація. Колір воску після центрифугування ставав більш світлим – тобто відбувалось часткове освітлення воску. Але ступінь освітлення – несуттєва.

При підвищенні температури вище 70 градусів вдалося збільшити час центрифугування до 10 хв (рис. 2).

Якість очищення повільно зростає, про що свідчить колір воску і товщина шару темного осаду внизу пробірки.

При подальшому збільшенні часу центрифугування (при відповідному підвищенні температури повітря всередині центрифуги) колір та товщина шару осаду не змінювались.



Рис. 2. Центрифугування: 10 хв (зліва), 6 хв (справа).

На наступному етапі дослідження впливу центрифугування до розплавленого воску в пробірку додавалась гаряча вода, температурою 90-95 °С (рис. 3).



Рис. 3. Центрифугування воску з додаванням води.

На рисунку чітко видно тонкий шар забруднень, які виділені відцентровими силами. Їх щільність більше за віск, але менша ніж у води (1000 кг/м³). Для перетопки воску використовували дистильовану воду у співвідношенні 2:1 до воску. Тривалість перетопки становила 2 години. Після

цього віск з водою остигали на повітрі природним шляхом (скляна ємність для перетопки не мала теплоізоляції).

Освітлення хімічним способом проводили перекисом водню (3%), який додавали з розрахунку 20 мл на 100 мл рідкого воску.

Результати показані на рисунку 4.



Рис. 4. Порівняння (відповідно справа наліво) вихідного воску, перетопленого у воді та освітленого перекисом водню.

На рисунку показано, що після перетопки колір воску стає більш світлим, але суттєве освітлення відбувається лише після хімічного очищення. Після перетопки вода забруднюється темно-сірими частками, які переходять з воску у воду. Після очищення перекисом водню в нижній частині зразка воску після застигання наявні вкраплення твердих часток сірого кольору, тобто відбувалось помірне осадження домішок. Після хімічного очищення стає менш виразним специфічний запах воску.

Суттєве освітлення воску після хімічного очищення свідчить про те, що потемніння вихідного воску викликане передусім окислювальними процесами «старіння» воску. Крім освітлення перекисом водню провели експериментальне дослідження освітлення лимонною кислотою. Колір змінюється суттєво, але запах воску та специфічна структура на зломі показує, що поряд з процесами освітлення відбуваються небажані зміни у фізико-хімічній структурі воску.

Повільна спрямована кристалізація воску. Для цього способу використовували скляну ємність об'ємом 1...2 літри. На 1 частину воску додавали 2-3 частини дистильованої води. Температуру води і воску доводили до 100 °С, після чого ємність поміщали у теплоізоляцію (пінопласт, товщиною 5 см). Час застигання воску в теплоізоляції – 1 – 1,5 діб. Результати показані на рис. 5.



Рис. 5. Порівняння зразків воску після перетопки у воді (зліва) та після кристалізації (справа).

Різниця у кольорі між цими зразками суттєва. Після повільної кристалізації у нижній частині воску сконцентрована значна частина домішок темно-сірого кольору, які були витіснені з воску в процесі повільного охолодження (рисунок 6).



Рис. 6. Нижня частина твердого зразку воску після повільної кристалізації.

Кількість відділених забруднень більша, ніж при центрифугуванні. Вода після повільної кристалізації стає брудною, причому в більшій мірі, ніж після перетопки у воді. Змінюється і колір виділених часток: при центрифугуванні від майже чорний, а після кристалізації – сірий. Це свідчить про те, що після центрифугування відділюються лише крупні частки. Про більш якісне очищення від домішок при поступовій кристалізації, ніж після центрифугування свідчить більш світлий колір воску.

Причому температура в приміщенні, де відбувалась повільна кристалізація була 13-14 °С, а об'єм води – 0,5-1,2 літри. При більшому об'ємі води (10 і більше літрів) та більш високій температурі повітря кристалізація триває до 3 діб. Зменшення швидкості кристалізації воску здатне підвищити повноту відділення домішок з отриманням воску кращої якості.

Очищення у змінному електромагнітному полі

При проведенні експериментальних досліджень за цим методом використовували металеві електроди з відстанню між ними 20 мм. Висока

напруга на електроди подавалася через трансформатор, що підвищує, ТВС-1020 та ЛАТР для регулювання вихідної напруги від 0 до 8 кВ. Напруга вимірювалася за допомогою електростатичного кіловольтметра С-196. Для вимірювання сили струму використовувався міліамперметр М-4200 [2]. Температура воску підтримувалась в діапазоні 75-85 °С. Час обробки – 5-10 хв.

Принципова електрична схема установки наведена на рисунку 7.

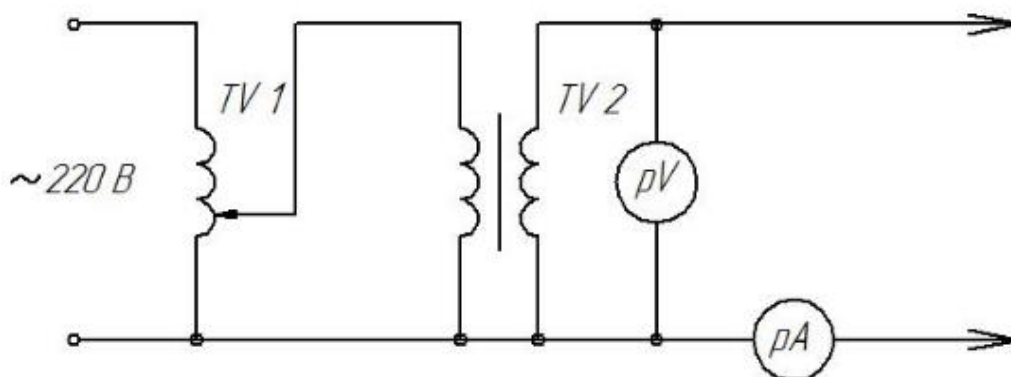


Рис. 7. Принципова електрична схема установки

Результати обробки показані на рисунок 8.

До обробки візуально не спостерігалась наявність у воску часток бруду. В процесі обробки біля електродів концентрувалась велика кількість скупчень часток забруднень, які при агломерації ставали видимими. Після обробки віск фільтрували через фільтр з розмірами пор 3-10 мкм. При цьому на фільтрі спостерігалась велика кількість темних частинок.

При застиганні фільтрованого воску його колір ставав незначно світлішим.

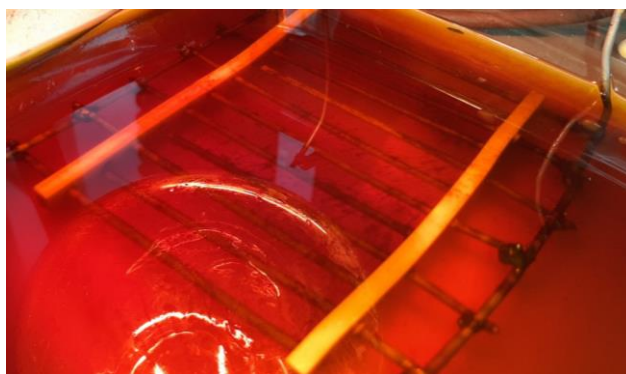


Рис. 8. Виділення часток забруднень під впливом електромагнітного поля.

Слід зауважити, що:

- лише 50-60% площі кювети з воском біли покриті електродами;
- максимальний час обробки був обмежений 10 хв, після чого не відбувалось видимої концентрації нових часток забруднень, але мікрочастки, не видимі оком могли концентруватись і більш тривалий період;
- агломерати забруднень після зняття електричного поля знову розосередилися;

- фільтрація воску після електрообробки забезпечує лише часткове відділення домішок.

Таким чином потенціал електроочищення воску в проведеному експериментальному дослідженні використаний не повністю.

Порівняння воску після кристалізації та електричного очищення.

Порівняння повноти відділення домішок з воску після поступової кристалізації та електрообробки показано на рисунок 9.



Рис. 9. Зразок після очищення кристалізацією (зліва) та після електроочищення (справа).

Колір воску після кристалізації більш світлий, що свідчить про більш якісне очищення методом поступової кристалізації.

Крім того віск після кристалізації розплавляли та використали для електроочищення. В попередньо очищеному кристалізацією воску не відбулося виділення часток забруднень. Таким чином повнота виділення забруднень у метода поступової кристалізації – максимальна.

Порівняння методу поступової кристалізації воску з методом відстоювання

В результаті проведених досліджень найбільш ефективним (по факторам повноти відділення домішок і економічної ефективності) визнано методи поступової кристалізації.

Для порівняння повноти відділення домішок після відстоювання воску протягом 14 діб, зразок очищеного цим методом воску був очищений методом поступової кристалізації (1,5 доби) (рисунок 10).



Рис. 10. Віск, очищений поступовою кристалізацією після проведення відстоювання.

В результаті очищення колір воску став більш світлим і виділена значна кількість домішок.

Розробка схеми технологічного процесу очищення воскової сировини

В результаті проведеного аналізу існуючих методів очищення воску та проведених експериментальних досліджень зразків воску, пропонується така схема очищення воску.

1. Сортування воскової сировини (за ступенем забруднення та видом воску)
2. Подрібнення (при необхідності, для зменшення витрат енергії на плавлення)
3. Плавлення (для проведення операцій попереднього очищення)
4. Грубе фільтрування на прес-фільтрах (існуючими на виробництві методами)
5. Перекачування розплавленого воску в кристалізатори
6. Очищення методом повільної спрямованої кристалізації
7. Вилучення воску з кристалізатору та видалення забруднень (механічним шляхом)
8. Упаковка

При використанні досить якісної сировини операції 3–5 можуть бути вилучені з технологічного процесу.

Для остаточного очищення воскової сировини методом повільної спрямованої кристалізації пропонується використовувати кристалізатор, схема якого представлена на рисунку 11.

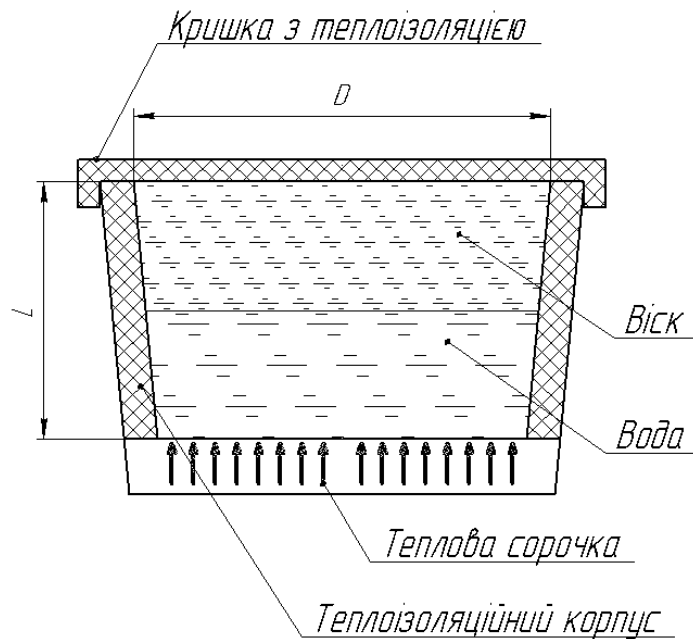


Рис. 11. Конструкція кристалізатора

Кристалізатор являє собою ємність з кришкою виготовлену з корозійностійкого матеріалу, з тепловою сорочкою для парового розігріву. Також можуть бути застосовані електронагрівальні елементи, вбудовані в дно кристалізатора, так як нижня частина кристалізатора буде заповнена водою і безпосереднього контакту електронагрівальних елементів з воском не буде (це може призвести до перегріву воску). Стінки та кришка повинні бути заповнені теплоізоляційним матеріалом з коефіцієнтом теплопровідності не більше $0,05 \dots 0,07 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. Товщина шару теплоізоляції повинна бути не менше 10 см, щоб забезпечити поступове зниження температури вмісту не швидше за $1 \text{ К}/\text{год}$.

Для полегшення вивантаження очищеного твердого воску кристалізатор повинен мати конусні стінки. Для збільшення зони контакту між воском і водою бажано, щоб діаметр ємності був більше її висоти. Ємність кристалізатора повинна бути не менше 25-30 літрів, щоб забезпечити вміст не менше 15 літрів очищеної води, при співвідношенні кількості води до воску $2,5-3,5/1$.

Для ефективної роботи кристалізатора рекомендується використовувати наступні режими роботи. Ємність кристалізатора заповнити очищеною водою приблизно на $2/3$ об'єму. Використовуючи підігрів довести воду до кипіння. Додати розплавлений та попередньо профільтрований віск (або куски воску) до заповнення ємності. Використовуючи підігрів довести температуру вмісту кристалізатора до $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Закрити герметично кришкою (накрити тканинним теплоізоляційним матеріалом для зменшення витрати тепла. Витримати до повного застигання воску. Тривалість застигання повинна бути не менше 1,5 доби (реальна тривалість застигання залежить від конструктивних особливостей кристалізатора та умов оточуючого середовища. При збільшенні тривалості кристалізації покращується повнота

відділення домішок. У випадку недостатнього очищення воску, пов'язаного з занадто швидким охолодженням, необхідно передбачити додаткове керування температури електронагрівальних елементів (або води, що подається у сорочку нагріву кристалізатора) таким чином, щоб електронна система поступово знижувала температуру (плавно з 70 до 40 °С протягом 1,5-2 доби). Тривалість та інтенсивність підігріву в процесі кристалізації потрібно визначити додатковими дослідженнями в умовах виробництва.

Після повного застигання воску необхідно вивантажити вміст кристалізатору. Забруднену воду утилізувати, а з воскового злитку видалити залишки забруднень механічним шляхом.

ВИСНОВКИ

1. В результаті аналізу існуючих технологій очищення воскової сировини встановлено, що якість очищення та продуктивність існуючих методів (тривалого відстоювання) недостатні та вимагають пошуку більш ефективних апаратурних схем реалізації очищення та часткового освітлення воску.

2. В результаті аналізу закономірностей, що здатні підвищити якість технологічного процесу очищення воску, визначені найбільш ефективні методи очищення від механічних домішок: поступової кристалізації, відцентрового очищення та електрообробки.

3. Експериментальні дослідження визначення якості відцентрового очищення, поступової кристалізації та електрообробки показали, що найбільш повне відділення домішок забезпечує метод поступової кристалізації. При його реалізації цей метод не вимагає використання коштовного обладнання, тому може бути рекомендований для його впровадження замість існуючого методу відстоювання воску.

4. Розроблена схема технологічного процесу очищення воску, конструкція кристалізатора та режимні параметри для підвищення ефективності очищення воску.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Самойчук К. О., Ялпачик В. Ф., Петриченко С. В. Аналіз способів промислового очищення воскової сировини // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету : наукове фахове видання / ТДАТУ: гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев.- Мелітополь: ТДАТУ, 2021. – Вип. 21, т. 1.- с. 44-51.

2. Берека О. М., Усенко С. М., Петриченко С. В. Часткові розряди в зерновій масі під дією сильного електричного поля //Праці Таврійського державного агротехнічного університету. Мелітополь: ТДАТУ. – 2011. – Т. 6.

ОБГРУНТУВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОРОХУ РИЦИНИ

РЕФЕРАТ

Об'єкт досліджень є коробочки та третинки рицини сортів Донська, Афродіта, Олеся, Хортичанка, ВНИИМК-165, Гібрид ранній, Хортицька 1, Хортицька 3 та Хортицька 7.

Предмет дослідження є закономірності геометричних характеристик коробочок і третинок рицини для окремих сортів матеріалу, що досліджується.

Метою дослідження є встановлення лінійних розмірів коробочок і третинок окремих сортів рицини від їх відсоткової кількості.

Методи досліджень. Експериментальні дослідження проводились у лабораторних умовах відповідно до прийнятої методики та галузевих стандартів з використанням статистичної обробки результатів досліджень та з використанням табличного процесора Microsoft Excel.

Основні результати досліджень:

1. Встановлені геометричні розміри вороху рицини в залежності від її сорту: довжиною та шириною коробочок вороху; довжина, ширина та товщина третинок вороху.

2. Для кожного варіаційного ряду розподілу компонентів вороху рицини з урахуванням відповідної групи сортів рицини встановлений закон нормального розподілу відповідного варіаційного ряду.

ВОРОХ РИЦИНИ, КАСТОРОВА ОЛІЯ, ДИСПЕРСІЯ

ВСТУП

Рицина є високоолійною технічною культурою, основним продуктом переробки якої є касторова олія, що використовується у хімічній електротехнічній, медичній авіаційній, інших галузях виробництва та при виготовленні біопалива. У деяких галузях виробництва касторова олія нерідко є незамінним або важко замінним продуктом.

Найбільш важливим і складним етапом у системі заходів з переробки насіння рицини є операції післязбиральної обробки (очищення, сушіння і сортування) суміші, що збирає комбайн. Проведена післязбиральна обробка суміші визначає вихід і якість продукції, що йде на подальшу переробку [1-3].

Підвищити ж ефективність процесу післязбиральної обробки рицини в кожній технологічній операції можна шляхом застосування в такій технології спеціальних машин з обов'язковим врахуванням фізико-механічних властивостей компонентів рицини. Одними із важливих є геометричні розміри компонентів вороху насіння рицини: коробочок і третинок. Такі характеристики потрібні при визначенні конструктивних параметрів і технологічних режимів машин для розділення вороху насіння рицини від домішок та в луцильних машинах, що відділяють насіння рицини від їх

вороху. Відповідно, встановлення геометричних розмірів коробочок і третинок вороху насіння рицини і є актуальною задачею даної роботи.

Методи і програма досліджень

Експериментальні дослідження проводились у лабораторних умовах відповідно до прийнятої методики та галузевих стандартів з використанням статистичної обробки результатів досліджень та з використанням табличного процесора Microsoft Excel.

Програмою досліджень передбачено встановлення лінійних розмірів коробочок і третинок окремих сортів рицини у розрізі їх відсоткової кількості.

Параметрами геометричних характеристик компонентів вороху насіння рицини, що необхідно визначити, були наступні: довжина та товщина коробочок рицини (рис. 1) та довжина, ширина та товщина третинок рицини (рис. 2).

При визначенні геометричних характеристик використовували сорти рицини: Донська, Афродіта, Олеся, Хортичанка, ВНИИМК-165, Гібрид ранній, Хортицька 1, Хортицька 3, Хортицька 7.

При вимірюваннях застосовувався штангель циркуль електронний МІОЛ 15-241 із довжиною шкали 150 мм та точністю вимірювань 0,01 мм (рис. 3).

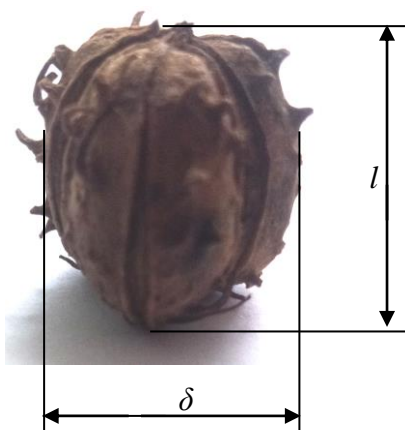


Рис. 1 – Загальний вигляд коробочки рицини:

l = довжина коробочки, δ – товщина коробочки

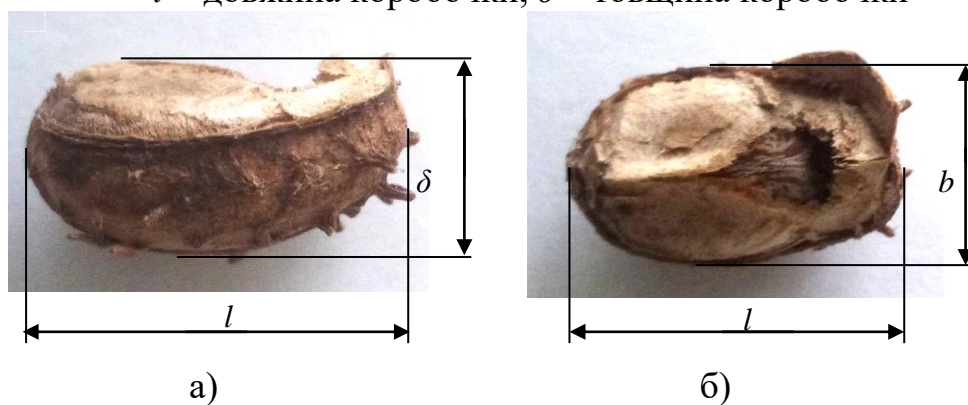


Рис. 2 – Загальний вигляд третинки рицини: а) – лежачи;

б) – боком; l – довжина третинки; b – ширина третинки; δ – товщина третинки.

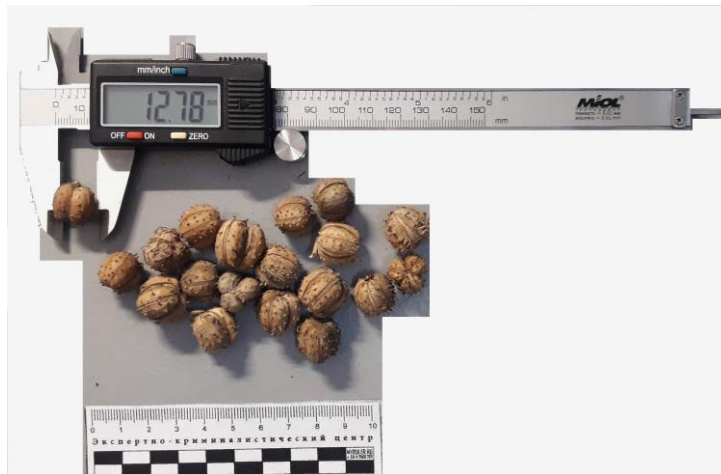


Рис. 3 – Штангель циркуль електронний MIOL 15-241 із рициною

Методика досліджень була наступною.

1. Із загальної кількості рицини одного сорту, навмання бралася коробочка рицини. За допомогою штангель циркуля вимірювалися її довжина та товщина. Значення фіксувалися. Потім, брали іншу коробочку і повторювали такі ж самі вимірювання. Загальні кількість складала 100 вимірювань. Вимірювання проводили для кожного сорту рицини.

2. Навмання брали коробочку рицини, розділяли її на третинки. У кожній третинці вимірювали за допомогою штангель циркуля її довжину, ширину та товщину. Загальна кількість вимірювань складала 100 для кожного сорту рицини.

3. Для побудови інтервального ряду визначали величину інтервалу, встановлювали повну шкалу інтервалів, у відповідності до неї групували результати спостережень. Для визначення оптимальної величини інтервалу h , при якій ряд не був би занадто громіздким і, в той же час, дозволив би виявити характерні риси випадкової величини x , використовують формулу Стер-Джеса [4]:

$$h = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{1 + 3,322 \lg n}, \quad (1)$$

де x_{\max}, x_{\min} – максимальний і мінімальний варіанти відповідно;

n – кількість дослідів.

За початок першого інтервалу рекомендується приймати величину, що дорівнює [4]:

$$a_1 = x_{\min} - \frac{h}{2}, \quad (2)$$

тоді [4]:

$$a_i = a_{i-1} + h, \quad (3)$$

де $i = 2, 3, 4 \dots$

Побудову інтервалів продовжується до тих пір, поки початок наступного по порядку інтервалу не буде рівним або більшим x_{\max} .

Характеристики розподілу випадкової величини x оцінюють за допомогою характеристик вибірки (характеристик варіаційних рядів), які при збільшенні n сходяться за ймовірністю до відповідних характеристик x , і при досить великому n можуть бути наближено рівними їм [5].

До основних характеристик варіаційних рядів відносять: вибірккову середню арифметичну – \bar{x} , виправлену дисперсію – S^{*2} , середнє квадратичне відхилення – S^* , коефіцієнт варіації – V , розмах варіації – R , асиметрію – A_s , ексцес – E_x .

Вибіркова середня арифметична \bar{x} , визначається за формулою [6]:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}. \quad (3)$$

Дисперсія S^{*2} , визначається за формулою [4-6]:

$$S^{*2} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}. \quad (4)$$

Середнє квадратичне відхилення S^* (емпіричний стандарт) визначається за формулою [4-6]:

$$S^* = \sqrt{S^{*2}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}. \quad (5)$$

Коефіцієнт варіації за середнім квадратичним відхиленням V , визначається за формулою [4-6]:

$$V = \frac{S^*}{\bar{x}} \cdot 100\%. \quad (6)$$

Розмах варіації R , розраховується за формулою [4-6]:

$$R = \max x_i - \min x_i. \quad (7)$$

Асиметрія A_s , визначається за формулою [4-6]:

$$A_s = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n \cdot S^{*3}}. \quad (8)$$

Ексцес E_x , визначається за формулою [4-6]:

$$E_x = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{n \cdot S^{*4}} - 3. \quad (9)$$

Середні величини є узагальнюючими кількісними характеристиками сукупності однотипних явищ за вар'юючою ознакою. Середнє арифметичне характеризує середнє значення, близько до якого групуються можливі значення випадкової величини. Дисперсія є міра розкиданості цих значень відносно середнього. Середнє квадратичне відхилення є мірою коливаності, але на відміну від дисперсії являє собою абсолютну величину, що виражена в тих же одиницях, що і варіанти. Коефіцієнт варіації є відносним показником коливання. Варіаційний розмах (або широта розподілу) нестійка, надзвичайно залежна від випадковостей величина, що служить для приблизної оцінки варіації. Асиметрія і ексцес є показниками відхилення функції розподілення $f(x)$ для x від нормального закону розподілення. Якщо $A_s = 0$, то крива для $f(x)$ симетрична, при $A_s \neq 0$ - асиметрична. При $A_s > 0$ права частина розподілення довше лівої, $A_s < 0$ – навпаки. Ексцес характеризує крутизну кривої розподілення. Якщо $E_x \neq 0$, то вершина кривої для $f(x)$ знаходиться або вище (при $E_x > 0$), або нижче (при $E_x < 0$) вершини кривої нормального розподілення [7].

Лінійні розміри олійних культур завжди підпорядковуються закону нормального розподілення [8], який визначається з урахуванням характеристик варіаційних рядів та виходячи із типової залежності [7]:

$$\Phi = \frac{1}{S^* \sqrt{2\pi}} \cdot e^{\left(-\frac{x-\bar{x}}{2 \cdot S^{*2}}\right)}. \quad (10)$$

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

При проведенні вимірювань геометричних характеристик коробочок і третинок рицини виявлено, що розміри окремих сортів мають практично однакові значення. Відповідно до сказаного, в процесі досліджень, сорти рицини, що досліджувалися було розбито на три групи: дрібні – до яких відносилися сорти Олеся, Хортичанка, Хортицька 7; середні – відносилися сорти ВНИИМК-165, Гібрид ранній, Хортицька 1; великі – відносилися сорти Донська, Афродіта, Хортицька 3.

В результаті проведених досліджень встановлені варіаційні ряди розподілу коробочек рицини за довжиною (рис. 4), за товщиною (рис. 5),

варіаційні ряди розподілу третинок за довжиною (рис. 6), шириною (рис. 7) та за товщиною (рис. 8).

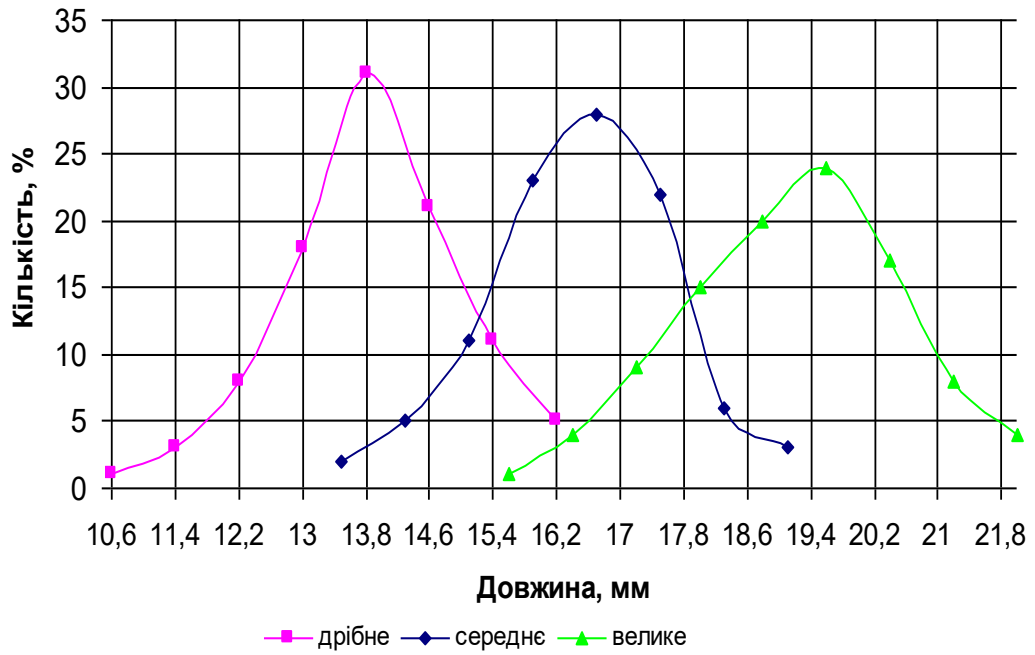


Рис. 4 – Варіаційні ряди розподілу коробочок рицини за довжиною

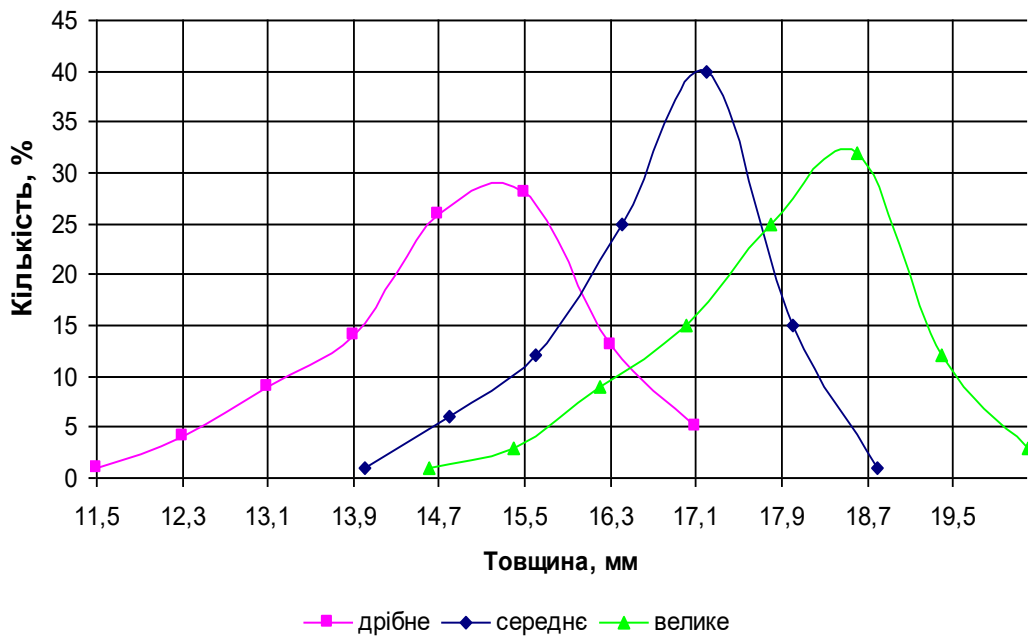


Рис. 5 – Варіаційні ряди розподілу коробочок рицини за товщиною

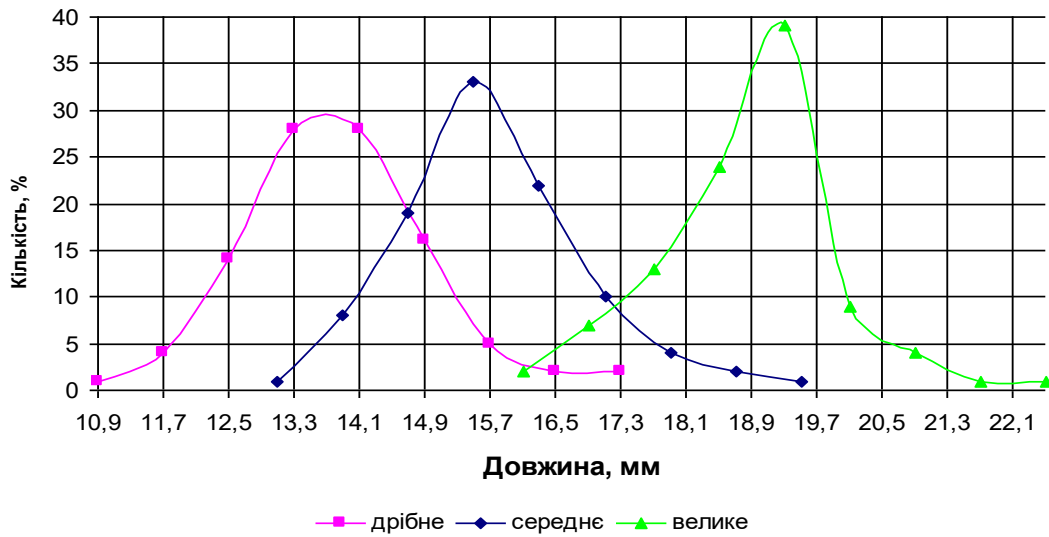


Рис. 6 – Варіаційні ряди розподілу третинок рицини за довжиною

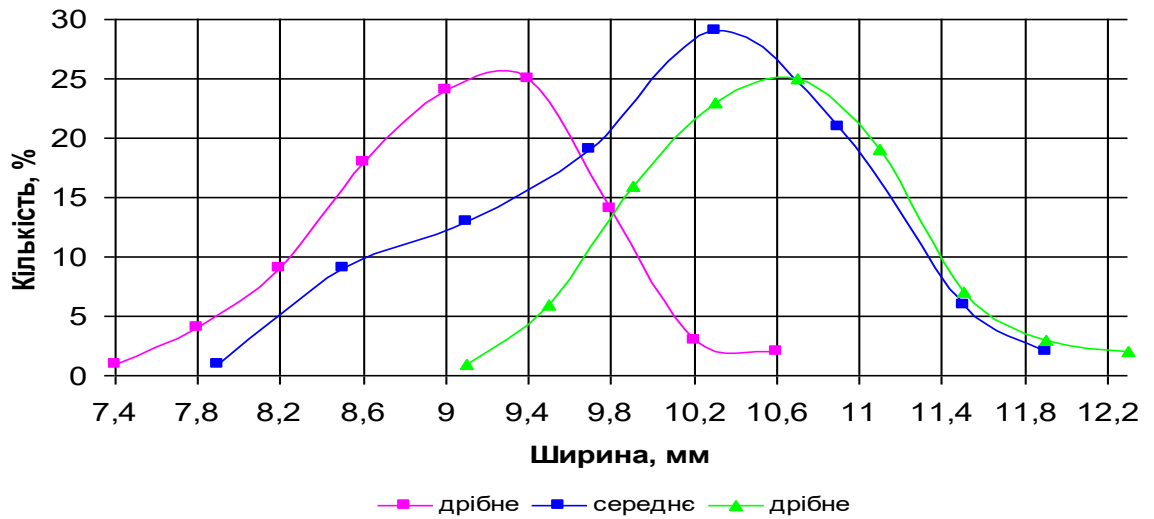


Рис.7 – Варіаційні ряди розподілу третинок рицини за шириною

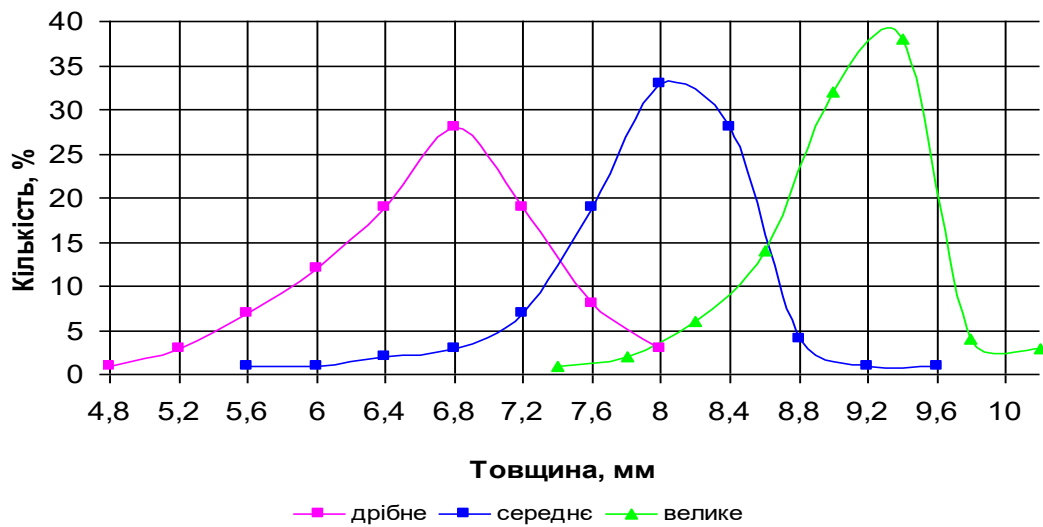


Рис. 8 – Варіаційні ряди розподілу третинок рицини за товщиною

ТОВЩИНОЮ

З урахуванням експериментальних залежностей (рис. 4...8) та формул (3...9) визначено характеристики варіаційних рядів коробочок і третинок сортів рицини (табл. 1...3).

Таблиця 1 – Характеристики варіаційних рядів для дрібної групи сортів рицини

Характеристики	Коробочки		Третинки		
	За довжиною	За шириною	За довжиною	За шириною	За товщиною
Вибіркова середня арифметична, \bar{x}	13,65	14,48	13,3	8,83	6,45
Дисперсія, S^{*2}	1,56	1,54	1,38	0,39	0,44
Середнє квадратичне відхилення, S^*	1,25	1,24	1,18	0,62	0,66
Коефіцієнт варіації, V	9,15	8,58	8,83	7,03	10,27
Розмах варіації, R ,	5,67	5,35	6,31	3,24	3,71
Асиметрія, A_s	-0,07	-0,55	0,56	0,18	-0,45
Екссес, E_x	-0,41	-0,16	1,39	-0,03	0,85

Таблиця 2 – Характеристики варіаційних рядів для середньої групи сортів рицини

Характеристики	Коробочки		Третинки		
	За довжиною	За шириною	За довжиною	За шириною	За товщиною
Вибіркова середня арифметична, \bar{x}	16,27	16,36	15,27	9,55	7,76
Дисперсія, S^{*2}	1,66	0,78	1,17	0,92	0,44
Середнє квадратичне відхилення, S^*	1,29	0,88	1,08	0,96	0,66
Коефіцієнт варіації, V	7,92	5,4	7,09	10,03	0,49
Розмах варіації, R ,	5,8	4,1	6	4,4	3,7

Асиметрія, A_s	-0,066	-0,82	0,69	0,09	-0,46
Ексцес, E_x	-0,45	0,52	1,93	-0,6	0,89

Таблиця 3 – Характеристики варіаційних рядів для великої групи сортів рицини

Характеристики	Коробочки		Третинок		
	За довжиною	За шириною	За довжиною	За шириною	За товщиною
Вибіркова середня арифметична, \bar{x}	18,78	17,44	18,38	10,39	8,84
Дисперсія, S^{*2}	1,82	1,3	1,14	0,5	0,26
Середнє квадратичне відхилення, S^*	1,35	1,14	1,07	0,71	0,51
Коефіцієнт варіації, V	7,19	6,54	5,81	6,83	5,76
Розмах варіації, R ,	6	5,0	6	3,5	3,1
Асиметрія, A_s	-0,067	-0,64	0,25	0,2	-0,56
Ексцес, E_x	-0,5	-0,009	1,71	-0,33	1,72

Розраховані значення параметрів вибіркової середньої арифметичної кожного варіаційного ряду (табл. 1...3) повинні бути враховані в технологічних машинах при розділенні коробочок рицини та луццях її третинок.

Центрування варіаційних рядів, що отримано в процесі досліджень (рис. 1...5) забезпечимо шляхом визначення закону нормального розподілення ряду згідно формули (10). Для цього необхідно врахувати результати характеристик варіаційних рядів розподілу геометричних параметрів компонентів вороху рицини (табл. 1...3). Результати розрахунків законів нормального розподілення варіаційних рядів розподілу коробочок за довжиною і шириною; третинок за довжиною, шириною і товщиною для різних сортів рицини наведено в табл. 4.

Таблиця 4 – Закони нормального розподілення варіаційних рядів розподілу: коробочок за довжиною і шириною; третинок за довжиною, шириною і товщиною для різних груп (сортів) рицини

Биометричні характеристики коробочок і третинок рицини		
Коробочки за довжиною		
Дрібна	Середня	Велика

$\Phi = 0,32 \cdot e^{\left(\frac{-x-13,65}{3,12}\right)}$	$\Phi = 0,31 \cdot e^{\left(\frac{-x-16,27}{3,32}\right)}$	$\Phi = 0,296 \cdot e^{\left(\frac{-x-18,78}{3,64}\right)}$
Коробочки за шириною		
Дрібна	Середня	Велика
$\Phi = 0,323 \cdot e^{\left(\frac{-x-14,48}{3,08}\right)}$	$\Phi = 0,454 \cdot e^{\left(\frac{-x-16,36}{1,56}\right)}$	$\Phi = 0,35 \cdot e^{\left(\frac{-x-17,44}{2,6}\right)}$
Третинки за довжиною		
Дрібна	Середня	Велика
$\Phi = 0,338 \cdot e^{\left(\frac{-x-13,3}{2,76}\right)}$	$\Phi = 0,37 \cdot e^{\left(\frac{-x-15,27}{2,34}\right)}$	$\Phi = 0,373 \cdot e^{\left(\frac{-x-18,38}{2,28}\right)}$
Третинки за шириною		
Дрібна	Середня	Велика
$\Phi = 0,644 \cdot e^{\left(\frac{-x-8,83}{0,78}\right)}$	$\Phi = 0,416 \cdot e^{\left(\frac{-x-9,55}{1,84}\right)}$	$\Phi = 0,562 \cdot e^{(10,39-x)}$
Третинки за товщиною		
Дрібна	Середня	Велика
$\Phi = 0,605 \cdot e^{\left(\frac{-x-6,45}{0,88}\right)}$	$\Phi = 0,605 \cdot e^{\left(\frac{-x-7,76}{0,88}\right)}$	$\Phi = 0,783 \cdot e^{\left(\frac{-x-8,84}{0,52}\right)}$

ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень геометричних характеристик компонентів вороху рицини встановлено:

1. Геометричні розміри вороху рицини залежать від сорту рицини і коливаються в досить широкому діапазоні: за довжиною коробочок: 10,55 - 22,5 мм, за шириною коробочок: 11,5 - 20,2 мм, за довжиною третинок: 10,86 - 22,5 мм, за шириною третинок: 7,36 - 12,3 мм, за товщиною третинок: 4,8 - 10,2 мм. Відсоткове співвідношення за розмірами вороху рицини обумовлюється її сортовими особливостями.

2. Для підвищення ефективності розділення коробочок і луцення її третинок, в залежності від групи сортів рицини, встановлені наступні геометричні розміри: довжина коробочки: дрібної - 13,65 мм, середньої - 16,27 мм; великої - 18,78 мм; ширина коробочки: дрібної - 14,48 мм, середньої - 16,36 мм; великої - 17,44 мм; довжина третинки: дрібної - 13,3 мм, середньої - 15,27 мм; великої - 18,38 мм; ширина третинки: дрібної - 8,83 мм; середньої - 9,55 мм; великої - 10,39 мм; товщина третинки: дрібної - 6,45 мм, середньої - 7,76 мм; великої - 8,84 мм. Вказані параметри необхідно враховувати у відповідних технологічних процесах переробки рицини та конструкціях машин.

3. Для кожного варіаційного ряду розподілу компонентів вороху рицини з урахуванням відповідної групи сортів рицини забезпечено центрування шляхом встановлення закону нормального розподілу відповідного варіаційного ряду.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Журавель Д. П., Чебанов А. Б., Верещага О. Л. Вимоги до підготовчих операцій при пресуванні мезги насіння рицини. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали II Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (м. Мелітополь, 2-27 листопада 2020 р.) / ТДАТУ. Мелітополь, 2020. С. 673-678.

2. Журавель Д. П., Чебанов А. Б., Верещага О. Л. Аналіз способів отримання олійних матеріалів із насіння рицини. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали II Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конф. (м. Мелітополь, 2-27 листопада 2020 р.) / ТДАТУ. Мелітополь, 2020. С. 77-82.

3. Nadikto V., Zhuravel D., Chebanov A., Verechaga O. Improving the efficiency of pressing the male of castor seeds in the screw press. Norwegian Journal of development of the international Science. 2021. Vol. 59, № 1. pp. 48-53. DOI: 10.24412/3453-9875-2021-59-1-48-53.

4. Агишева Д.К., Зотова С.А., Матвеев Т.А., Светличная В.Б. Математическая статистика: Учебное пособие. Волгоград ВПИ (филиал) ВолгГТУ. 2010. 159 с.

5. Волковец А.И. и др. Теория вероятности и математическая статистика. Практикум для студентов всех специальностей очной формы обучения БГУИР – Минск : БГУИР, 2016. 72 с.

6. Теорія ймовірностей та математична статистика: навч. Посіб / О. І. Кушлик-Дивульська, Н. В. Поліщук, Б. П. Орел, П. І. Штабальок. – К: НТУУ «КПІ», 2014. 212 с. Бібліогр.: 205 с.

7. Барковський В.В., Барковська Н.В., Лопатін О.К. Теорія ймовірностей та математична статистика: Навчальний посібник 5-е видання – Київ: Центр учбової літератури, 2010. 424 с.

8. Подготовительные процессы переработки масличных семян. Под ред. Белобородова. М.: Пищевая промышленность, 1974, 336 с.

МОДЕЛЮВАННЯ ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ ДОЗРІВАННЯ ЗЕРНА У ЦИЛІНДРИЧНОМУ БАРАБАНИ

РЕФЕРАТ

Об'єкт досліджень — прискорення созрівання зерна у циліндричному барабані з іонізацією повітря.

Предмет досліджень — вплив іонізованого повітря на пророщування зерна ячменю у циліндричному барабані.

Мета дослідження. Метою даної роботи є оцінка величини впливу указаних факторів на інтенсивність отримання кормового солоду. Вона виконується за даними попередньої оцінки результатів із застосуванням параметричного лінійного кореляційного аналізу К. Пірсона, виконаного для міжфакторних вихідних параметрів та їх впливу на критерій оптимізації — довжину паростків.

Основні результати досліджень:

1. Розроблені методики і спеціалізоване устаткування для проведення експериментальних досліджень.

2. Досліджена електропровідність насінневої маси в залежності від її температури, вологості та напруженості електричного поля високої напруги постійного струму і обґрунтувати закономірності впливу фізичних характеристик насіння сільськогосподарських культур на електрофізичні процеси в насіннєвій масі.

3. Запропонована методика визначення технологічних факторів проведення параметричного лінійного кореляційного аналізу, К. Пірсона міжфакторних вихідних технологічних параметрів і їх впливу на критерій оптимізації — довжину паростків кормового солоду, визначено, що статистично значущі фактори впливу для проведення регресійного аналізу є:

R – доза випромінювання іонізації повітря, 1000 іонів в 1 см³;

h – товщина шару зерна, см;

w – вологість солоду, %.

k – кратність повітрообміну в камері, м³/с;

v – швидкість переміщення зерна відносно барабана.

4. Запропонований варіант удосконалення способу пророщування зерна на корм з використанням іонізованого повітря для прискореного дозрівання зерна мають практичне значення і можуть бути використані у виробництві.

ДОЗА ІОНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯ, ТОВЩИНА ШАРУ ЗЕРНА, ВОЛОГІСТЬ СОЛОДУ, КРАТНІСТЬ ПОВІТРООБМІНУ В КАМЕРІ, ШВИДКІСТЬ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЗЕРНА, КОРМОВИЙ СОЛОД, ДОВЖИНА ПАРОСТКІВ,

ВСТУП

В даний час активно проводяться дослідження нових напрямків розробки прискореного дозрівання зерна, що відповідають сучасному рівню розвитку харчової промисловості. Один з них - створення технології прискореного пророщування зерна для корму курей-несучок. Ефективним способом прискорення созрівання зерна у циліндричному барабані з іонізацією повітря. Цей спосіб дозволяє максимально прискорити процес у поєднанні з підвищеною простотою санітарно-гігієнічної обробки обладнання.

Використання проростків для харчування людини має давню історію, але тільки зараз наука почала розбиратися в хімії проростання насіння і в значенні проростків в раціоні людини й тварин.

Проблема забезпечення потреби країни прискореним пророщенням зерна є досить гострим і актуальним питанням. Технології прискореного созрівання солоду завжди були і залишаються предметом особливої державної турботи. Виробництво солоду – це складний технологічний процес, що включає в себе: вибір ячменю, замочування і солододорощення ячменю.

Солододорощення – пророщування різноманітних сортів зернових культур у спеціально створених і регульованих умовах з метою накопичення та активації в них гідролітичних ферментів. У процесі солорощення зерну необхідно знаходитись в багатій киснем навколишнього середовища. Проте прагнення використовувати кисень при замочуванні та (пророщування) созрівання зерна сприяє активації окислювальних процесів призводять до втрати поживних речовин на дихання та зростання. В пивоварінні роль кисню величезна, але його присутність на деяких стадіях технологічного процесу, як встановлено багатьма вченими і практиками неприпустимо.

Підвищення ефективності виробництва солоду - одна з найважливіших задач харчової технології. Тому дослідження, спрямовані на вивчення процесів при одержанні високоякісного солоду з мінімальними втратами сухої речовини і високою ферментативною активністю, є дуже важливими.

Методи і програма досліджень

Завданням роботи є вивчення процесу величини впливу указаних на інтенсивність отримання кормового солоду. Ця оцінка виконується за даними попередньої оцінки результатів із застосуванням параметричного лінійного кореляційного аналізу К. Пірсона, виконаного для міжфакторних вихідних параметрів та їх впливу на критерій оптимізації — довжину паростків.

Виконання експерименту із п'яти факторів вимагає великого обсягу досліджень, тому нами виконується їх попередня оцінка із застосуванням лінійної кореляції за методикою.

При дослідженні пророщування солоду, тобто збільшення довжини паростків L зерна ячменю, досліджувався вплив 5-ти технологічних

факторів, які характеризують якість роботи установки для пророщування солоду:

R – доза випромінювання іонізації повітря, 1000 іонів в 1 см³; h – товщина шару зерна, см; w – вологість солоду, %; k – кратність повітрообміну в камері, м³/с; v – швидкість переміщення зерна відносно барабана.

Досліджуваним матеріалом при визначенні при проведенні попередніх, лабораторних та експериментальних досліджень є насіння ячменю пивоварного сорту Геліос, з вихідною вологістю 16 %, що відповідає вимогам ДСТУ 3769–98.

Результати досліджень, отримані в процесі пасивного експерименту при зазначених факторах, отриманих у триразовій повторності, представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати пророщування солоду під дією технологічних факторів

№ досліджу	Значення факторів					Довжина паростків L , мм			
						Повторення			Середнє $L_{\text{ср}}$
	R , тис. іонів в 1 см ³	h , см	w , %	k	v	L_1	L_2	L_3	
1	10	2.0	43	2.0	0.30	21	19	22	20.7
2	10	3.0	44	1.5	0.33	20	19	22	20.3
3	1	2.5	45	2.0	0.32	18	20	20	19.3
4	100	2.0	46	1.5	0.34	21	22	22	21.7
5	10	3.0	47	1.8	0.35	17	20	24	20.3
6	1	2.5	43	1.5	0.33	21	23	20	21.3
7	100	2.0	44	2.0	0.35	21	23	24	22.7

Перевірка усього вибіркового обсягу на нормальність, виконана за W -критерієм Шапіро–Уїлка згідно методики, описаної у підрозділі свідчить про її відповідність нормальному розподілу, так як його емпіричне значення становить $W=0.93553$ з рівнем статистичної значущості $p = 0.17763$, тобто більше за $\alpha = 0.05$.

Таким чином при попередній оцінці впливу досліджуваних факторів і їх відборі слід застосовувати параметричний кореляційний аналіз Пірсона.

Розрахунки параметричного лінійного кореляційного аналізу Пірсона за даними табл. 1 наведені у кореляційній матриці, поданій в табл. 2. Тут згідно величини кореляції подані разом із емпіричним рівнем її довірчої значущості.

Таблиця 2– Кореляційна матриця результатів вибірок лабораторних досліджень.

Показник	Доза іонізації	Товщина шару зерна	Вологість солоду	Кратність повітрообміну	Швидкість переміщення зерна
Товщина шару зерна	-0.634 0.002	1			
Вологість солоду	0.210	0.315	1		

	0.348	0.153			
Кратність повітрообміну	0.000 1.000	-0.370 0.090	-0.110 0.625	1	
Швидкість переміщення зерна	0.525 0.012	0.224 0.316	0.586 0.004	-0.282 0.203	1
Довжина паростків зерна	0.563 0.006	-0.600 0.003	-0.427 0.048	-0.089 0.695	0.105 0.643

Прийнявши рівень статистичної значущості $\alpha = 0.05$, бачимо, що коефіцієнт кореляції між факторами w – вологість солоду і v – швидкість переміщення зерна статистично значущий на рівні $p=0.004$ і становить $r = 0.586$, тобто він більше за $r = 0.5$, тому для подальшого регресійного аналізу залишаємо фактор “вологість солоду”, як такий, що має більшу і до того ж статистично значущу кореляцію із довжиною паростків — $r = -0.427$ при $p=0.048$ проти $r = 0.105$ при $p=0.643$.

Також із розгляду варто вилучити фактор “кратність повітрообміну в камері” через його малу величину $r = -0.089$ і нестатистичну значущість прояву — $p = 0.695$.

З табл. 2 також бачимо, що доза іонізації R та товщина h шару зерна статистично значуще впливають на функцію відгуку — довжину паростків, корелюючи з ним на помітному рівні за шкалою Чеддока (прямо при $r = 0.563$ і обернено при $r = -0.600$), а вологість солоду на помірному рівні з прямою кореляцією при $r = 0.427$).

Унаслідок проведених попередніх досліджень було визначено, що статистично значущі факторами впливу на швидкість пророщування зерна в барабанній установці є R – доза випромінювання іонізації повітря, h – товщина шару солоду і w – його вологість [і].

Виходячи з результатів, отриманих у попередньому підрозділі, дані табл. 1 використовуємо при виключенні неістотних факторів k – кратності повітрообміну в камері і v – швидкість переміщення зерна по внутрішній частині барабану (табл. 3).

У дослідженнях, виконаних за пасивним експериментом, доза випромінювання іонізації повітря R змінювалася від 1 до 100 тис. іонів в 1 см^3 , межі варіювання товщини шару зерна були від 2 до 3 см при 43–47 % його вологості.

Таблиця 3 – Результати пророщування зерна під дією дози іонізації повітря, товщини шару зерна і його вологості

№ досліджу	Значення факторів			Довжина паростків L , мм			Середнє $L_{\text{ср}}$
				Повторення			
	R , тис. іонів в 1 см^3	h , см	w , %	L_1	L_2	L_3	
1	10	2.0	43	21	19	22	20.7
2	10	3.0	44	20	19	22	20.3
3	1	2.5	45	18	20	20	19.3
4	100	2.0	46	21	22	22	21.7

5	10	3.0	47	17	20	24	20.3
6	1	2.5	43	21	23	20	21.3
7	100	2.0	44	21	23	24	22.7

Результати перевірки даних, представлених в табл. 1 на наявність грубих помилок, проведена за критерієм Граббса за методикою, свідчать про відсутність грубих помилок серед виконаних замірів повторень на прийнятому рівні статистичної значущості $\alpha = 0.05$ для цієї та інших критеріальних оцінок, так як $U_{(u)} = 1.1547 < U_{0.5(3)} = 1.155$, тобто емпіричне значення критерію менше критичного.

Перевірка однорідності дисперсій для первинних даних лабораторних досліджень, поданих у табл. 3, виконана за критерієм Кохрена, згідно методики, викладеної у підрозділі. Вони свідчать, що емпіричний критерій Кохрена менше за табличний при прийнятому рівні значущості $\alpha = 0.05$ ($G_{\alpha(n,u-1)\phi} = 0.5286 < G_{0.05(7,2)\tau} = 0.5612$), що підтверджує однорідність дисперсій повторів. Таким чином заміри за повтореннями статистично значуще на відрізняються між собою.

У результаті статистичної обробки середніх даних, наведених у табл. 3 з використанням ППП Statistica з представленням статистичної характеристики отриманого рівняння регресії та його коефіцієнтів.

Саме рівняння регресії, яке є математичною моделлю досліджуваного процесу, тобто впливу варійованих факторів на залежну змінну, виражається лінійною залежністю (1)

$$L = 51.4280 + 0.0290R + 0.1341h - 0.7286w. \quad (1)$$

Визначений одночасно скорегований коефіцієнт детермінації (коефіцієнт детермінації лінійної функції відгуку) становить $\bar{R}^2 = 0.569$, тобто 56.9 % даних описується цим рівнянням, що свідчить про його роботоздатність.

Величина середнього значення довжини пророщування зерна становить $L = 20.9$ мм, вона відповідає значенням досліджуваних факторів: доза іонізації повітря $R = 33.14$ тис. іонів в 1 см^3 , товщина шару зерна $h = 2.4$ см і вологість солоду $w = 44.6$ %.

Виконувана при цьому перевірка рівняння регресії на придатність, тобто адекватність, виконана за F -критерієм Фішера, показує, що його розрахункове значення становить $F_{(3;17)} = 9.55$ при рівні значущості $p = 0.0006$, тобто отримана математична модель статистично значуще описує досліджувану закономірність.

Значущість вільного члена та коефіцієнтів цього рівняння визначена за t -критерієм Стюдента підтверджується величиною емпіричного рівень їх

значущості варіюється у межах від $2.809 \cdot 10^{-5}$ до 0.497, тобто він менше за прийнятий значущості $\alpha = 0.05$.

Отримане регресійне рівняння слід перевіряти на відсутність автокореляції (білого шуму) між спостережуваними показниками за методом Дарбіна–Уотсона. Цей метод придатний лише для оцінки лінійних рівнянь чи лінійних складових рівнянь нелінійного типу.

Використовуючи ППП Statistica для оцінки регресійних залишків функції відклику за методом Дарбіна–Уотсона отримуємо, що серіальна кореляція, тобто лінійна кореляція між сусідніми залишками, становить $r_1 = 0.5146$.

При відсутності автокореляції цей показник повинен лежати у межах від $-t_{\alpha(n-1)}/\sqrt{n}$ до $+t_{\alpha(n-1)}/\sqrt{n}$, де n – обсяг вибірки, тобто кількість повторів.

У нашому разі маємо для $t_{05(7-1)} = 2.4469$. У цьому разі отримуємо $\pm 2.4469/\sqrt{7} = \pm 0.9248$ — таким чином зазначена умова виконується, що свідчить про відсутність автокореляції.

Результати лабораторних досліджень інтенсивності пророщування зерна ячменю під дією пар чинників — дози іонізації R , товщина шару зерна h і його вологості w при фіксації третього фактору на нульовому рівні (відповідно рівня іонізації $R = 55$ тис. іонів на см^3 , товщини шару зерна $h = 2.5$ см і його вологості $w = 45\%$) представлено виразами (2)–(4) які проілюстровані на рис. 1 поверхнями першого порядку.

$$L_{Rh} = 18.9028 + 0.0264 \cdot R + 0.1341 \cdot h; \quad (2)$$

$$L_{Rw} = 52.027 + 0.0264 \cdot R - 0.7286 \cdot w; \quad (3)$$

$$L_{hw} = 53.0225 + 0.1314 \cdot h + 0.7286 \cdot w. \quad (4)$$

Аналізуючи вирази (2)–(4) і рис. 1, бачимо, що інтенсивність швидкість пророщування зерна в барабанній установці статистично значуще зростає зі збільшенням дози випромінювання при іонізації повітря, зменшується з його вологістю і практично не залежить від товщини шару зерна.

Із цього можна зробити висновок, що для інтенсифікації процесу пророщування зерна слід підтримувати необхідну постійну вологість при дії на нього відповідної дози іонізації повітря і у разі необхідності продуктивність процесу регулювати зміною товщини шару солоду.

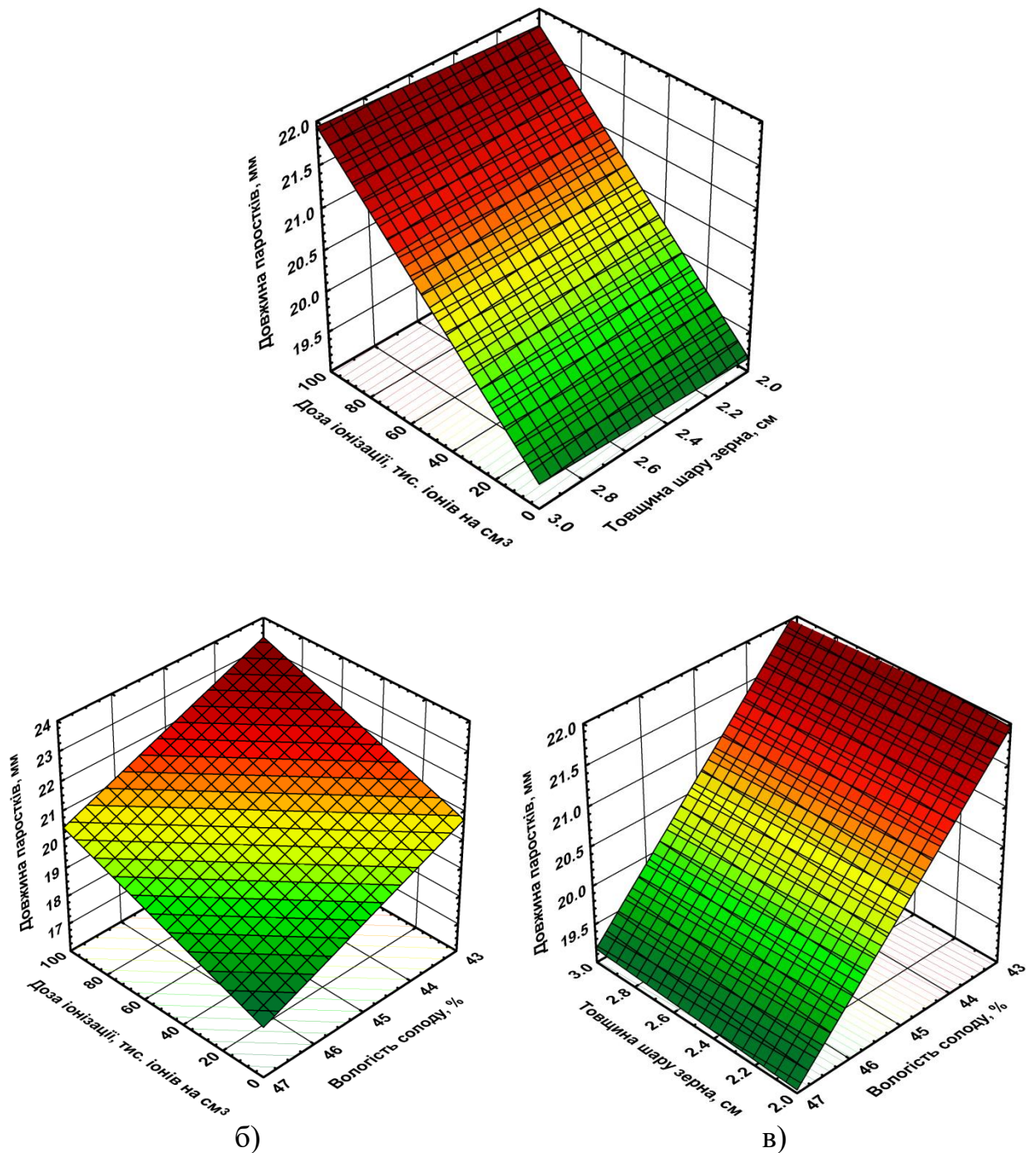


Рис. 1 – Парна взаємодія факторів дози іонізації R , товщина шару зерна h і його вологості w на збільшення довжини паростків зерна ячменю

а – доза іонізації R і товщина шару зерна h ; б – доза іонізації R і вологість солоду w ; в – товщина шару зерна h і вологості солоду w

ВИСНОВКИ.

1. Значущість вільного члена та усіх коефіцієнтів отриманого рівняння визначена за t -критерієм Стьюдента підтверджується величиною

емпіричного рівня їх значущості варіюється у межах від 0.033 до 0.047, тобто він менше за прийнятий рівень $\alpha = 0.05$.

2. Перевірка одержаного лінійного рівняння регресії на придатність, тобто адекватність, виконана за F -критерієм Фішера, показує, що його рівень значущості становить $p = 0.0347$, тобто отримана математична модель статистично значуще описує досліджувану закономірність, пояснюючи 60.7 % досліджуваних експериментальних значень.

3. Середнє значення довжини пророщування зерна становить $L = 20.9$ мм, воно відповідає значенням досліджуваних факторів: дозі іонізації повітря $R = 33.14$ тис. іонів в 1 см^3 , товщині шару зерна $h = 2.4$ см і вологості солоду $w = 44.6$ %.

4. Скорегований коефіцієнт становить $\bar{R}^2 = 0.569$, тобто 56.9 % даних описується цим рівнянням, що свідчить про його роботоздатність.

5. Аналіз отриманої математичної моделі показує, що зі збільшенням дози випромінювання при іонізації повітря і товщини шару зерна інтенсивна зростає швидкість пророщування зерна, у той час як збільшення вологості повільно зменшує цей показник.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Харитонова Г. І., Олексієнко В. О. Розробка технологій прискореного дозрівання солоду/ Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК»- Вінниця, 2015.-№1(91)-с. 73-75

2. Харитонова А.І., Олексієнко В.О., Лісовий І.О. Лінійна модель процесу пророщування зерен ячменю // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2016. – Вип. 16., Т 1– С. 45 - 50.

3. Дереза О.О. Розрахунок рівномірної витрати рідини в трубопроводах з використанням комп'ютерних програм // О.О. Дереза, С.І. Мовчан, Г.І. Харитонова // Матеріали X-ої науково-практичної конференції «Меліорація та водовикористання. З нагоди 130-річчя першого водопроводу міста Мелітополя / Укладачі: С.І. Мовчан (відповідальний за випуск), Т.М. Новах, С.О. Ісаченко. ФОП «Ландар С.М.», Комунальне підприємство «Водоканал» Мелітопольської міської ради Запорізької області, Мелітополь, 2019 р. С. 26-30.

4. Харитонова Г. І., Олексієнко В. О. Вплив іонізованого повітря на виробництво ячмінного солоду// Праці Таврійського державного агротехнологічного університету / ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. Вип. 19, т. 1. С. 132–138.

5. Харитонова А.И. Моделирование процесса проращивания зерна ячменя при производстве пива / А.И. Харитонова, В.А. Алексеенко // Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету. – 2016. – № 1(39). – С. 77–82.

6. Харитонова Г.І., Олексієнко В.О. Вплив іонізованого повітря при виробництві ячмінного солоду, Інноваційні аспекти розвитку обладнання

харчової і готельної індустрії в умовах сучасності : Міжнародна науково-практична конференція, 8-11 вересня 2015 р. : [тезидоповідей.] / підзаг. ред. Дейниченко Г.В. – Харків : ФАКТ, 2015. – с. 110-111.

7. Г. І. Харитонова, В. О. Олексієнко. Прогнози збільшення довжини паростків ячменю. // Збірник тез доповідей III міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» . –Київ: НУБіП України, 2016.– С. 104 - 105

8. Харитонова А.И., Алексеенко В.О. Исследования процесса проращивания пивоваренных сортов ячменя // Материали за 11-а международна научна практична конференция, «Бъдещетовъпроси от светана науката», 17 - 22 декември, 2015. – г. София: «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2015.– Т 17 – С. 91 - 94.

9. Харитонова Г.І., Олексієнко В.О. Спосіб виробництва солоду // Матеріали ІХ Всеукраїнської науково – практичної конференції студентів та молодих науковців «Перші наукові кроки - 2015» Збірник ..эл. праць. 23-24 квітня 2015 року – Кам'янець – Подільський, 2015. – С. 420.

10. Харитонова А.И., Алексеенко В.О. Построение модели второго порядка ПФЕ // Материали за XIVмеждународна научна практична конференция, Новината за напреднали наука - 2018 , 15-22 май 2018 г. София:..« Бял ГРАД-БГ » ООД.-2018 с. С. 39-41

11. Мовчан С.І. Методика розрахунку трубопроводу з рівномірною шляховою витратою системи подачі води в обладнання харчової промисловості / С.І. Мовчан, Г.І. Харитонова, Матеріали ІХ Науково-практичної конференції «Меліорація та водовикористання. Професійна підготовка кадрів – запорука збереження зрошуваного землеробства» // Укладачі: С.І. Мовчан (відповідальний за випуск), С.О.Ісаченко, О.О. Дереза. ФОП «С.М. Ландарь», Басейнова рада річокПриазов'я, Мелітополь, 2019. – С. 40 - 42.

12. Олексієнко В.О., Харитонова А.І. Вплив фракційного складу зерна ячменю на процес виробництва солоду // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність». – Харків : ХДУХТ, 2019. – Ч. 1. С. 227-228.

13. Харитонова Г. І. Вплив іонізованого повітря на виробництво ячмінного солоду / Г. І. Харитонова, В. О. Олексієнко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. Вип. 19, – Т. 1. С. 132–138.

14. Харитонова А. І. Лабораторні дослідження впливу технологічних факторів на процес пророщування солоду. / Г. І. Харитонова, В. О. Олексієнко, С. В. Петриченко, О.П. Ломейко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 20, – Т. 2. С. 65-71.

15. Гавдида Г.І. Технологічні параметри інтенсивного пророщування зерна для годівлі птиці. / Г.І. Гавдида, В.О. Олексієнко, О.П. Ломейко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. Вип. 21, – Т. 1. С. 93-100.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є процес виготовлення паливних брикетів з рослинної сировини.

Предметом дослідження є закономірності впливу технологічних, конструктивних параметрів обладнання для пресування на якісь готової продукції та енергетичні показники.

Метою дослідження є зниження енергетичних витрат процесу, збільшення часу між плановими технічними обслуговуваннями, зменшення вимог до сировини при забезпеченні високої якості.

Методи досліджень. Поставлені задачі вирішувались з використанням теоретичного інструментарію, серед якого: залежності роботи різних типів пресового обладнання від сировини з порівнянням залежності витрат енергії від типу сировини її вологості, вмісту оліє місткої частки сировини, виду обладнання та якості готової продукції

Основні результати досліджень: на основі теоретичних та експериментальних досліджень запропонована методика порівняння основних видів пресового обладнання з розробленим нами шнековим пресом екструдером для виготовлення паливних брикетів, який має більш широкий спектр сировини, значно менші витрати енергії та значно більший час між плановими при відмінній якості готової продукції та порівняно невелику собівартість обладнання.

БРИКЕТУВАННЯ СИРОВИНИ, ПРЕСОВЕ ОБЛАДНАННЯ.

ВСТУП

Тема паливних брикетів з біомаси є надзвичайно актуальною і для України. В країні почалося суттєве підвищення цін на природний газ для домогосподарств, в результаті чого населення стало активно переходити на біомасу. Було встановлено велику кількість побутових твердопаливних котлів, в яких на сьогодні спалюються, в основному, дрова. Значний обсяг дров заготовлюється населенням самостійно (так звана «самозаготівля») із поляхисних та інших лісосмуг, що фактично призводить до їх знищення. Наслідком їх застосування в побутових твердопаливних котлах є низька ефективність роботи обладнання і високий рівень емісії шкідливих речовин. Обладнання для виготовлення паливних брикетів обумовлено високим механічним коефіцієнтом корисної дії, але має свої суттєві недоліки: велике питоме споживання енергії, значна вартість, інтенсивне спрацювання деталей. Тому необхідне подальше дослідження механізмів для виготовлення паливних брикетів та розробка нових, більш ефективних способів виготовлення, з метою зменшення енергоємності процесу. На нашу думку перспективно в цьому сенсі є розробка преса який забезпечить менше

споживання енергії, одночасний віджим технічної олії з масломістких відходів та при цьому виготовлена на ньому продукція буде мати гарні показники, а сам прес матиме менш інтенсивне зношування деталей.

Методи і програма досліджень

Поставлені задачі вирішувались з використанням теоретичного інструментарію, серед якого: залежності роботи різних типів пресового обладнання від сировини з порівнянням залежності витрат енергії від типу сировини її вологості, вмісту олії місткої частки сировини, виду обладнання та якості готової продукції

Програмою досліджень передбачено:

- 1 – визначити вихідні технологічні дані для розробки промислового зразку шнекового прес-екструдера для виготовлення паливних брикетів з рослинної сировини;
- 2 – виконати підбір окремих вузлів та механізмів, а саме двигунів, видів редукторів, конструкції рами;
- 3 – встановити послідовність проведення розрахунку конструкції.
- 4 – здійснити вибір компонування обладнання та запропонувати конструктивне рішення промислового зразка.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження перспективних напрямів підвищення енергоефективності процесу виготовлення паливних брикетів дозволили дійти висновку, що досягти суттєвого зниження енергетичних витрат при проведенні брикетування рослинної сировини можливо за рахунок розробки та впровадження до виробництва конструкцій, принцип дії яких заснований на створенні пресового обладнання яке зможе працювати з широким спектром сировини та забезпечить низьку собівартість готової продукції без втрати якості. Однією з таких конструкцій є лабораторний зразок розроблений нами шнекового прес-екструдера для отримання паливних брикетів зі змогою одночасного віджиму технічної олії, технологічна схема якого наведена на рис.1.

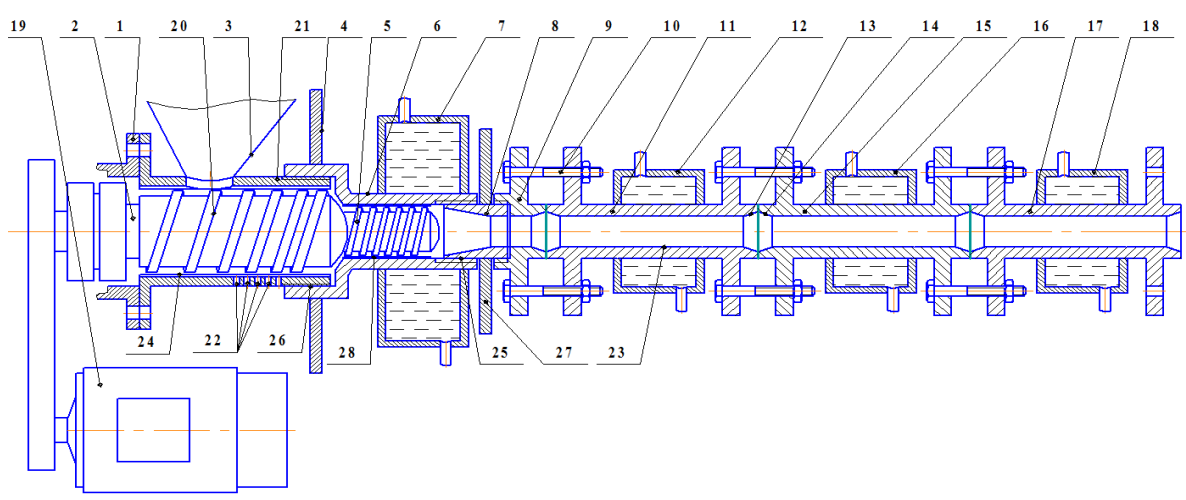


Рис. 1. 1Схема розробленого преса. Корпус преса – 1; вал приводу – 2, вал приводу – 3, фіксатор – 4, дожимний шнек – 5, дожимна камера – 6, охолоджувальний пристрій дожимної камери – 7, матриця – 8, пристрій остаточного формування – 9, болт – 10, секції труб – 11, 15, 17, охолодження секцій труб – 12, 16, 18, фаски – 13 і 14, привід – 19, пресуючий шнек – 20, пресуюча камера – 21, отвори – 22, труба – 23, внутрішні ребра – 24, різьбове з'єднання – 25, різьбове з'єднання – 26, рукоятка – 27, внутрішні ребра – 28.

Запропонована конструкція має безліч переваг над аналогами. Завдяки конструктивним особливостям дана конструкція дає змогу підготовки сировини та її остаточного пресування та брикетування сировини в одному пресі що значно знижують собівартість на експлуатаційні затрати. Також завдяки сукупності конструктивних ознак дана модель пресового обладнання дозволяє працювати з широким спектром сировини (завдяки системі охолодження камер пресування вийшло уникнути критичної температури при якій виділявся пар, що призводило до погіршення якості продукції, також завдяки системі одночасного віджиму технічної олії ми маємо змогу працювати з масломісткою рослинною сировиною, забезпечивши гарну якість готової продукції та знизивши викиди токсичних речовин при згоранні нашого трикета).

Сукупність конструктивних ознак пресу дає змогу здійснювати такі операції як попереднє ущільнення і пресування з брикетуванням в одному пристрої (рис. 2), при цьому відпадає необхідність у використанні додаткового коштовного підготовчого обладнання, що дає змогу значно знизити експлуатаційні витрати та витрати енергії на виробництво брикетів. Завдяки своїм конструктивним особливостям лабораторна модель пресу показала що вона може стабільно працювати з сировиною різних структурно-механічних властивостей: як маслянистою (сої, коріандру, соняшнику, льону), так і не маслянистою (солома, торф, очерет, відходи переробки деревини).



Рис. 2. Лабораторна установка

Відсутності внутрішнього отвору в брикеті забезпечена використанням дожимного пристрою та унікальною конструкцією пристрою остаточного формування, що дало змогу значно підвищити щільність брикету, завдяки чому суттєво підвищилась тривалість горіння брикету (до 25%) .

Пропонована довжина секцій труб пристрою остаточного формування має однакові розміри та змогу заміності, що скорочує експлуатаційні витрати на обслуговування пресу а невелика їх довжина скорочує час його очищення та дає змогу швидко відновлювати зношені частини. Крім того, секції труб невеликої довжини дають змогу більш точно регулювати необхідний тиск в камері остаточного формування, і, як наслідок, необхідну щільність брикету, та швидко виводити прес на робочий режим під час холодного старту пресу.

Завдяки наявності у пристрої остаточного формування брикету канавок для зниження тиску, дає змогу підвищити частку виходу олії з брикету ,так як рідка фракція завжди намагається потрапити в зону де нижчий тиск ,що підвищує якість брикету, і знижує токсичність диму при його горінні.

Однією з конструктивних особливостей пресу є відсутність нагріваючих елементів у зоні пресування що призводить до суттєвого зниження витрат енергії при формування паливних брикетів (до 40%). При роботі з масляничними культурами, внаслідок підтримання оптимальної температури в зоні пресування, підвищується вихід та якість технічної олії (яка використовується при виробництві фарб та оліфи). Крім того, внаслідок зменшення кількості залишкової олії в брикеті, збільшується час зберігання готової продукції. Наявність охолоджувального пристрою в дожимній камері знижує температуру та дає змогу її корегувати в зоні формування брикету

для унеможливлення пароутворення в середині брикету, що призводить до підвищення щільності готового виробу та розширенню діапазону вологості сировини.

Наявність спеціальної форми внутрішніх ребер в пресуючій та дожимній камерах підвищує збільшує пресуючий момент пресу, внаслідок унеможливлення пробуксовування сировини в камерах, а конічна форма внутрішньої частини дожимного шнека сприяє підвищенню ущільнення сировини в камерах, і, як наслідок, більшої щільності брикету і вартості та конкурентоздатності.

ВИСНОВКИ

Таким чином, застосування сукупності ознак в розробленому нами пресі забезпечує холодний віджим та дозволяє:

1 отримати брикети з підвищеною тривалістю горіння завдяки великій щільності та відсутності отвору, зі зниженим вмістом рідких (токсичних) речовин;

2 при роботі з олієвміскою сировиною отримувати високоякісну технічну олію з дозволеним показником кислотності;

3 знизити енерговитрати до 40кВт/т готової продукції завдяки відсутності підготовчого додаткового обладнання та додаткових нагрівальних елементів, та унікальної конструкції камер та шнеків.

4 збільшити міжремонтний час на 200%

5 знизити витрати на очищення пристрою остаточного формування.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Самойчук К. О., Самохвал В. А. Обладнання для виготовлення паливних брикетів та їх недоліки // Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: друга міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 23 листопада 2021 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. В.М. Кюрчева. – Мелітополь : ТДАТУ, 2021. С. 34-35.

2. Самойчук К. О., Самохвал В. А. Теплотворна здатність палива для переробних виробництв // Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: друга міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 23 листопада 2021 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. В.М. Кюрчева. – Мелітополь : ТДАТУ, 2021. С. 58-60.

3. Самойчук К. О., Самохвал В. А. Розробка міні-лінії для виготовлення паливних брикетів // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету : наукове фахове видання / ТДАТУ: гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев.- Мелітополь: ТДАТУ, 2021. – Вип. 21, т. 1.- с.152-159

4. Самойчук К.О., Самохвал В.А. Характеристики використання брикетування в переробній промисловості / Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 24 листопада 2020 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. В.М. Кюрчева. – Мелітополь : ТДАТУ, 2020. С. 182-184.)

5. Патент. 147538, Україна, МПК (2021.01) Шнековий прес-екструдер для отримання брикетів / Самохвал В.А.: заявник і патентовласник Самохвал Віталій Анатолійович – u 202007250: заявл. 13.11.2020: опубл. 19.05.2021, Бюл.№ 20

ЗБЕРІГАННЯ ЯГІД ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЗАМОРОЖУВАННЯ

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є процес заморожування ягід.

Предметом дослідження є технологічні, конструктивні параметри обладнання для заморожування та ягоди, які приймали участь в ході експеримента.

Метою дослідження є збереження показників якості ягід у ході зберігання із застосування процесу заморожування.

Методи дослідження Експериментальну частину досліджень проводили згідно чинних методик та галузевих стандартів для оцінки фізико-механічних, біохімічних та мікробіологічних змін ягід на спеціально розробленої дослідної установки при використанні лабораторій для аналізів, та застосування методів математичної статистики та планування багатофакторних експериментів. Обробку результатів досліджень проводили за допомогою IBM-сумісного ПК.

ЗАМОРОЖУВАННЯ, ЯГОДА, ПРОЦЕС, ТЕМПЕРАТУРА, СМОРОДИНА

ВСТУП

Швидке охолодження і шокова заморозка по праву визнані найкращим способом зберігання свіжої продукції. Збільшення терміну придатності, збереження поживних і смакових властивостей - все це цінується як покупцем, так і виробником харчових продуктів.

Швидке заморожування свіжої харчової сировини дозволяє зберегти біологічну і вітамінну цінність, активність сировини як тваринного, так і рослинного походження, використовувати таку сировину для виробництва продуктів харчування в осінній, зимовий і весняний періоди. У разі застосування технології шокової заморозки, кристали льоду не стають занадто великими, зате відчутно зростає їхня щільність. Це сприяє збереженню структури продукції, що позитивно впливає на його якості після розморожування

МЕТОДИ І ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕННЯ

Поставлені задачі вирішувались з використанням теоретичного та експериментального інструментарію.

Програмою досліджень передбачено:

У порівнянні з традиційним способом заморожування на стелажах в холодильних камерах, переваги шокової заморозки такі: зменшуються втрати продукту в 2-3 рази; скорочується час заморозки в 3-10 разів; скорочуються виробничі площі в 1,5-2 рази; скорочується виробничий персонал на 25-30%; скорочується термін окупності на 15-20%; Розглянемо практичні результати плюсів технології шокової заморозки продуктів. Для цього необхідно продовжувати проводити дослідження в напрямку розробки модернізованої технології із застосуванням розробленого обладнання для зберігання ягід.

Тому, для вирішення задач даної роботи необхідно провести експериментальні дослідження.

Розглянемо практичні результати плюсів технології шокової заморозки продуктів. Для цього необхідно продовжувати проводити дослідження в напрямку розробки модернізованої технології із застосуванням розробленого обладнання для зберігання ягід

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Ягоди відносяться до тих видів сільськогосподарської продукції, які досить важко зберігати тривалий час, однак саме від цього сильно залежить кінцевий прибуток. Справа в тому, що, чим більше часу пройшло між моментом дозрівання ягід і часом його продажу, тим більший прибуток можна отримати. Найвідоміший і тому широко поширений в сільському господарстві спосіб збереження свіжих ягід – застосування холоду під час зберігання.

Технологія, яка задовольняє цим вимогам, реалізується в спеціальних швидкоморозильних апаратах, що використовують явище флюїдизації («зрідження»): шар з великого числа ягід або шматочків продукту, насипаних на сітчастий конвеєр, під впливом інтенсивного вертикального потоку повітря починає поводитися як рідина – відбувається вирівнювання товщини насипаного шару по поверхні конвеєра, і частки всередині шару поступово перемішуються.

Заморожування як спосіб зберігання і консервування засноване на зневодненні тканин плодів і овочів шляхом перетворення міститься в них вологи в лід. Лід утворюється при температурі від -2 до -6°C , а в деяких видах овочів від -1 до -3°C . Чим швидше відбувається процес заморожування, тим більше утворюється кристалів, менше їх розміри, вища якість продукту. Плоди, ягоди, овочі заморожують при температурі -35 - 45°C , для зберігання доводять температуру продукту до -18°C і далі зберігають при цій температурі. Пропонуємо використовувати пристрій вібро-шугового підморожування, який містить гнучку вантажонесучу стрічку, опорні котки, живильний лоток, розвантажувальний лоток, продукцію, що обробляється.

Додатково встановлено дебалансний віброзбуджувач, рухомі вали, натяжний пристрій, пружинні опори, пружний елемент натяжного пристрою, регулювальну гайку натяжного пристрою, масу снігової шуби або тонкоподрібненої криги, лоток для відведення часток снігової шуби або тонкоподрібненої криги, вібраційний просівач для відділення від продукції часток снігової шуби або тонкоподрібненої криги.

На основі аналізу існуючих та розроблених флюїдизаційних апаратів була складена їх класифікація за такими ознаками як:

- за механізмом створення флюїдизаційного шару;
- за конструкцією виконавчих органів;
- за способом переміщення продукції у зоні обробки.

Залежно від режиму низькотемпературної обробки продукції при використанні розроблених схем семіфлюїдизаційних апаратів можна відзначити три напрями технологічної дії:

- переохолодження продукції за рахунок конвективного теплообміну потоком холодоносія;
- переохолодження продукції за рахунок кондуктивного теплообміну при контакті з масою снігової шуби або тонкоподрібненої криги;
- переохолодження продукції за рахунок комбінованого теплообміну з потоком холодоносія та при контакті з масою снігової шуби або тонкоподрібненої криги.

Серед основних структурних елементів даної машини є транспортер з деформувальною робочою поверхнею для переміщення сипкої та дрібнокускової продукції; кінематичний комбінований вібропривод, що розміщується в опорних котках транспортерної стрічки; підпружинений ексцентриковий приводний вал віброзбуджувача; секції для здійснення операцій завантаження та розвантаження обробленої продукції. Розроблений метод дозволяє підвищити інтенсифікацію тепломасообміну шляхом застосування псевдозрідженого шару продукції, використання вібраційних і хвильових ефектів та поточної схеми виробництва за використання конвеєрних механізмів (рис.1). У вібраційних транспортно-технологічних машинах даного типу вібрація не тільки знижує сили внутрішнього тертя при транспортуванні, але й утворює динамічну хвилю для забезпечення примусового переміщення матеріалу вздовж гнучкого вантажонесучого органу в умовах неперервного оновлення шарів продукції при їх перемішуванні.

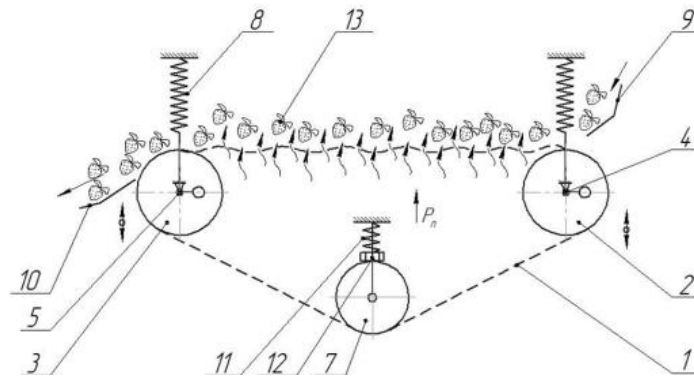


Рис. 1. Принципова схема віброхвильової семіфлюїдизаційної машини, в якій реалізується конвективний теплообмін потоком холодоносія.

1 – гнучка вантажонесуча стрічка; 2, 3 – робочі опорні вальці; 4 – приводний вал віброзбуджувача; 5 – підшипникова опора вальців; 6 – дебаланс; 7 – натяжний валець; 8 – пружна підвіска; 9 – лоток живильний; 10 – розвантажувальний лоток; 11 – пружний елемент натяжного пристрою; 12 – регулювальна гайка натяжного пристрою; 13 – продукція, що обробляється.

Розроблена схема віброконвеєрної флюїдизаційної установки являє собою поєднання стрічкового транспортера та вібраційної технологічної

машини. Механічні віброприводи або віброзбуджувачі, що умонтовані всередині вальців, забезпечують генерацію просторових коливань, створюючи умови для безперервного руху продукції по заданій спіралевидній траєкторії, забезпечення її зваженого стану. Використовується спеціальний валець, що забезпечує необхідний натяг гнучкої стрічки. Коливання робочих вальців із заданими амплітудними та частотними характеристиками створює на поверхні гнучкого елемента у вигляді стрічки механічну хвилю, що забезпечує просування сипкої продукції вздовж зони обробки в умовах інфрачервоного опромінення. Розпушення маси продукції під дією знакозмінних навантажень призводить як до зменшення внутрішнього тертя та в'язкості у технологічному середовищі, так і до пошарового перемішування та забезпечення рівномірного контакту з холодоносієм. Дана задача розв'язується шляхом застосування механічних віброзбуджувачів у кожному із опорних котків стрічкового транспортера, які створюють біжучу або стоячу хвилі на поверхні деформованого транспортуючого елемента, що забезпечує потрібний технологічний рух маси продукції

Для збереження зовнішніх і внутрішніх властивостей ягід суворо дотримуються технології. Якщо на ягоді буде багато льоду і інею, то вона втратить свої смакові якості. А при використанні таких фруктів у випічці тісто розмокне і потоне. Важливий вибір ягід. Зм'яті і перезрілі злипаються в одну непривабливу масу. Недозрілі, через низький вміст цукру, змінять колір, втратять аромат і смак.

Чорна та червона смородина є найбільш привабливим джерелом аскорбінової кислоти порівняно з іншими ягодами та фруктами. Яскраво виражена сезонність ягідного виробництва змушує задуматися про способи їх збереження. Один з найбільш екологічно чистих способів -

заморожування ягід. Однак за біохімічною цінністю заморожені ягоди відрізняються від свіжих. Після розморожування в ягодах відмічається зниження вмісту аскорбінової кислоти, розчинних твердих речовин і титрованих кислото.

Перед заморожуванням ягоди слід правильно підготувати. Необхідно перебрати їх, видаливши погані ягоди і видаливши сміття.

Залежно від того, яку смородину ви заморожуєте, є свої особливості.

Червону смородину потрібно заморожувати тільки з гілочками. Чорними можуть бути цілі ягоди. Продукти краще зберігають корисні речовини, якщо їх швидко заморозити. Його особливість полягає в тому, що рідина, що міститься в тканинах ягід або іншого продукту, не встигає розширюватися. Такий ефект призводить до швидкого затвердіння і, як наслідок, гарного збереження продукту протягом тривалого терміну зберігання. Для всіх видів ягід слід застосовувати однаковий спосіб консервування.

Перед зберіганням і під час зберігання ми визначили основні показники якості. У ході використання технології ми перевіряли, тобто досліджували

такі показники: масову частку цукрів, масову частку вітаміну С, масову частку титрованих кислот, масову частку розчинних твердих речовин .

Створення флюїдизаційного шару продукції в процесі її високотемпературної обробки може здійснюватися при використанні таких схем виконавчих органів вагонів, як: в жолобу псевдозрідження або лотку, в пневмомеханічній системі, яка здійснює імпульсну подачу холодоагент на поверхню продукту, у зрідженому жорсткому контейнері; у конвеєрній системі напівфлюїдизації.

Використання зріджувального пристрою заморожує в діапазоні від 10.. 25°С шляхом встановлення додаткового вентилятора з напрямною насадкою може покращити рух заморожуваного продукту, а саме горизонтальне переміщення верхніх шарів продукту, що не торкаються сітчастого транспортного засобу, що в свою чергу збільшує інтенсивність тепловіддачі у верхніх шарах псевдозрідженого потоку та продуктивність процесу заморожування в цілому .

У ході дослідів проводили біохімічну оцінку ягід до заморожування та після розморожування (табл.1).

Таблиця 1. Біохімічна оцінка ягід до заморожування та після розморожування

Назва ягід	Масова частка цукрів, %		Масова частка вітаміну С, мг на 100г		Масова частка титрованих кислот, %		Масова частка розчинних твердих речовин, %	
	перед заморожуванням	після розморожування	перед заморожуванням	після розморожування	перед заморожуванням	після розморожування	перед заморожуванням	після розморожування
Чорна смородина (Біг Бен)	9,4	9,0	175,4	160,3	2,5	2,6	15,3	14,2
Чорна смородина (Краса Львова)	8,3	8,0	153,0	145,5	2,63	2,7	13,2	12,7
Червона смородина (Рондом)	8,5	8,0	52	45	2,6	2,8	13,1	11,8

Червона смородина (Львів'янка)	7,5	6,8	43,6	38,6	2,2	2,65	11,3	12,6
--------------------------------	-----	-----	------	------	-----	------	------	------

Для кожного показника біохімічної оцінки були побудовані діаграми.

ВИСНОВКИ

За рахунок флюїдизації (псевдооживлення) під час заморозки, продукція не злипається і охолоджується за рекордно короткий час. Найкраще такі камери шокової заморозки підходять для дрібної продукції - ягоди, нарізані овочі і фрукти, боби та ін.

Дані пристрої мають саму мінімальну втрату і зберігають високу якість продуктів, а також мають високу швидкість заморожування. Заморожений таким чином продукт добре фасується і зберігає свою структуру.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Kiurchev S., Verkholtantseva V., Yeremenko O., Al-Nadzhar F. Research and changes in berries using technology of freezing during storage. Latvia University of Sciences and Technologies Faculty of Engineering. Jelgava,

May 2020. P. 997-1002.

2. Кюрчев С. В., Верхованцева В. О., Кюрчева Л. М., Самойчук К. О. Використання технології заморожування ягід. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету : наукове фахове видання /ТДАТУ ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 20, т. 2. С. 115-123.

3. Кюрчев С. В., Паламарчук І. П., Верхованцева В. О. Застосування холоду у процесі зберігання ягід. Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: Матеріали міжнародної науково-практичної ін.тернет-конференції, 24 листопада 2020 року. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 77-80. Праці ТДАТУ 16 Вип. 21, т. 1

4. Пристрій для визначення криоскопічної температури харчових продуктів: пат. 129352 Україна: МПК G01N 33/02 (2006.01), G01K 7/02 (2006.01). № u2018 05100; заявл. 08.05.2018; опубл. 25.10.2018, Бюл. №20.

5. Флюїдизаційний пристрій: пат. 130454 Україна: МПК B01F7/26 (2006.01). № u2018 06110; заявл. 01.06.2018; опубл. 10.12.2018, Бюл. № 23.

6. Семіфлюїдизаційний пристрій для швидкого заморожування харчових продуктів: пат. 135240 Україна: МПК F25D 17/06 (2006.01). № u2019 00150; заявл. 04.01.2019; опубл. 25.06.2019, Бюл. № 12.

7. Поточковий семіфлюїдизаційний морозильний пристрій: пат.135242 Україна: МПК F25D 17/06 (2006.01). № u2019 00154; заявл.04.01.2019; опубл. 25.06.2019, Бюл. № 12.

8. Пристрій вібро-шугового підморожування: пат. 146083 Україна: МПК F25D 13/06, F25D 17/06 (2006.01). № u2020 04962; заявл.03.08.2020; опубл. 20.01.2021; Бюл. № 3.

9. Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхованцева В. О. Віброхвильовий семіфлюїдизаційний процес низькотемпературної обробки рослинної сировини. Соціально-економічний розвиток аграрної сфери: інженерно-економічне забезпечення: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Березани, 19-20 квітня). Тернопіль, 2018. С. 283-285.

10. Кюрчев С. В., Верхованцева В. О., Паляничка Н. О. Холод сприяє зберіганню продукції. Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: Матеріали міжнародної науково-практичної ін.тернет-конференції, 24 листопада 2020 року. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 194-192.

11. Kiurchev S., Valentyna V., Kiurcheva L., Hutsol T., Semenyshyna I. Study of changes incurrant during fast freezing/ International Scientific and Practical Conference on Environment.Technology. Resources, ETR 2021 Rezekne 17 June 2021 до 18 June 2021 p. 113 – DOI 11610.17770/etr2021vol1.6539.

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ ВАКУУМНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ПЛОДІВ ЧЕРЕШНІ ТА ЇХ КОРОТКОТРИВАЛОГО ЗБЕРІГАННЯ

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є технологічний процес вакуумного охолодження плодів черешні.

Предметом дослідження є теоретичні залежності впливу параметрів та режимів вакуумного охолодження процесу на якість плодів черешні при короткостроковому їх зберіганні.

Метою дослідження є розробка і обґрунтування режимів охолодження і зберігання плодів черешні, які б забезпечували подовження термінів короткострокового зберігання плодів з високою якістю.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження з обґрунтування параметрів вакуумного охолоджувача проводилися з використанням положень термодинаміки та методів диференційного та інтегрального числення, а оптимізацію його параметрів за методикою планування екстремального експерименту. Експериментальні дослідження проводилися в лабораторіях ТДАТУ відповідно до прийнятих методик та галузевих стандартів.

Основні результати досліджень:

1. Розроблено експериментальну установку, яка дозволяє проводити вакуумне охолодження плодів, овочів або ягід і регулювати в широких межах температуру та тиск всередині камери охолоджувача.

2. Встановлено, що найбільш раціональним режимом вакуумного охолодження плодів черешні є режим охолодження при тиску 56325 Па до температури 3°C з внесенням вологи в камеру охолодження у лотках.

**ВАКУУМНЕ ОХОЛОДЖЕННЯ, ПЛОДИ ЧЕРЕШНІ, ВАКУУМНИЙ
ОХОЛОДЖУВАЧ, ОПТИМАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ І РЕЖИМИ РОБОТИ,
ТИСК, ВТРАТА МАСИ, ТЕМПЕРАТУРА ОХОЛОДЖЕННЯ**

ВСТУП

Найкращі смакові якості плоди черешні мають відразу після зняття з дерева. Свіжозібрані плоди черешні відразу ж страждають від високих температур і втрати вологи, а з нею вітамінів, ароматичних і поживних речовин. Товарний стан продукції без додаткових заходів відразу втрачається, зменшується термін реалізації, знижується ціна. Щоб зменшити швидкість цих процесів, необхідно створити певні умови збору, попереднього охолодження, сортування та пакування.

Плоди черешні відносяться до швидкопсувної продукції і при температурі 30°C вже через 6 годин після збирання втрачають половину своєї якості. Якщо після збирання врожаю їх не охолодити якнайшвидше, то в подальшому через втрачену якість плодів результати зберігання будуть незадовільними. Таким чином, щоб зібраний урожай не загинув, необхідно ретельно дотримуватися технологій охолодження та зберігання. Після збору потрібно якомога швидше забезпечити попереднє охолодження плодів черешні. Свіжі плоди черешні найбільш стійких сортів максимально можуть зберігатися до 14 діб при дотриманні певних умов. Довготривале зберігання у холодильниках різко погіршує їх смак.

Основним завданням попереднього охолодження перед закладкою плодів черешні на короткострокове зберігання є створення умов, за яких втрати маси і поживних речовин були б мінімальними, а якість продукції залишалася б максимально наближеною до якості свіжих плодів.

Технологія вакуумного охолодження плодів і овочів, є надзвичайно швидким методом випарного охолодження, висока ефективність якого досягається за рахунок скорочення часу технологічного процесу. Плоди та овочі, які містять достатню кількість води, може буди охолоджена за допомогою процесу вакуумного охолодження, що підвищує ефективність випаровування за рахунок зниження тиску та температури кипіння води.

Програмою досліджень передбачено:

1. Розробка методики досліджень
2. Виробничі випробування вакуумного способу охолодження плодів черешні та короткотривалого їх зберігання.
3. Обробка, аналіз одержаних результатів та оформлення звіту.

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводилось у 2021 на базі Науково-дослідного саду ТДАТУ, також кафедр «Обладнання переробних і харчових виробництв ім. професора Ф.Ю. Ялпачика» Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного у місті Мелітополі Запорізької області.

При проведенні досліджень використовувалась виробнича база – ВАТ "Мелітопольська черешня" Мелітопольського району Запорізької області. У процесі експериментальної роботи здійснювалися лабораторні дослідження згідно з «Методичними вказівками по зберіганню плодів, овочів та винограду».

У дослідженнях використовували плоди черешні пізнього строку досягання – сорт Мелітопольська чорна, що внесені в реєстр сортів України. Товарну обробку проводили виділяючи цілі, міцні, чисті, не уражені плоди (1 товарного сорту), згідно з вимогами ГСТУ 01.1-37-162:2004 та вибраковуючи нестандартні екземпляри. Транспортували плоди черешні до плодосховища в день збору.

Охолодження плодів черешні під вакуумом проводили у розробленій камері для вакуумного охолодження рослинної сировини (подана заявка на отримання патенту на корисну модель "Установка для вакуумного охолодження рослинної сировини" / Ломейко О.П., Арестов А.Ю. – жовтень 2010 року). Для зберігання використовувалась холодильна камера КХР-6 при температурі 0 – 7 °С. Режими охолодження визначались згідно літературних джерел.

Для вакуумного охолодження рослинної продукції пропонується конструктивна схема установки. (Рис.1) Партію рослинної продукції із змістом вільної води можна охолодити в глибокому вакуумі.

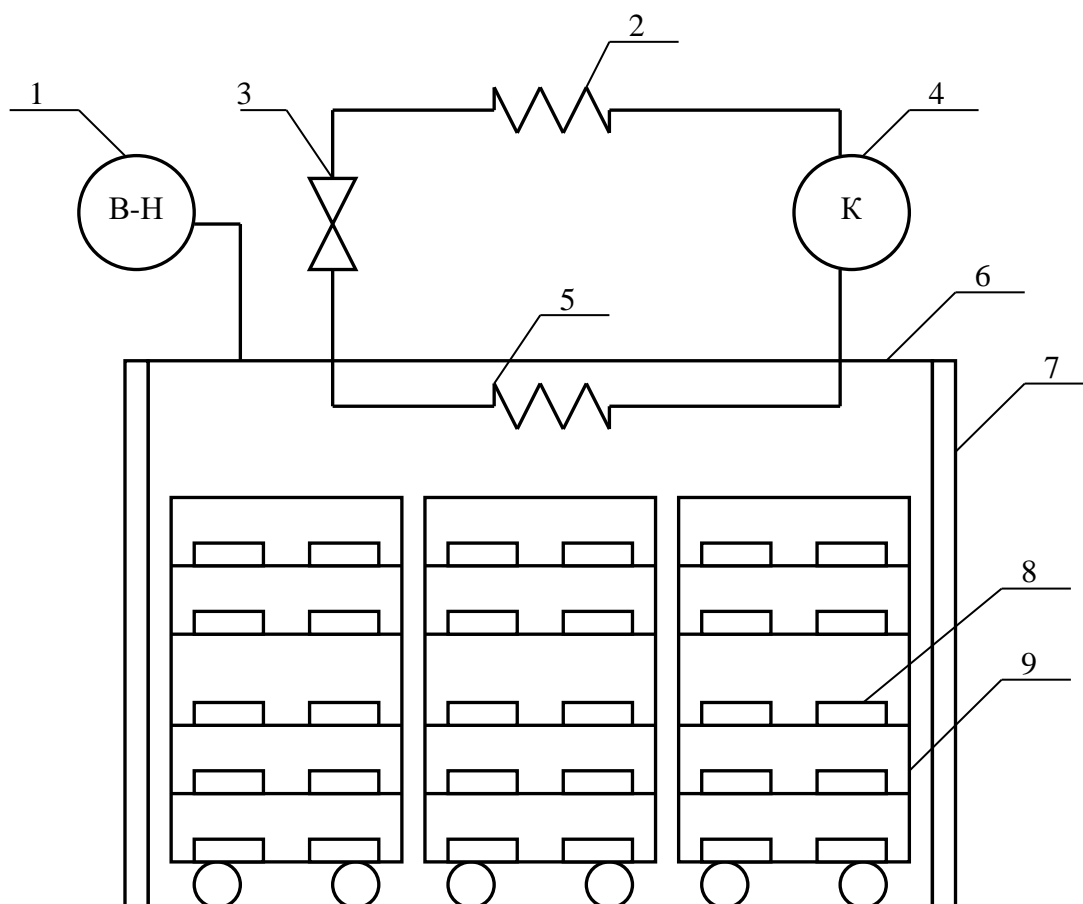


Рис. 1 Схема установки для вакуумного охолодження рослинної продукції: 1 – двокаскадний вакуум-насос; 2 – конденсатор; 3 – терморегулюючий вентиль; 4 - компресор; 5 – повітроохолоджувач; 6 – вакуумна камера; 7 – дверцята камери; 8 – упакований продукт; 9 – теліжка.

Вакуум слід підтримувати на рівні 4,5 – 5,0 мм ртутного стовпа (600 – 667 Па) вода замерзає при тиску 4,6 мм ртутного стовпа (613 Па), тобто при 0°C . Іншою контрольною крапкою служить тиск 7,6 мм ртутного стовпа (1013 Па), що відповідає 7°C.

В процесі вакуумного охолодження застосовується вакуумна камера трубчастого типу 6, герметично закрита двома підйомними дверцями 7. Продукт 8 пакується і завантажується в камеру за допомогою візків 9 або вильчатого навантажувача. Діаметр камери близько 2,5 м, довжина міняється залежно від продукту і інтенсивності обробки. Для економії займаної площі, дверці відкриваються вертикально. Вакуум створюється двокаскадним вакуум-насосом 1, потужність якого підбирається для відсмоктування відповідного об'єму пари.

У камерах розташовані зміювики 5, охолоджені приблизно до -6, -7 °C. Вільна волога збирається на зміювиках у вигляді інею, дозволяючи тим самим понизити об'єм відкачуваного вакуумом-насос повітря і води. Оскільки теплове навантаження на початку вакуумування дуже високе, в деяких конструкціях передбачені морозозбірники або теплозбірники відповідного типу для компенсації пікових навантажень. Охолоджуючі зміювики можуть також розміщуватися в першому каскаді або на стороні всмоктування у вакуум-насос.

В процесі роботи продукт завантажується у вакуумну камеру, закриваються дверці, запускається вакуум-насос (спочатку другий каскад) і включається охолодження. Вільна вода починає випаровуватися, коли рівень вакууму доводиться до температури кипіння води при початковій температурі, відповідній початковій температурі продукту.

Після охолодження продукту до заданої температури вакуум-насос відключається, вакуум заповнюється. За допомогою гарячого повітря або води з охолоджуючих зміювиків віддаляється іній. Після зливу з камери тала вода з повітрям готова для наступної партії продукту.

Під час проведення експериментальних досліджень змінними параметрами є:

1. тиск (величина вакууму в камері), Па;
2. температура повітря в камері, C;
3. тривалість охолодження продукту, хв.

Управління системою вакуумного охолодження: психрометричний термограф/терморегулятор вимірює температуру змоченого термометра в камері і забезпечує зупинку процесу при заданій температурі. Загалом, температура змоченого термометра близька до температури продукту, яка також реєструється.

Для проведення дослідів процесу вакуумного охолодження плодів черешні на основі існуючих аналогів іноземного виробництва та літературних джерел було розроблено та збудовано експериментальну модель установки для вакуумного охолодження рослинної сировини (подана заявка на отримання патенту на корисну модель "Установка для вакуумного

охолодження рослинної сировини" / Ломейко О.П., Арестов А.Ю. - жовтень 2010 року), що дозволяє в широких межах змінювати і автоматично підтримувати температуру та тиск всередині камери (Рис. 2). Конструкція установки для вакуумного охолодження рослинної сировини дозволяє підтримувати необхідну температуру у камері (0 – 7 °С) та тиск, який можна

встановлювати в діапазоні від 101 325 Па (атмосферний тиск) до 1 325 Па.

При проведенні теоретичних досліджень вакуумного охолодження використовувались основні положення термодинаміки і комп'ютерній технології.

Експериментальні дослідження були проведені з використанням

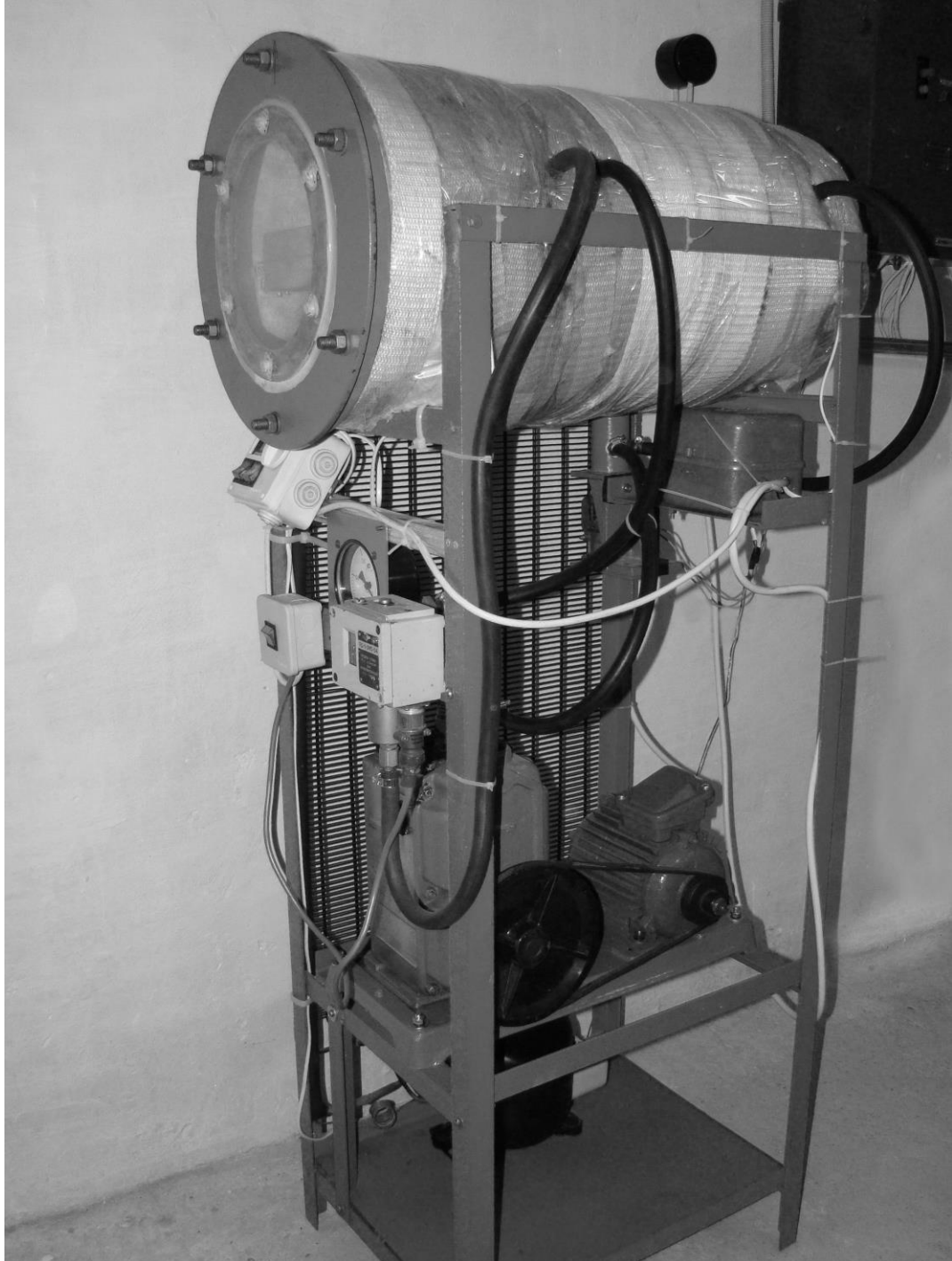


Рис. 2 - Загальний вид вакуумного охолоджувача: 1 – станина; 2 – камера вакуумного охолодження; 3 – вікно; 4 – кришка камери; 5 – термометр; 6 – пульт керування; 7 – вакуумметр; 8 – реле-регулятор; 9 – електромагнітний клапан; 10 – вакуумний компресор; 11 – решітка конденсатора; 12 – холодильний агрегат.

активних експериментів, результати яких обробляються методами математичної статистики, регресійного і кореляційного аналізів.

Статистичну обробку результатів експериментальних досліджень проведено за допомогою ЕОМ ПК з використанням табличної програми Excel.

Оцінка впливу режиму вакуумного охолодження на процес охолодження та якість продукції було визначено за такими параметрами:

1. тривалість (швидкість) охолодження продукту, хв.;
2. втрата вологи в продукті, %;
3. температура продукту після охолодження, °С;
4. органолептичні та фізико-механічні показники продукту.

Всі заміри робляться у трьохкратній повторності для кожного досліду.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Швидкість охолодження

Для визначення швидкості охолодження було відібрано наважку плодів черешні сорту Мелітопольська чорна у кількості 1 кг. Плоди були ретельно перебрані та обрані для експерименту тільки цілі, міцні, чисті, не уражені та були вибракувані нестандартні екземпляри. Наважка з плодами черешні розташовувалась всередині камери для вакуумного охолодження на полиці 4 (Рис.3)

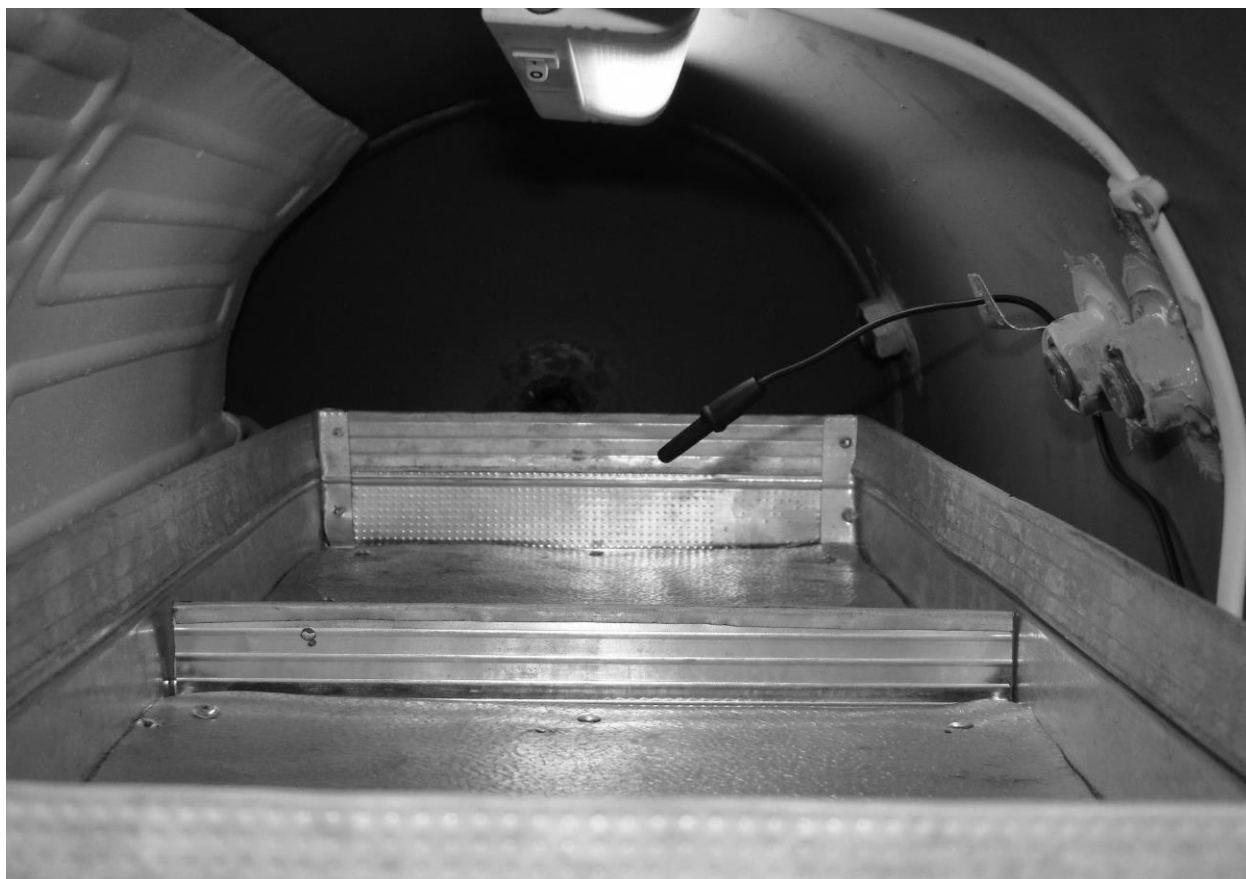


Рис. 3 – Загальний вид камери вакуумного охолодження: 1 – випаровувач; 2 – неонова лампа; 3 – термопара; 4 – полиця.

Випаровувач камери охолоджений до температури -6 -7 °С. В середині камери встановлено лоток з водою для запобігання втрати власної вологи продуктом. Після закриття дверей камери вмикався вакуумний компресор та починався процес відкачування повітря з камери до настання встановленого значення тиску після чого вакуумний компресор відключався. Утримання плодів черешні в середині камери продовжувалось до встановлення необхідної температури в плодах черешні (Рис.4-6). Після цього вакуум заповнюється і після вирівнювання тиску з атмосферним, відчинялись двері камери і плоди черешні переносились для подальшого зберігання в холодильну камеру КХР-6.

При проведенні попередніх досліджень було встановлено, що при вакуумному охолодженні при середньому тиску 56325 Па та часу охолодження 1 год. втрата вологи становить 3 мл.

Втрата маси визначалась періодичним зважуванням зразка плодів черешні, що піддавались вакуумному охолодженню (рис.7). Наважка плодів була поміщена в сітчасті мішки, що були розташовані в камері охолодження.

Температура продукту після охолодження

Охолодження плодів черешні проводилось до температур 0 °С, 3°С та 7 °С. Температурні режими обиралися виходячи з літературних джерел. Охолодження до температур нижче 0 °С не допускається по причині руйнування клітин, а охолодження до температур, вищих за 7 °С не рекомендується для використання з вакуумним охолодженням.

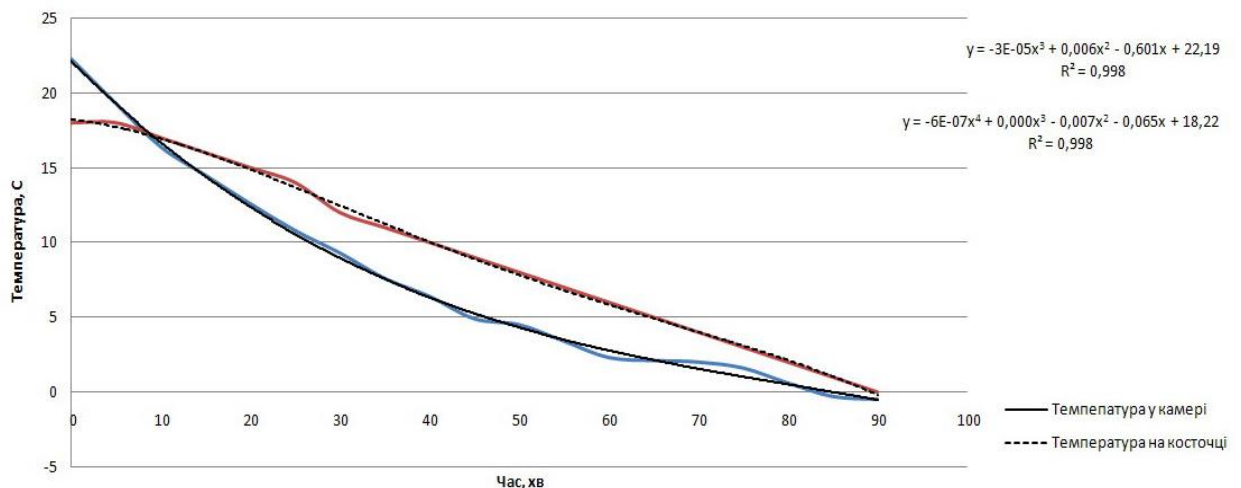


Рис.4 – Швидкість охолодження плодів черешні при тиску 101325 Па (контроль)

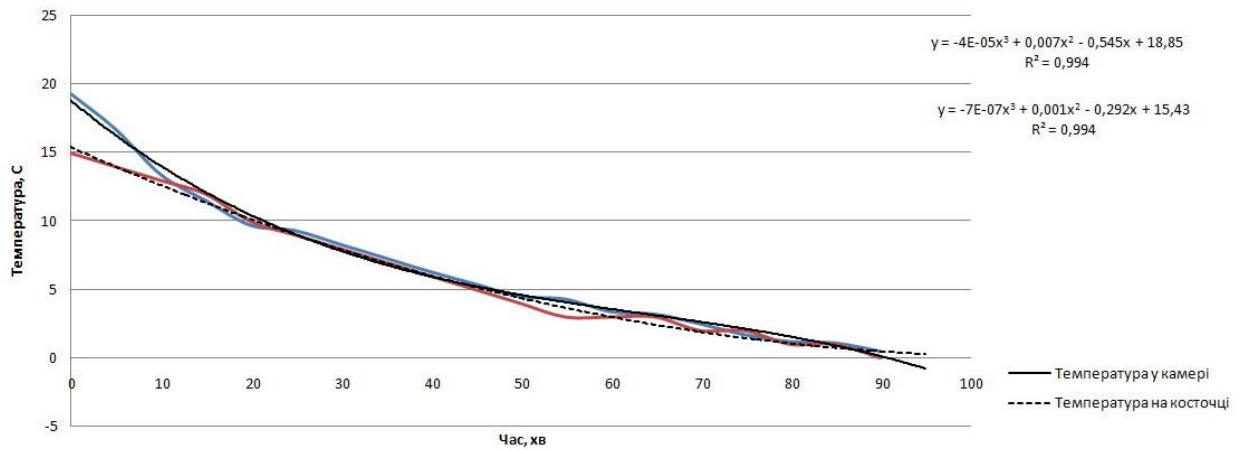


Рис. 5 – Швидкість охолодження плодів черешні при тиску 71 325 Па

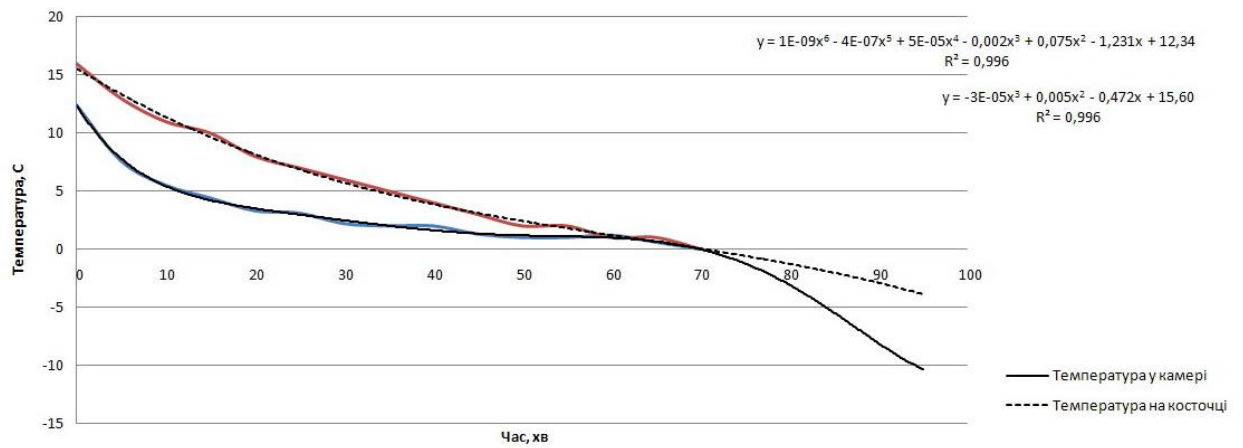


Рис. 6 – Швидкість охолодження плодів черешні при тиску 56 325 Па

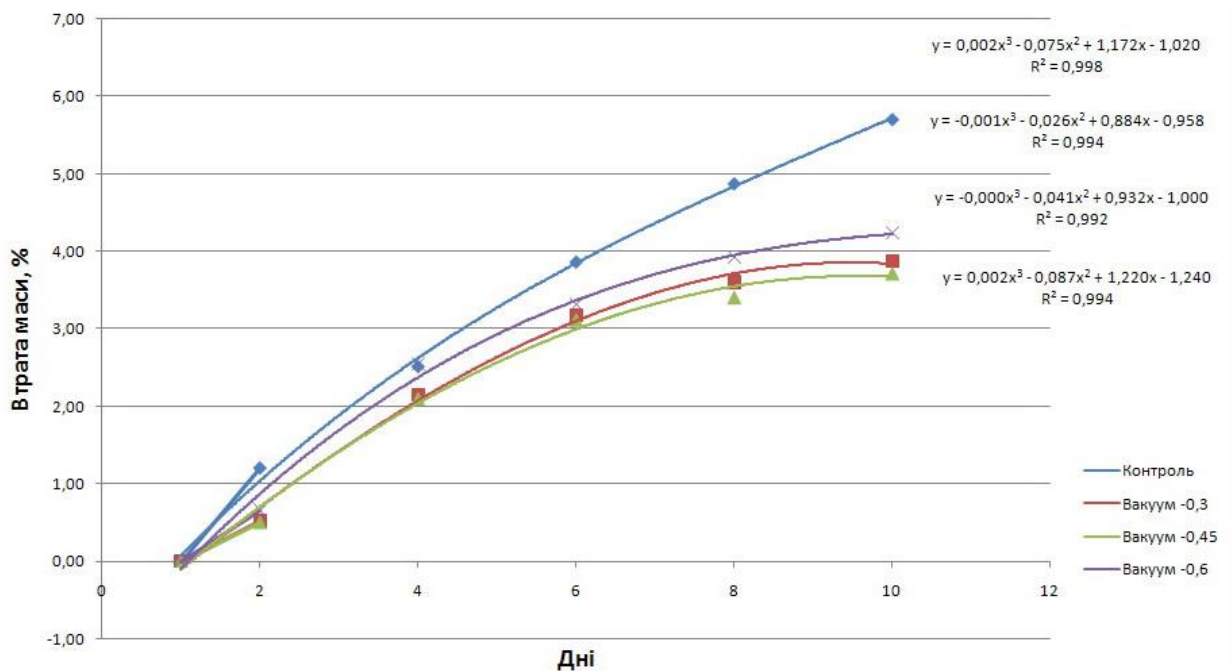


Рис. 7 – Залежність втрати маси плодів черешні охолоджених вакуумним способом від терміну зберігання

ВИСНОВКИ

1. Розроблено експериментальну установку, яка дозволяє проводити вакуумне охолодження плодів, овочів або ягід і регулювати в широких межах температуру та тиск всередині камери охолоджувача.

2. На основі проведених досліджень було встановлено, що найбільш раціональним режимом вакуумного охолодження плодів черешні є режим охолодження при тиску 56325 Па до температури 3°C з внесенням вологи в камеру охолодження у лотках.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ТА ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Ломейко О. П. Теоретичне дослідження технології вакуумного охолодження при зберіганні продукції рослинництва / О. П. Ломейко, Л. В. Єфіменко. // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2015. – №15. – С. 56–65.

2. Ломейко О. П. Використання методу вакуумного охолодження для попереднього охолодження плодів черешні / О. П. Ломейко, Л. В. Єфіменко. // Актуальні проблеми енергетики та екології. – 2016. – С. 276–279.

3. Туровцев М. І. Районовані сорти плодових і ягідних культур селекції інституту зрошуваного садівництва / М. І. Туровцев, В. О. Туровцева. – Київ: Аграрна наука, 2002. – 218 с.

4. Brosnan T. Compensation for water loss in vacuum pre-cooled lily flowers / T. Brosnan, D. W. Sun. // J.Food Eng.. – 2001. – №79. – С. 299–305.

5. Jit T. . Experimental investigation of the temperature variation in the vacuum chamber during vacuum cooling / Jit. // Journal of food engineering. – 2007. – С. 333–339.

6. Haas E. Factor effecting the cooling rate of lettuce in vacuum cooling installations / E. Haas, G. Gur. // Intl.J..refrigeration. – 1987. – №10. – С. 82–86.

7. McDonald K. Vacuum cooling technology for the food processing industry:A review / K. McDonald, D. W. Sun. // Journal of food engineering. – 2000. – №45. – С. 55–65.

8. Sun D. W. Vacuum cooling technology for the agri-food industry: past, present and future / D. W. Sun, Z. Liyun. // Journal of Food Engineering. – 2006. – №77. – С. 203–214

9. Wang L. Rapid cooling of porous and moisture foods by using vacuum cooling / L. Wang, D. W. Sun. // Trends food science technology. – 2001. – №12. – С. 174–184.

10. Lomeiko O., Yefimenko L., Tarasenko V. Vacuum Cooling Technology for Pre-Cooling of Cherry Fruits / Modern Development Paths of Agricultural Production // Trends and Innovations. – 2019. – С. 281-288.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ГРАНУЛЮВАННЯ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ СОКОВОГО ВИРОБНИЦТВА

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є процес грануляції відходів сокового виробництва.

Предметом дослідження технологічні, конструктивні та кінематичні параметри гранулятора у взаємозв'язку з енергетичними та якісними показниками

Метою дослідження є експериментальне та аналітичне визначення коефіцієнта тертя спокою та тертя руху гранул з відходів (жому), одержаного в результаті виготовлення морквяного соку.

Методи дослідження. Експериментальні дослідження проводилися у лабораторних у лабораторних умовах відповідно до прийнятої методики та галузевих стандартів з використанням статистичної обробки результатів

Основні результати досліджень:

1. Розроблено і виготовлено трибометр з електричною сигналізацією початку зсуву дослідного зразка
2. Модернізовано конструкцію приладу для дослідження коефіцієнту руху.

ГРАНУЛЯЦІЯ, ВІДХОДИ СОКОВОГО ВИРОБНИЦТВА, КОЕФІЦІЄНТ ТЕРТЯ, КОЕФІЦІЄНТ СПОКОЮ.

ВСТУП

Використання вторинних сировинних ресурсів сокового виробництва, як-то вичавків, пюре-відходів, що не втратили своєї харчової цінності є, безумовно, актуальним і перспективним напрямком в розвитку переробної та харчової промисловості.

Як відомо, останнім часом, для реалізації вказаної проблеми широко застосовують процес гранулювання, який складається з ряду послідовних етапів: стиснення, витримки під тиском, зняття тиску, релаксації напружень, витримки без тиску, випресовування і пружного розширення гранули після її вивільнення з камери. Ефективність процесу залежить ступеню досконалості виконання кожного з названих етапів, однак основне значення має перший етап – операцію стиснення порції сировини до потрібної щільності.

На процес стиснення суттєво впливають пружні, в'язкі і фрикційні властивості матеріалу, який піддається гранулюванню. Таким чином ефективність процесу гранулювання переважно залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу, що пресується. Це, насамперед, модуль Юнга, коефіцієнт Пуассона, коефіцієнти в'язкості і тертя. Багато дослідників відмічають такі властивості, як порозність, співвідношення компонентів у суміші (тверда речовина, рідина і газова фаза), точка адсорбції води на поверхні часток, критична щільність та ін.

Серед названих фізико-механічних властивостей особливе місце займає коефіцієнт тертя від значення якого залежать не тільки умови і зусилля пресування, а також і спроможність готового гранульованого продукту взаємодіяти з елементами технологічного обладнання, зокрема транспортуючих та фасувальних машин і механізмів.

Методи і програма досліджень

Для дослідження коефіцієнтів тертя спокою (при $v = 0$) на кафедрі „Обладнання переробних і харчових виробництв“ ТДАТУ був розроблений і виготовлений трибометр (рисунок 1) з електричною сигналізацією початку зсуву дослідного зразка, а для досліджень коефіцієнта руху (при $v > 0$) модернізовану відому конструкцію приладу І.В Крагельського [1] (рисунок 2).

Програмою досліджень передбачено визначити коефіцієнт тертя руху гранульованої моркви по гумі при різних швидкостях ковзання і різних номінальних навантаженнях.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

На лабораторній установці (рисунок 1) можна визначити коефіцієнт тертя спокою (f_c) як цілих плодів, так і зразків (фрагментів). Для кріплення зразків крихких матеріалів та матеріалів з підвищеною пластичністю 12 передбачалися спеціальні оправки 11.

Для імітування різних матеріалів поверхонь тертя трибометр комплектували знімними пластинами 13 з металу, дерева, гуми.

Об'єкт досліджень навантажувався до потрібного нормального зусилля F_N важками (гирями) 10.

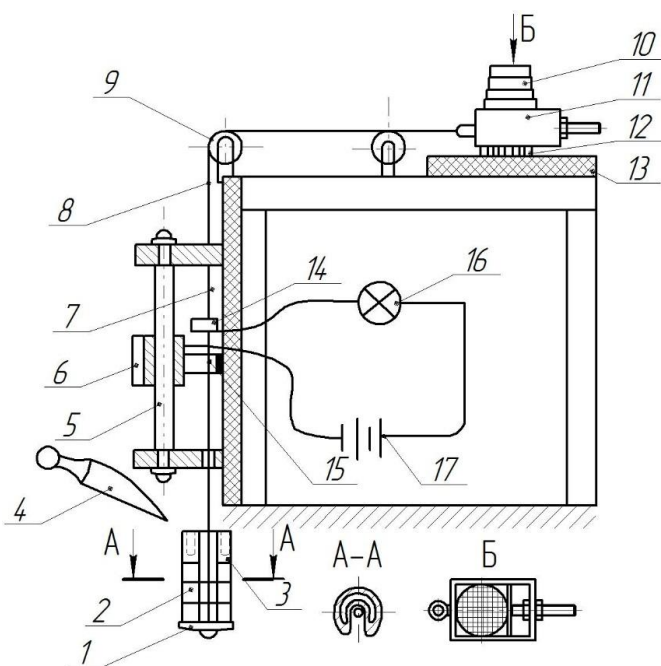
Потім об'єкт зсувався силою F_T , яка утворювалась гирями 2 і масою піску, що плавно висипався із совка 4 у короб 3.

Гирі з коробом встановлювалася на підвіску 1, яка була з'єднана ниткою 8, перекинутою через блоки 9, з оправкою 11. Як тільки зусилля F_T перевищувало максимальне значення сили тертя починався рух оправки або плоду, що досліджувався.

При цьому рухомий контакт 14 закріплений на нитці, опускаючись, торкався контакту 15, встановленого на повзуні 6.

Електричний ланцюг з лампою 16 і батареєю 17 замикався.

Рис. 1 – Схема дослідного трибометра



1 - підвіска; 2 - гирі; 3 - короб; 4 - совок; 5 - напрямна; 6 - повзун; 7 - рама; 8 - нитка; 9 - блок; 10 - важки; 11 - оправка; 12 - зразок; 13 - пластина; 14, 15 - контакти; 16 - лампа; 17 - батарея.

Положення повзуна з контактом 15 на напрямній 5 фіксувалося силами тертя, яка утворювалася діями сил пружності пластинчастої пружини. Перед початком досліду зазор між контактами становив 2...3 мм.

Зусилля F_T визначалося як сума сил ваги гир, підвіски і короба з піском. Зважування здійснювалося на вагах ВЕЛ-200.

Коефіцієнт тертя визначався за залежністю:

$$f = F_T / F_N, \quad (1)$$

Плавне збільшення зусилля на дослідний зразок завдяки повільному поданню піску до короба і точному визначенню початку руху об'єкта за допомогою світлового сигналу забезпечили високу точність визначення зусилля F_T , про що говорить незначне розсіювання значень результатів повторних дослідів.

Для підвищення стабільності показань і спрощення керування приладом І.В. Крагельського, на якому проводилося визначення коефіцієнта тертя руху, клиноремінний варіатор приладу був замінений відповідною клиноремінною передачею з постійним передаточним числом.

Плавне ж регулювання частоти обертання диска здійснюється за рахунок застосування електродвигуна постійного струму, підключеного за реостатною схемою через випрямляч до звичайної однофазної електричної мережі. Регулювання частоти обертання диска у широких межах (від 200 до 1800 об/хв.) досягається шляхом змінення напруги в обмотці якоря двигуна.

Схема приладу показана на рисунку 2.

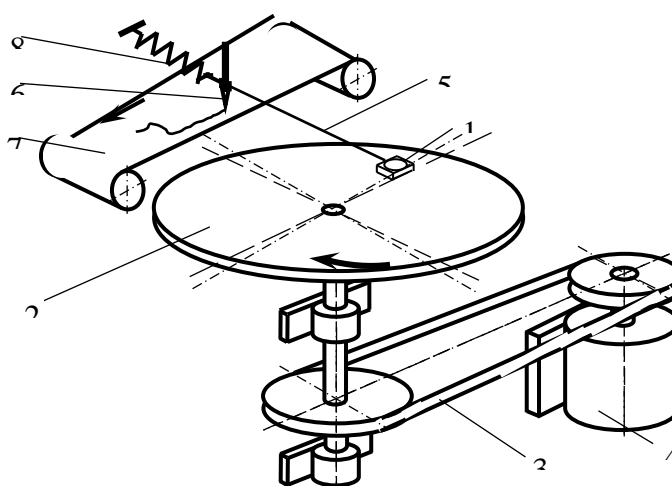


Рис. 2 – Прилад для дослідження коефіцієнта тертя руху

1 - об'єкт випробувань; 2 - диск; 3 - клинопасова передача; 4 - електродвигун постійного струму; 5 - нитка; 6 - перо самописця; 7 - вимірювальна пружина; 8 - стрічка самописця; 9 - привод самописця

Об'єкт випробування (гранула, закріплена в спеціальній оправці) 1 укладається на поверхню диска 2, який обертається навколо вертикальної площини через клинопасову передачу 3 від електродвигуна постійного струму 4. Об'єкт за допомогою нитки 5 з'єднаний з пером самописця 6, яке переміщується по стрічці 7 на відстань, обумовлену деформацією тарованої вимірювальної пружини 8. Як і у попередній серії дослідів навантаження зразка проводилося за допомогою гирі, які встановлювались на зразок, закріплений в оправці.

Диск приладу має пристрої для швидкої заміни і кріплення його покриття, що імітує різні види поверхонь тертя, зокрема дерево, метал (сталь) і гума.

Запис зусилля тертя проводиться на стрічку з міліметрового паперу шириною 50 мм. Привод самописця теж має безступінчасте регулювання переміщення стрічки. Це дає можливість узгодження швидкостей диска і паперу, а також одержання достовірної інформації про динаміку зміння зусилля тертя.

Досліди по визначенню коефіцієнта тертя проводились з п'ятикратною повторністю, розсіювання результатів складало не більш 4...8%.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

На рисунку 3 наведені графіки побудовані за результатами визначення коефіцієнта тертя спокою.

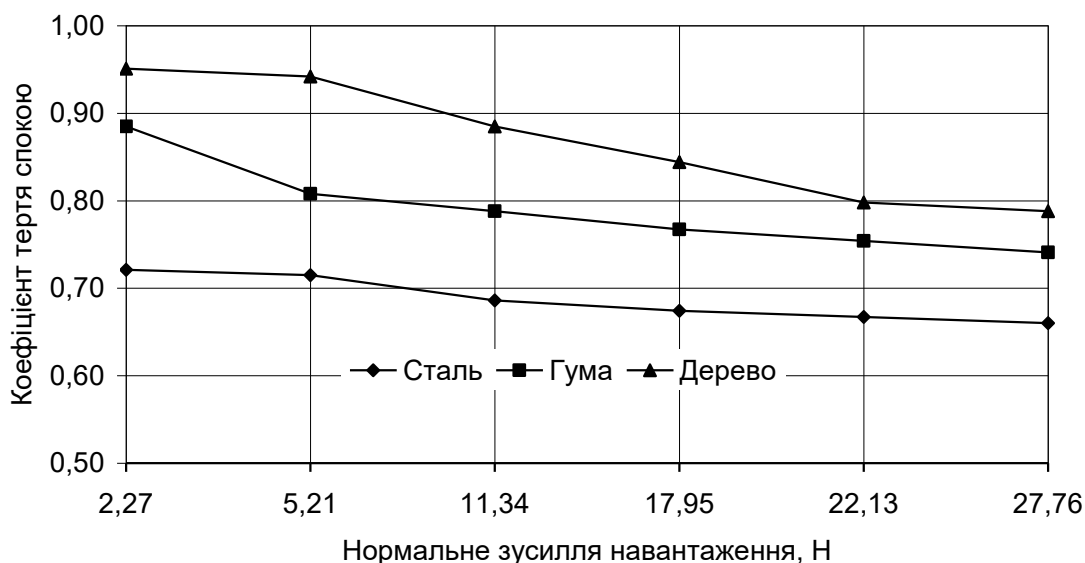


Рис. 3 – Залежність коефіцієнта тертя спокою від нормального зусилля на зразок

Змінення коефіцієнтів тертя спокою зумовлені характером проведення дослідів можна пояснити впливом різної шорсткості поверхонь пластин трибометра та податливістю поверхні контакту, зміненнями адгезійних сил – сил молекулярного зчеплення. Вплив останніх визначається залежністю f_c від величини нормального тиску. Збільшення нормальної сили тиску супроводжується тенденцією зниження коефіцієнту тертя (рисунок 3), що можна пояснити аналізом двочленного закону тертя Кулона [2].

$$F_T = F_A + F_N \cdot \mu = F_N \left(\frac{F_A}{F_N} + \mu \right) = F_N \cdot f. \quad (2)$$

Збільшення нормальної сили приводить до зниження питомого зусилля F_A/F_N (тут F_A - сумарна сила молекулярного зчеплення; μ - коефіцієнт тертя за законом Кулона; f - коефіцієнт тертя за законом Амонтона).

Коефіцієнт тертя руху f_p визначався за формулою Амонтона при тих же значеннях нормальної сили, що й для визначення коефіцієнту тертя спокою. Досліди проводились для широкого діапазону колових швидкостей від 2,5 м/с до 22,5 м/с. Результати дослідів показані на діаграмах рисунку 4.

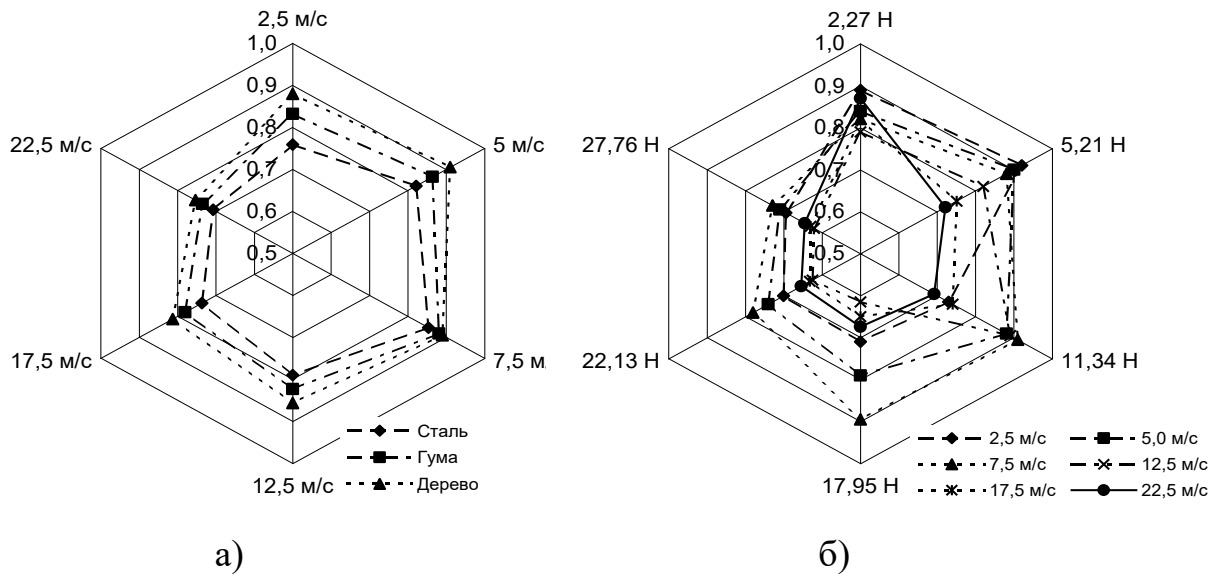


Рис. 4 – Залежності коефіцієнту тертя руху від: а) швидкості руху і б) нормального зусилля навантаження

Як видно з графіків, мінімальні значення коефіцієнта одержані при терті по сталі максимальні – по дереву. Як і значення коефіцієнту тертя спокою зі збільшенням нормального зусилля тиску коефіцієнт руху зменшується. З аналізу графіка б) видно, що зі збільшенням швидкості руху коефіцієнт також дещо зменшується. Змінення коефіцієнта руху f_p від змінень нормального тиску F_N та швидкості ковзання не набули стабільного характеру.

Коефіцієнт граничного тертя найчастіше виражений такою емпіричною залежністю від швидкості відносно руху поверхонь, що труться :

$$f_v = f_o + f_1 v + f_2 v^2 + f_3 v^3, \quad (3)$$

де f_o - коефіцієнт тертя при $v = 0$; f_1, f_2, f_3 - експериментальні коефіцієнти, які можуть як позитивними, так і від'ємними.

Склавши для даних трьох швидкостей v_1, v_2, v_3 систему з трьох рівнянь (3) і, розв'язавши їх, знайдемо що:

$$f_1 = \frac{(f_{v1} - f_o)(v_2^2 v_3^3 - v_3^2 v_2^3) + (f_{v2} - f_o)(v_3^2 v_1^3 - v_1^2 v_3^3) + (f_{v3} - f_o)(v_1^2 v_2^3 - v_2^2 v_1^3)}{v_1(v_2^2 v_3^3 - v_3^2 v_2^3) + v_2(v_3^2 v_1^3 - v_1^2 v_3^3) + v_3(v_1^2 v_2^3 - v_2^2 v_1^3)}, \quad (4)$$

$$f_2 = \frac{(f_{v_2} - f_o)(v_1^2 v_3^3 - v_1^3 v_3) + (f_{v_1} - f_o)(v_2^3 v_3 - v_2 v_3^3) + (f_{v_3} - f_o)(v_1^3 v_2 - v_1 v_2^3)}{v_1(v_2^2 v_3^3 - v_3^2 v_2^3) + v_2(v_3^2 v_1^3 - v_1^2 v_3^3) + v_3(v_1^2 v_2^3 - v_2^2 v_1^3)}, (5)$$

$$f_3 = \frac{(f_{v_3} - f_o)(v_1 v_2^2 - v_2 v_1^2) + (f_{v_2} - f_o)(v_1^2 v_3 - v_1 v_3^2) + (f_{v_1} - f_o)(v_2 v_3^2 - v_3 v_2^2)}{v_1(v_2^2 v_3^3 - v_3^2 v_2^3) + v_2(v_3^2 v_1^3 - v_1^2 v_3^3) + v_3(v_1^2 v_2^3 - v_2^2 v_1^3)}. (6)$$

Числові значення f_1, f_2, f_3 , обчислені за залежностями (4), (5), (6) і експериментальними значеннями f_{vi} при швидкостях v_1, v_2, v_3 наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Експериментальні і розрахункові значення коефіцієнтів тертя руху гранульованої моркви по гумі при різних швидкостях ковзання і різних нормальних навантаженнях

$f_N, Н$	Експериментальні значення				Розрахункові значення			Значення f_{v_4} при $v_4 = 7,5$ м/с			Значення f_{v_5} при $v_5 = 17,5$ м/с		
	f_o	Значення f_i при швидкості			f_1	f_2	f_3	Експеримент	Розрахунок	Похибка, %	Експеримент	Розрахунок	Похибка, %
		2,5 м/с	12,5 м/с	22,5 м/с									
2,27	0,885	0,89	0,79	0,871	0,0006 2	0,000 4	- 0,0000 6	0,821	0,884	7,12	0,820	0,796	2,93
5,21	0,808	0,92	0,82	0,721	0,044	0,007 5	0,0001 9	0,880	0,798	10,3	0,750	0,774	3,20
11,3 4	0,788	0,73	0,89	0,692				0,910			0,741		
17,9 5	0,767	0,71	0,615	0,674	- 0,0034	0,000 3	- 0,0000 4	0,895	0,732	18,2	0,652	0,641	1,72
22,1 3	0,754	0,70	0,625	0,654				0,780			0,632		
27,7 6	0,741	0,694	0,621	0,645	- 0,0087	0,001 1	0,0000 1	0,723	0,741	2,43	0,630	0,617	2,06

Тут же наведені значення f_{vi} при швидкостях v_4 і v_5 , обчисленими за залежністю (3), а також знайдені експериментальним шляхом. Розрахункові значення задовільно збігаються з експериментальними.

ВИСНОВКИ

Зазначені вище змінення коефіцієнтів тертя руху можна пояснити сукупним впливом вказаних раніше факторів (шорсткість поверхонь, піддатливість зразка, його деформація, сили молекулярного зчеплення, тощо), також додаткових факторів, як-то вплив продуктів зносу, вологості та ін.

Наведені вище результати досліджень коефіцієнтів тертя можна використовувати для розрахунку і проектування прес-грануляторів, транспортуючих машин та іншого технологічного обладнання

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Червоткіна О. О., Олексієнко В. О. Гранулювання порошкоподібних овочів // Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: друга міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 23 листопада 2021 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. В.М. Кюрчева. – Мелітополь : ТДАТУ, 2021. С. 73-75.

2. Червоткіна О. О., Тарасенко В. Г. Гранулювання вторинних продуктів переробки рослинної сировини // Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: друга міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 23 листопада 2021 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. В.М. Кюрчева. – Мелітополь : ТДАТУ, 2021. С. 174-175.

3. Червоткіна О. О., Бойко В. С. Виробництво кормів методом екструдювання, поєданого з гранулюванням // Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: друга міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 23 листопада 2021 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. В.М. Кюрчева. – Мелітополь : ТДАТУ, 2021. С. 182-183.

4. Червоткіна О. О., Стручаєв М. І., Тарасенко В. Г. Дослідження процесу гранулювання овочевих відходів за допомогою прес-гранулятора з плоскою матрицею // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету : наукове фахове видання / ТДАТУ: гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев.- Мелітополь: ТДАТУ, 2021. – Вип. 21, т. 1.- с. 160-168.

5. Червоткіна О.О., Тарасенко В.Г. Використання в'язучих речовин при виробництві гранульованих овочів / Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 24 листопада 2020 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. В.М. Кюрчева. – Мелітополь : ТДАТУ, 2020. С. 161-163.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ СТРУМИННОГО ЗМІШУВАННЯ НАПОЇВ

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є процес струминного змішування рідких компонентів.

Предметом дослідження є вплив параметрів і режимів роботи струминного змішувача на його продуктивність.

Метою дослідження визначення оптимальних параметрів струминного змішувача води та купажного сиропу для зниження енерговитрат та підвищення якості змішування рідких компонентів при виробництві солодких на-поїв

Методи досліджень. При проведенні теоретичних досліджень були використанні сучасні моделі процесу змішування, руху потоку по змішувачу з урахуванням елементів вищої математики, фізики дискретних середовищ, теоретичної механіки, та математичної статистики. Експериментальні дослідження проводили в лабораторних умовах за традиційними та розробленими методиками. Процес руху потоку рідини в змішувачі вивчали за допомогою програмного комплексу ANSYS. Оптимальні технічні та конструктивні параметри струминного змішувача визначали методом математичного планування багатofакторного експерименту. Теоретичні розрахунки і статистичну обробку експериментальних даних проводили із застосуванням пакетів прикладних програм на ПЕОМ.

В результаті роботи визначено оптимальну відстань між соплами форсунок протитечійно-струминного змішувача з умови отримання найбільшої продуктивності і найвищого ступеня перемішування.

Основні результати досліджень:

1 – Аналітично визначено залежності продуктивності протитечійно-струминного змішувача рідких компонентів від відстані між соплами форсунок.

2 – Експериментально визначено вплив відстані між соплами форсунок на продуктивність протитечійно-струминного змішувача.

**ЗМІШУВАННЯ, ПРОТИТЕЧІЙНО-СТРУМИННИЙ ЗМІШУВАЧ,
ПАРАМЕТРИ, ВІДСТАНЬ МІЖ ФОРСУНКАМИ.**

ВСТУП

Процеси перемішування знайшли досить широке розповсюдження в різних галузях харчової промисловості, зокрема при виробництві безалкогольних напоїв. Сьогодні у технології їх виробництва спостерігається тенденція повернення до використання натуральної сировини, адже раніше напої виготовлялись на основі натуральних соків з додаванням екстрактів та концентратів настоїв різноманітних зборів лікарських трав, тобто, при виготовленні безалкогольних напоїв одним з основних процесів є перемішування рідких компонентів. З огляду на зростаючі об'єми виробництва безалкогольних на-поїв актуальними є розробка і впровадження у виробництво змішуючих апа-ратів,

які забезпечать якісне перемішування рідких компонентів при мінімальних витратах енергії і часу.

Відомі різні способи перемішування рідких компонентів. В залежності від методу підведення енергії до перемішуваних середовищ, перемішування може бути пневматичним, інерційним, в потоці рідини, циркуляційним, механічним або струминним.

Проаналізувавши різні способи перемішування рідких компонентів струминне перемішування було виділено як найбільш доцільний спосіб, адже для досягнення одного й того ж технологічного ефекту при використанні інших способів витрачається більше часу і енергії. Ступінь і ефективність перемішування в струминних апаратах дуже високі внаслідок підведення значних потужностей до невеликого об'єму. В струминних апаратах немає ніяких рухомих механізмів, що говорить про їх надійність. Перемішування здійснюється за рахунок кінетичної енергії потоків рідин. Процес перемішування відбувається у відповідній камері, завдяки турбулентності потоків рідин, що підводяться.

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводили в лабораторних умовах за традиційними та розробленими методиками. Процес руху потоків рідини у змішувачі вивчали за допомогою програмного комплексу ANSYS. Оптимальні технічні та конструктивні параметри струминного змішувача визначали методом математичного планування багатфакторного експерименту. Теоретичні розрахунки і статистичну обробку експериментальних даних проводили із застосуванням пакетів прикладних програм на ПЕОМ.

Теоретичні дослідження проводились з використанням сучасних моделей процесу змішування, руху потоку по змішувачу з урахуванням елементів вищої математики, фізики дискретних середовищ, теоретичної механіки, та математичної статистики. Аналітичні дослідження базувались на теорії процесів переносу у зустрічних струменях. Теоретичні залежності базувалися на класичних залежностях гідродинаміки.

Експериментальні дослідження проведені в Таврійському державному агротехнологічному університеті на кафедрі ОПХВ. Конструкція лабораторної установки захищена патентами України на корисну модель №№ 91740 і 90011.

Для проведення експериментальних досліджень використовувалося водопровідна вода ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості» температурою 20 °С (290 °К) і густиною 9982,3 кг/м³. Купажний сироп «Лимонад» на основі цукру 20 °С (290 °К) і густиною 1229,5 кг/м³ та концентрат на основі підсолоджувачів (аспартаму та сахарину) «Лимонад» температурою 20° С (290 °К) і густиною 1050 кг/м³.

Програмою досліджень передбачено:

1 – Аналітичне визначення залежності продуктивності протитечійно-струминного змішувача рідких компонентів від відстані між соплами форсунок.

2 – Експериментальне визначення впливу відстані між соплами форсунок на продуктивність протитечійно-струминного змішувача.

4 – Експериментальне визначення впливу відстані між соплами форсунок на якість змішування у протитечійно-струминному змішувачі.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В результаті проведених аналітичних досліджень існуючих струминних змішувачів було розроблено конструкцію протитечійно-струминного змішувача.

Схему розробленої конструкції змішувача представлено на рис. 1.

Змішувач являє собою два струминні апарати, розташовані співвісно один до одного. Вихідні циліндричні сопла цих апаратів формують зустрічні струмені рідини, які після зіткнення утворюють характерне, візуально симетричне «віяло», яке має назву пелена. Співвісні струминні апарати розташовані у камері 7, де збирається рідина і відводиться зі змішувача.

Кожний струминний апарат складається з робочого патрубку 6 та камери змішування 3. Основний компонент (вода) подається у робочий патрубок кожного струминного апарату, робоче сопло 1 яких формує струмені води. Підмішуваний компонент (сироп чи концентрат) подається з камер подачі сиропу (5) у зазор приймальної камери 2. Швидкісні потоки води на вході камери змішування захоплюють підмішуваний компонент. В камері змішування відбувається вирівнювання швидкостей води та підмішуваного компоненту. На виході з сопл камер змішування 4 відбувається зіткнення струменів змішаних компонентів.

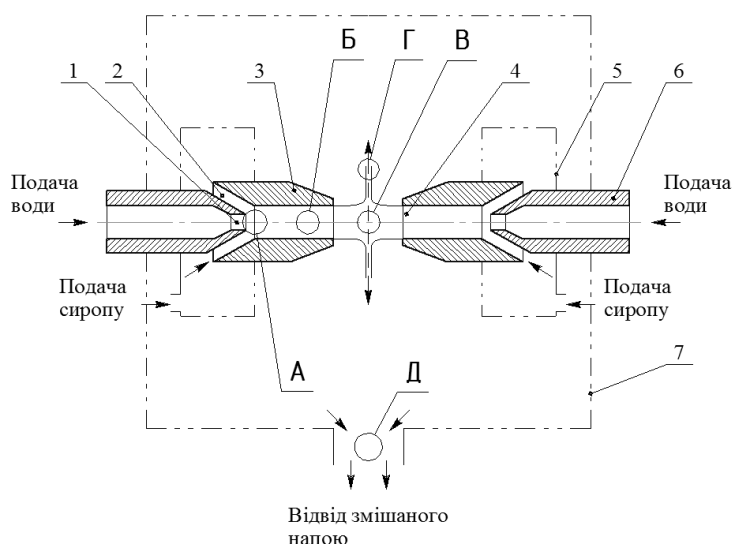


Рис. 1. Схема протитечійно-струминного змішувача рідин: 1 – робоче сопло; 2 – приймальна камера; 3 – камера змішування; 4 – сопло камери змішування; 5 – камера подачі сиропу; 6 – робочий патрубок; 7 – камера збору рідини. А, Б, В, Г, Д – зони змішування.

Змішування починається з вхідної ділянки камери змішування і відбувається безперервно до виходу суміші зі змішувача. Найбільш інтенсивно цей процес протікає при захопленні підмішуваного компонента водою. А також при формуванні потоку в камері змішування (зона А) та при русі у камері змішування (зона Б). У цих зонах відбувається змішування води та підмішуваного компонента, які подаються в один струминний апарат. При зіткненні потоків (зона В), змішуванні у пелені (зона Г) і зборі рідини та відведенні з камери збору (зона Д) відбувається змішування потоків компонентів правого та лівого струминних апаратів.

Головним чинником змішування в зонах А і Б є турбулентність і турбулентні пульсації рідин основного та підмішаного компонентів. У зонах В, Г і Д змішування відбувається за рахунок взаємопроникнення потоків, струменів і шарів компонентів.

Лабораторний зразок протитечійно-струминного змішувача показаний на рис. 2. – на станині 1, встановлено камеру змішування 2, в якій співвісно встановлені дві ідентичні форсунки 5, через патрубки подачі основного компоненту 3 у форсунки 5 під тиском подається підготовлена вода, через патрубки подачі підмішуваного компоненту 4 подається купажний сироп або концентрат при атмосферному тиску подачі. Змішаний продукт через вихідний отвір 6 відводиться у збірник.

Також було розроблено схему конструкції протитечійно-струменевого змішувача, що містить пристрій 1 для отримання суміші, патрубок для подачі першої 2 рідини, патрубок для подачі другої 3 рідини, сопло 4, камеру 5 змішування, відвідний патрубок 6 суміші рідин, у камері 5 змішування встановлено два однакових пристрої 1 для отримання суміші через її центр співвісно, соплами 4 назустріч один одному по лінії спрямованій вздовж вісі камери 5 змішування, кожен пристрій 1 для отримання суміші обладнано турбулізаторами 7 потоку у вигляді радіальних кілець.

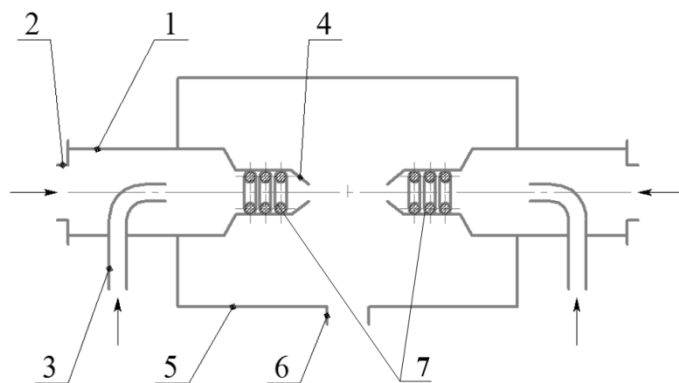


Рис. 1. Схема протитечійно-струменевого змішувача: 1 – пристрій для отримання суміші; 2 – патрубок подачі першої рідини; 3 – патрубок подачі другої рідини; 4 – сопло; 5 – камера змішування; 6 – відвідний патрубок; 7 – турбулізатор.

При подачі в кожен з двох пристроїв 1 для отримання суміші через патрубки для подачі першої 2 рідини, у патрубки для подачі другої 3 рідини відсмоктується друга рідина, проходячи повз турбілізатори 7 потоку у вигляді радіальних кілець утворюється суміш рідин, яка через сопла 4 подається камеру 5 змішування. Обладнання кожного пристрою 1 для отримання суміші турбілізаторами 7 потоку у вигляді радіальних кілець сприяє підвищенню якості попереднього перемішування рідин за рахунок підвищення рівня турбулентності. Далі суміш рідин під великим тиском, через сопла 4, розташовані співвісно назустріч одне одному по лінії спрямованій вздовж вісі камери 5 змішування та встановлених у камері 5 змішування через її центр, де при зіткненні струменів кінетична енергія рідини на виході з сопел 4 перетворюється у потенційну енергію, зі створенням інтенсивних концентрованих турбулентних тороїдальних вихорів що збільшує швидкість перемішування рідин та підвищує ефективність змішування. Через відповідний патрубок 6 суміш рідин подається в до споживача

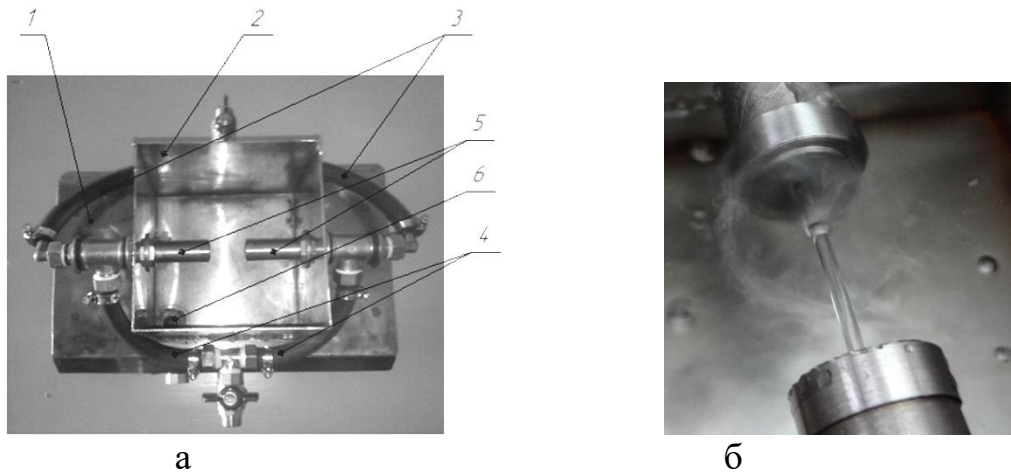


Рис. 3.Протитечійний змішувач: а - змішуючий пристрій; б - Процес змішування; 1 – станина; 2 – камера змішування; 3 –подача основного компоненту; 4 – подача підмішуваного компоненту; 5 – форсунка; 6 – вихідний отвір.

Візуальний контроль процесу змішування здійснюється крізь прозору кришку змішувача.

Визначення мінімальної відстані між соплами форсунок a_{min} з умови забезпечення найвищої продуктивності змішувача. Для отримання найбільшої продуктивності протитечійно-струминного змішувача необхідно, щоб площа циліндричної поверхні, утворена соплами форсунок, m^2 , була більше за площу отворів форсунок, тобто

$$S_2 > 2 \frac{\pi d_c^2}{4}, \quad (1)$$

Враховуючи, що $S_2 = \pi d_c a$, після перетворень отримаємо

$$a > \frac{d_c}{2}, \quad (2)$$

Тобто

$$a_{min} = 0,5d_c, \quad (3)$$

Звідки при $a \geq d_c / 2$ продуктивність протитечійно-струминного змішувача визначається за формулою:

$$Q = \mu \pi d_c^2 \sqrt{\frac{\rho_m}{2} \cdot \Delta p}, \quad (4)$$

де μ – коефіцієнт витрат (залежить від конструкції форсунки);

d_c – діаметр сопел форсунок, м.

ρ_m – густина рідини, кг/м³;

Δp – надлишковий тиск у форсунках, Па.

а при $a < d_c / 2$

$$Q = \mu \pi d_c a \sqrt{2 \rho_m \cdot \Delta p}. \quad (5)$$

Залежність продуктивності змішувача від відстані між соплами форсунок представлено на рис. 4.

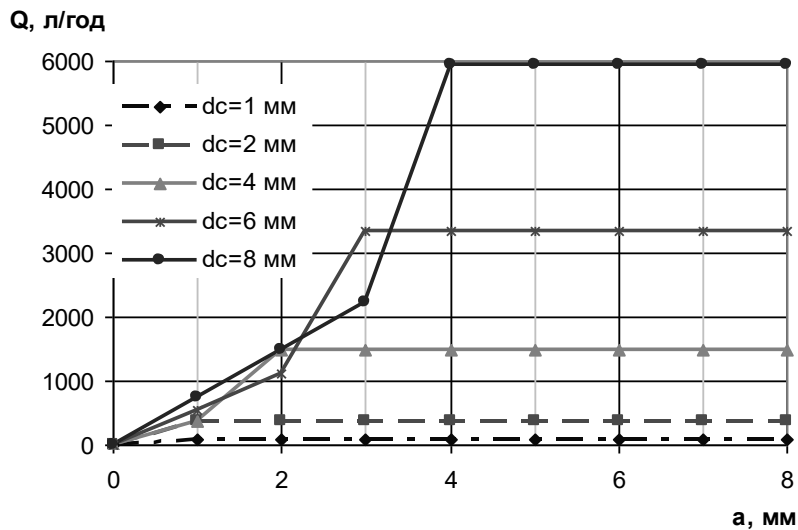


Рис. 4. Залежність продуктивності від відстані між соплами форсунок.

Одночасно зі зменшенням продуктивності змішувача при зближенні форсунок до відстані, що менше за половину діаметра сопла, змінюється швидкість струменя у момент зіткнення. При швидкість струменя перед зіткненням v_1 (приймали рівною швидкості струменя при виході з форсунки). При $a < d_c / 2$ швидкість потоку рідини до зіткнення v_3 буде менше за v_1 при незмінному значенні надлишкового тиску.

$$v_3 < v_1 \quad (6)$$

Остання нерівність витікає з умови нерозривності потоку

$$\pi d_c a v_1 = 2 \frac{\pi d_c^2}{4} v_3, \quad (7)$$

Після перетворень:

$$\frac{v_1}{v_3} = \frac{d_c}{2a}. \quad (8)$$

При умові $a < d_c / 2$ отримаємо нерівність (6), з чого витікає зменшення якості змішування, адже саме швидкість зіткнення струменів визначає ефективність перемішування компонентів.

З умови отримання високого ступеня змішування рідини швидкість у момент зіткнення повинна бути максимальною. На підставі аналізу математичних залежностей і результатів моделювання процесу струминного змішування у програмному комплексі **ANSYS** було визначено, що максимальна якість змішування досягається при $a = d_c$

Для проведення експериментальних досліджень була виготовлена експериментальна установка, загальний вид якої показані на рис. 3. Вихровий насос 1 створює необхідний тиск подачі основного компонента. Контроль тиску здійснюється за допомогою манометру 2. По каналу підводу основного компонента 3 вода надходить у протитечійно-струминний змішувач 5. Підмішуваний компонент потрапляє до змішувача з ємності 4 через канал підведення 6. Після змішування у протитечійно-струминному змішувачі змішаний продукт відводиться через канал 8. Якість змішування контролюється за допомогою кондуктометра 7

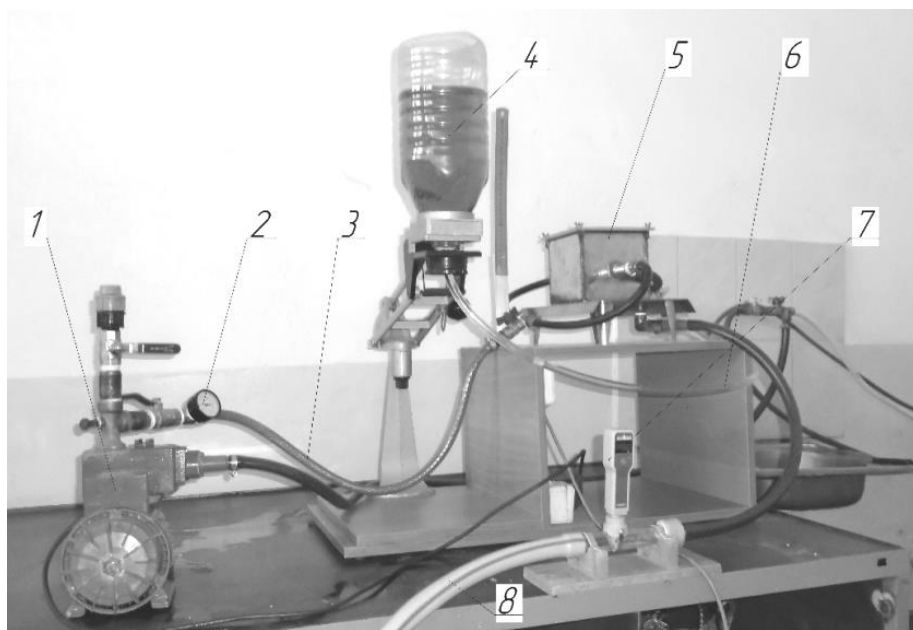


Рис. 5. Загальний вид лабораторної установки для дослідження процесу змішування. 1 – вихровий насос; 2 – манометр; 3 – канал подачі основного компонента (води); 4 – ємність з підмішуваним компонентом (сиропом); 5 – протитечійно-струминний змішувач; 6 – канал підведення підмішуваного компонента; 7 – кондуктометр; 8 – канал відведення змішаного продукту.

Результати експериментальних досліджень представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. Результати експериментальних досліджень впливу відстані між соплами форсунок на продуктивність змішувача.

Відстань між соплами форсунок, а, мм	Продуктивність змішувача, Q, л/год		
	P=1,2 атм	P=1,5 атм	P=1,8 атм
8	300	321.54	337.29
16	300	322.14	340.02
24	300	323.01	340.83
32	300	324.69	342.96
40	300	325.20	344.13
48	300	325.20	344.55
56	300	325.20	344.55

За отриманими даними побудовані залежності продуктивності змішувача при різних значеннях тиску рідини на вході у форсунку (рис. 6).

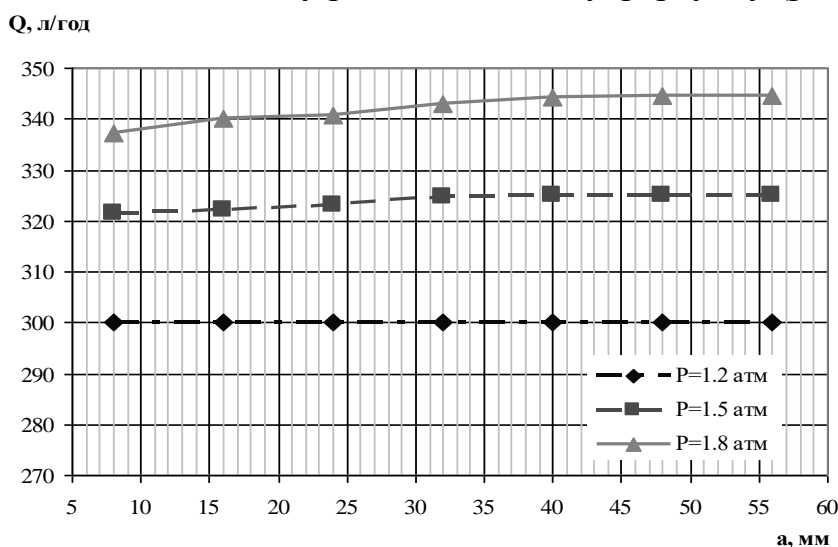


Рис. 6. Залежність продуктивності протитечійно-струминного змішувача від відстані між соплами форсунок.

Аналізуючи отримані залежності можна сказати, що при тиску подачі рідини на вході у форсунку $P=1,2$ атм із збільшенням відстані між соплами форсунок від $a=d_c$ до $a=5d_c$ об'єм змішаного продукту не змінюється.

Із збільшенням тиску подачі рідини на вході у форсунку залежності набувають іншого характеру. При тиску $P=1,5$ атм із збільшенням відстані між соплами форсунок від $a=d_c$ до $a=4d_c$ об'єм змішаного продукту збільшується майже прямолінійно. При подальшому збільшенні відстані до $7d_c$ об'єм продукту лишається незмінним.

При тиску $P=1,8$ атм із збільшенням відстані між соплами форсунок від $a=d_c$ до $a=6d_c$ об'єм змішаного продукту збільшується. При подальшому збільшенні відстані до $7d_c$ об'єм продукту лишається незмінним.

За отриманими залежностями можна відзначити, що із зменшенням відстані між форсунками від 48 мм (що дорівнює шістьом діаметрам сопла

форсунки $a=6d_c$) до 8 мм (тобто $a=d_c$) продуктивність змішувача зменшується. Це відбувається в наслідок того, що на струмінь рідини, яка витікає із сопла форсунки, діє зустрічний струмінь. Тиск, який виникає у зоні зіткнення струменів, призводить до зменшення величини перепаду тиску всередині та зовні форсунки Δp , що в свою чергу призводить до зменшення швидкості витікання рідини з форсунки.

ВИСНОВКИ

В результаті аналітичних досліджень отримана залежність, яка дозволяє визначити мінімальне значення відстані між соплами форсунок для отримання найвищої продуктивності змішувача: $a_{min}=0,5d_c$. На підставі аналізу математичних залежностей і результатів моделювання процесу струминного змішування у програмному комплексі ANSYS було визначено, що максимальна якість змішування досягається при $a=d_c$

Експериментально визначено вплив відстані між соплами форсунок на продуктивність протитечійно-струминного змішувача. Із збільшенням відстані продуктивність збільшується. Це відбувається тому, що тиск, який виникає у зоні зіткнення струменів, зменшується, а отже збільшується перепад тиску Δp на вході та виході з форсунки.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. В'юник О.В., Самойчук К.О., Ломейко О.П., Галько С.В. Теорія та практика використання струминного змішування в сільськогосподарській та харчовій галузях економіки України. Праці Таврійського ДАТУ. 2020. Вип. 20, том 2. С.55-64.

2. Спосіб змішування рідких компонентів : пат. 90011 Україна : А01J 11/00. № у 2013 13938 ; заявл. 02.12.2013 ; опубл. 12.05.2014, Бюл. № 9. 4 с

3. Пристрій для струминного змішування рідких компонентів : пат. 91740 Україна : А01J 11/00. № у 2014 02154 ; заявл. 03.03.2014 ; опубл. 10.07.2014, Бюл. № 13. 4 с.

4. Протитечійно-струменевий змішувач : пат. 147474 Україна : В01F 5/06. № у 2020 07263 ; заявл. 13.11.2020 ; опубл. 12.05.2021, Бюл. № 19. 4 с.

5. K Samoichuk, O Viunyk Methodology of conducting studies of jet mixing of liquids Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання; Вип. 21, т. 1 С. 3-10

АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РУЙНУВАННЯ ЖИРОВОЇ КУЛЬКИ МОЛОКА

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є процес струминної гомогенізації молока з роздільним подаванням жирової фази.

Предметом дослідження є технологічні, конструктивні та гідравлічні параметри процесу струминної гомогенізації молока з роздільним подаванням вершків у взаємозв'язку з енергетичними та якісними показниками.

Метою дослідження є обґрунтування параметрів та режимів роботи струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею жирової фази для отримання дисперсності молочної емульсії, на рівні технологічних вимог при мінімальних енерговитратах процесу.

Методи дослідження. Поставлені задачі вирішувались з використанням теоретичного та експериментального інструментарію. Серед теоретичних методів використовувались залежності класичної гідродинаміки, теорії затоплених струменів, граничного шару Шліхтінга, локальної ізотропної турбулентності Колмогорова-Обухова, моделювання процесу в програмному комплексі кінцево-елементного аналізу ANSYS. Експериментальні дані оброблювались з використанням методу мікрофотографування з використанням цифрової камери та обробки отриманих результатів за допомогою комп'ютерної програми аналізу зображень.

Основні результати дослідження. Руйнування жирових кульок в струминних гомогенізаторах молока відбувається в два етапи: на першому відбувається руйнування за рахунок мікропульсацій рідини, дії осциляції, руйнування крапель без вдару. На другому етапі відбувається руйнування за рахунок різниці швидкостей потоку знежиреного молока та дисперсної фази. При зниженні поверхневого натягу, що відбувається зі збільшенням температури або при додаванні емульгатору, параметри струменю вершків будуть змінюватись, що буде створювати кращі передумови для руйнування жирових кульок в ньому.

ОБґРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ, КАНАЛ ПОДАЧІ ВЕРШКІВ, КОЕФІЦІЄНТ СТРУМИННОЇ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ, РОЗДІЛЬНА ГОМОГЕНІЗАЦІЯ МОЛОКА

ВСТУП

Гомогенізація молока являє собою один з процесів, що використовується при виробництві більшості продуктів молокопереробної галузі. Але дана операція відрізняється декількома специфічними ознаками, серед яких високі енерговитрати процесу, що складають в середньому 7–8кВт·т для конструкції клапанного гомогенізатору який є найбільш поширеним та забезпечує найкращий ступінь гомогенізації [1, 2]. З іншого боку незважаючи на досить тривалу історію використання операції в технологічних процесах галузі, вчені досі не запропонували загальної теорії процесу. Існує

понад 6 гіпотез, кожна з яких претендує на роль теорії, але жодна з них не здатна вичерпно пояснити механізми за якими відбувається подрібнення жирових кульок [3]. Існуючі гіпотези являють собою підґрунття для виготовлення конструкцій на базі відповідних принципів. Однак, технічна реалізація цих конструкцій виявила такі їх недоліки як високі енергетичні витрати при досягненні меж досконалості конструкції, низьке енергозбереження та недовготривалість дисперсність жирових кульок після проведення гомогенізації.

Методи і програма досліджень

Задачами експериментальних досліджень визначено: обґрунтування характеристик для досягнення максимальної якості гомогенізації при мінімальних енерговитратах

Програмою досліджень передбачено:

- 1 – визначити швидкість руху знежиреного молока та вершків як основного фактору диспергування жирової фази молока;
- 2 – визначити вплив продуктивності та жирності вершків на якісні та енергетичні показники гомогенізатора;
- 3 – визначити вплив форми внутрішньої поверхні камери на якісні та енергетичні показники струминних гомогенізаторів;

Теоретичне та експериментальне дослідження механізмів гомогенізації молока в струминних гомогенізаторах молока з роздільною подачею вершків

Граничний шар являє собою зону біля поверхні звуження конфузора струминних гомогенізаторів молока в якому спостерігається високий градієнт швидкості в повздовжньому напрямку, а отже руйнування жирових кульок може відбуватися найбільш ефективно. Для оцінки впливу на процес руйнування граничного шару необхідно оцінити його величину, яка пов'язана з шляхом змішування та дотичними напруженнями, що виникають внаслідок дії сил опору руху жирової кульки в потоці.

Біля стінки камери відбувається ковзання рідини, в межах граничного шару дотичні сили зростають в напрямку вісі y , а за межами граничного шару дотичні сили не мають помітного впливу. Збільшення товщини граничного шару, відбувається внаслідок включення часток, загальмованих завдяки дії сил в'язкості та тертя між дрібними об'ємами потоку та частками дисперсної фази [3,6]. З іншого боку оцінити товщину граничного шару є достатньо складним завданням. Деякі джерела вказують, що за розвиненої турбулентності граничний шар може займати всю площу обмежену стінками камери [7].

Сили в'язкості, які діють в граничному шарі викликають появу дотичних напружень, які зменшують швидкість потоку дисперсійного середовища та викликають утворення вихорів. За межами граничного шару вплив в'язкості зазвичай проявляється слабо, в цьому випадку силами тертя можна знехтувати, а градієнт швидкості не досягає таких великих значень, як в граничному шарі.

Картина течії близька до тієї, яку дає ідеальна рідина з домінуючим впливом сили опору, згідно отриманого рівняння руху жирової частки (1) [4,8].

Шлях змішування як міру турбулентності запропонував Л.Прандтль як відстань, яку повинна пройти частка дисперсної фази у вихорі, виникаючому за турбулентної течії при проникненні часток зі струменю до потоку знежиреного молока, поки їх швидкості не зрівняються. Шлях змішування збільшується за мірою збільшення турбулентності, будемо оцінювати його значення в межах коливання діаметра камери гомогенізатору в місці найбільшого звуження конфузору, що змінюється в межах 2–4 мм. Величина шляху змішування $l_{зм}$ визначається емпіричною умовою теорії, запропонованої Прандтлем, згідно якої [5]

$$l_{зм} = kd_k, \quad (1)$$

де k – універсальний коефіцієнт пропорційності, що не залежить від числа Рейнольдса $k \approx 0,39$;

d_k – діаметр камери гомогенізатора в місці найбільшого звуження конфузору, при $d_k=2..4$ мм, $l_{зм}$ дорівнює відповідно 0,78...1,56 мм.

Такий характер залежності пояснюється тим, що пульсації мають більш високі значення, де вище швидкість, при цьому шлях змішування пропорційний діаметру камери конфузору в місці найбільшого звуження d_k [7, 10].

В новій теорії Прандтля, яка враховує не молекулярну структуру рідини а характеристики турбулентного руху, він визначив, що характерний масштаб пульсаційної швидкості v_y дорівнює градієнту осередненої швидкості помноженому на характерний масштаб довжини $l_{зм}$, який він назвав шляхом змішування. Градієнт швидкості в напрямку, перпендикулярному до стінок внутрішніх поверхонь конфузору має високі значення, при цьому за межами граничного шару дотичні напруження мають низькі значення [9,11]. Величину дотичних напружень можна розрахувати за формулою [12,13]

$$\tau \approx \mu_{nl} v_{nl} \sqrt{\frac{2\rho_{nl} u_c}{\pi \mu_{nl} d_k}}. \quad (2)$$

Коефіцієнт динамічної в'язкості μ_{nl} при 60°C приблизно дорівнює $7 \cdot 10^{-4}$ Па·с. Значення попередньо визначеної середньої швидкості рідини дорівнює 24,5 м/с, а дотичні напруження при діаметрі конфузора в місці найбільшого звуження 4мм складають $7,9 \cdot 10^{-5}$ Па; при діаметрі 2 мм відповідно $1,1 \cdot 10^{-4}$ Па [8,5].

В граничному шарі градієнт швидкості du/dy в напрямку, перпендикулярному до стінки є дуже великим, а в'язкість μ_{nl} як би мала вона не була оказує вагомий вплив на течію, оскільки дотичні напруження, які викликані тертям можуть приймати високі значення [1, 6]. Товщина граничного шару пропорційна до кореню квадратного з кінематичної в'язкості

$$\delta = \sqrt{\nu} = \sqrt{1,5 \cdot 10^{-6}}. \quad (3)$$

Граничний шар являє собою область руху рідини в якому величини сили тертя та інерції мають однаковий порядок, на підставі чого можна оцінити товщину граничного шару [14].

$$\delta \approx \sqrt{\frac{\pi \mu_{пл} d_k}{2 \rho_{пл} v}} \quad (4)$$

Згідно наведених формул (3) та (4) товщина граничного шару дорівнює відповідно $1,2 \cdot 10^{-3}$ та $3,8 \cdot 10^{-2} \dots 5,3 \cdot 10^{-2}$ мм. Різниця між отриманими значеннями пояснюється приблизністю розрахунку коефіцієнта динамічної в'язкості плазми молока та величини шляху змішування.

З отриманих результатів можливо зробити висновок, що діаметр конфузору в місці найбільшого звуження камери гомогенізатора повинен дорівнювати мінімально можливих значень, оскільки при цьому зростатимуть дотичні напруження, які зменшують швидкість вершків. При високих значеннях швидкості знежиреного молока виконання цієї вимоги буде створювати необхідні умови для ефективного диспергування в зоні граничного шару. Але зважаючи на незначну товщину граничного шару, в ньому подрібнюється незначна частина жирових кульок, внаслідок чого розглядати його в якості основного фактору подрібнення недоцільно [15].

Передача кількості руху викликана як тангенційними напруженнями між менш та більш рухомими шарами рідини так і турбулентним проникненням часток з струменю дисперсної фази до потоку знежиреного молока. Швидкість руху частки втягнутої до руху менше швидкості руху потоку знежиреного молока. Кожен шар рідини, приведений до руху залучає наступні шари рідини, які до цього знаходились в стані спокою. Різниця швидкостей руху крапель та знежиреного молока обумовлює появу тангенційних напружень, що викликає деформацію крапель, яка матиме достатньо високі значення для початку руйнування [14,16].

Проти деформації крапель під дією тангенційних напружень діє поверхневий натяг між фазами, який змушує краплю гранично скоротивши поверхню прийняти форму шару. Взаємодія цих сил обумовлює форму краплі та можливість її руйнування. Найбільш інтенсивне руйнування крапель відбувається в місці екстремальної різниці в швидкостях руху фаз, тобто в місці найбільшого звуження конфузору в центральній частині камери гомогенізації. При зниженні поверхневого натягу, що буде відбуватись зі збільшенням температури, довжина струменю буде збільшуватись, що буде сприяти диспергуванню молочної емульсії [17,18].

Згідно теорії гідродинамічного граничного шару достатньо великі значення дотичних напружень та сил внутрішнього тертя, які спричиняють руйнування можуть виникнути лише за наявності достатньо високих градієнтів швидкості.

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (5)$$

Високі значення градієнтів швидкості можуть виникати в двох випадках. По–перше, при русі рідини поблизу твердої поверхні, оскільки на поверхні швидкість дорівнює нулю, по–друге, поблизу зони контакту двох потоків рідини, які мають істотну різницю в швидкостях. В запропонованій

лабораторних установках струминних гомогенізаторів забезпечуються обидві умови створення великих градієнтів швидкості.

Шлях змішування зі зростанням турбулентності значно збільшується, тому тангенційні напруження та масообмін в потоці суттєво зростають [19].

$$\theta = l\rho_m^2 \left(\frac{du}{dy} \right)^2, \quad (6)$$

де θ – тангенційні напруження, за умови розвиненої турбулентності впливом ламінарного тертя можна знехтувати, тоді $\theta = du/dy$.

Критичні умови руйнування крапель визначаються значенням числа Вебера, на початку руйнування крапель. Хінце для визначення руйнування крапель пропонує використовувати відносне число Вебера та виразити його як відношення тангенційної напруги до міжфазного натягу [4,20].

$$We_{кр} = \frac{\theta d_{кр}}{\sigma}. \quad (7)$$

Збільшення критерію Вебера показує, що тангенційні напруження по відношенню до міжфазного натягу зростають, внаслідок збільшується деформація крапель. За досягнення критичних значень числа Вебера відбувається руйнування крапель. З іншого боку зростання числа Вебера веде до зменшення середнього діаметра жирових кульок та як наслідок підвищення стійкості отриманих емульсій, що відображається на збільшенні терміну придатності та енергетичної цінності продукту [21,22].

Під дією потоку знежиреного молока, який виникає внаслідок турбулентних пульсацій, збуджується осциляція крапель, яка може бути причиною їх руйнування. З теорії коливань відомо, що кінетична енергія осциляції залежить по–перше від співвідношення частоти збуджуючої сили та власної частоти коливань системи; по–друге від величини в'язкого демпфування [8,23].

Власна частота коливань краплі дорівнює

$$\omega_{кр} = \omega_{кр}^* \sqrt{1 - \delta_3}, \quad (8)$$

де $\omega_{кр}$ – частота гармонійних коливань краплі;

δ_3 – декремент затухання, що характеризує в'язке демпфування краплі.

Для частоти гармонійних коливань краплі

$$\omega_{кр}^* = 14 \left(\frac{\delta_{нл}}{(3\rho_{\epsilon} + 2\rho_{нл})d^3} \right)^{0,5}. \quad (9)$$

Безрозмірний декремент затухання для випадку осциляції рідкої краплі

$$\delta_{\zeta} = \frac{1,62(\mu_a + 2\mu_{\zeta\epsilon})}{\sqrt{\delta_{\zeta\epsilon}d(3\rho_a + 2\rho_{\zeta\epsilon})}}. \quad (10)$$

Для рідин з невеликою в'язкістю ($\mu_{\epsilon} + 2\mu_{нл} \leq 30 \cdot 10^{-3}$ Па·с) та крапель з розміром $d_{кр} > 1$ мм декремент затухання не перевищує $\delta_3 \leq 0,5$.

Характерна частота турбулентних пульсацій краплі в потоці знежиреного молока

$$\omega_m = 2\pi \sqrt{\frac{\Delta u_y^2}{d}}, \quad (11)$$

За абсолютною величиною Δu_y можна порівняти з пульсаційною складовою швидкості u' , яка коливається від діапазону значень середньої швидкості в межах $\pm 30\%$. Пульсаційні швидкості змінюються вздовж та поперек потоку та можуть набувати позитивних та від'ємних значень. Відхилення від середньої швидкості за різних значень тиску дорівнює від 16,8 м/с до 31,2 м/с. При виникненні вимушеної сили з частотою коливань краплі, відбувається явище резонансу $\omega_k = \omega_m$, коли енергія осциляцій та амплітуда коливань зростають до високих значень [7,15].

Згідно формул (8) – (11) $\omega_k^* = 9,0 \cdot 10^6$; $\delta_3 = 1,43$; $\omega_k = 5,9 \cdot 10^7$; характерна частота пульсацій краплі ω_m в залежності від значення Δu_y буде знаходитись в межах $4,7 \cdot 10^4 - 1,0 \cdot 10^5$. Отримані дані свідчать про те, що осциляція в процесі диспергування присутня, але вирішального впливу, який би відбувся за досягнення резонансу не має.

Жирова кулька, яка при перемішуванні включається до потоку знежиреного молока в умовах розвиненої турбулентності потоку та створюваних ним тангенційних напружень, спочатку розривається на циліндри, з яких в подальшому утворюються тонкі стрічки, після чого від них відриваються краплі великого розміру, які поділяються на більш дрібні. Розвиток цього процесу буде залежати від гідродинамічних параметрів потоку [24].

Механізм руйнування крапель під впливом турбулентних пульсацій зазвичай розглядають, виходячи з теорії локальної ізотропної турбулентності, розробленої А.Н.Колмогоровим та А.М.Обуховим. Сутність її в наступному: за великих значень Re на потік рідини, що рухається з деякою середньою швидкістю в камері накладаються турбулентні пульсації першого порядку, які являють собою хаотичні переміщення одне відносно другого окремих об'ємів рідини з масштабом $\lambda_l \leq l$, при швидкості цих переміщень $u_l \approx v_{zn}$ [18]. А.Н.Колмогоров, аналізуючи рух крапель в турбулентному потоці припустив, що руйнування відбувається внаслідок деформації під дією різниці динамічних напорів знежиреного молока, які перевищують сили міжфазного натягу [11]

$$\frac{C \rho_m \Delta u_y^2}{2} \geq \frac{4 \sigma_m}{d}, \quad (12)$$

де C – коефіцієнт пропорційності, наближений до одиниці;

Δu_y – різниця швидкостей знежиреного молока, які діють на відстані $y = \pm 1/3 d_k$, м/с;

σ_m – поверхневий натяг знежиреного молока, Н/м.

Значення нерівності за формулою (12) дорівнює $1,5 \cdot 10^6 \geq 1,3 \cdot 10^6$ та $5,0 \cdot 10^6 \geq 1,3 \cdot 10^6$ відповідають дійсності. Це свідчить, що вищенаведене рівняння описує умови руйнування краплі при впливі на неї динамічних напорів, в пристінних шарах рідини. Об'єм пристінних шарів є невеликим, основний відсоток жирових кульок зазнає руйнування в турбулентному ядрі потоку [6].

Розглянемо можливе руйнування жирових кульок в умовах відсутності збудження тиску для характерного часу деформації крапель та періоду власних коливань з часом перебування часток в зоні взаємодії з струменем знежиреного молока [3]. Процес руйнування крапель за відсутності зіткнення залежить від часу знаходження крапель всередині струменю

$$\delta t = d/v_{\perp}, \quad (13)$$

де v_{\perp} – швидкість руху жирових крапель в поперечному до потоку напрямку руху плазми молока, м/с.

Згідно результатів аналітичних та експериментальних досліджень найбільш близької за принципом дії конструкції струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків оптимальними значеннями швидкості знежиреного молока є 60 м/с, при цьому швидкість подачі вершків жирністю 50% через канал подачі вершків діаметром 0,7 мм складає від 20 до 30 м/с. Незважаючи на відсутність прямого впливу різниці швидкостей на середній діаметр жирових кульок та енерговитрати процесу можна констатувати, що швидкість знежиреного молока в 2-3 рази повинна перевищувати швидкість подачі вершків [9,17]. Використаємо ці дані для розрахунку можливості руйнування крапель жиру в потоці знежиреного молока без вдару [3,10].

$$We_{\perp} = \rho_i v_{\perp}^2 d / \sigma < We_{\delta} = \rho_i v_{\alpha} d / \sigma. \quad (14)$$

При виконанні умови (14) на краплю діють П-подібні гідродинамічні сили з амплітудою We_m та тривалістю дії $\theta \approx \delta t$, що виконується для процесу струминної гомогенізації де значення We_{\perp} для діапазону зміни швидкості подачі вершків коливається в діапазоні 12,4–27,9, а значення We_m складає 111,8

Час миттєвого руйнування крапель розраховується

$$t_i = d u^{-1} (\rho_a \rho_{i\bar{v}})^{0,5}. \quad (15)$$

де u – відносна швидкість руху краплі в потоці знежиреного молока, $u = (v_{\perp}^2 + v_{zn}^2)^{0,5}$.

Відносна швидкість коливається в діапазоні 63–67 м/с. Час миттєвого руйнування крапель (згідно 15), який знаходиться в діапазоні значень $4,7 \cdot 10^{-5}$ – $4,4 \cdot 10^{-5}$ с та періоду власних коливань краплі, що знаходиться в межах $3,5 \cdot 10^{-10}$ – $7,9 \cdot 10^{-10}$ с з часом перебування крапель в зоні руйнування, який складає в залежності від швидкості вершків $1 \cdot 10^{-7}$ – $1,5 \cdot 10^{-7}$ с свідчать про те, що руйнування жирових крапель відбувається квазістатично та суттєво залежить від числа Вебера.

ВИСНОВКИ

Руйнування жирових кульок в струминних гомогенізаторах молока відбувається в два етапи: на першому за рахунок різниці швидкостей потоку знежиреного молока та струменю дисперсної фази, на другому етапі руйнування відбувається за рахунок мікропульсацій рідини, дії осциляції, руйнування крапель без вдару.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Самойчук К.О. Розробка лабораторного зразка струминного гомогенізатору з роздільною подачею вершків/ К.О. Самойчук, О.О. Ковальов. Праці ТДАТУ – Мелітополь: 2011 – 77 – 84с.

2. Дейниченко Г. В., Самойчук К.О., Ковальов О.О. Конструкції струминних диспергаторів жирової фази молока. Праці ТДАТУ. 2016. Вип. 16. Т. 1. С 219–227.

3. Самойчук К.О., Ковалев А.А. Перспективы использования струйно-щелевого диспергатора для создания тонкодисперсных эмульсий в сельском хозяйстве. Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: материалы междунар. науч.-практ. конф. Минск: БГАТУ, 2019 Ч2. С 188-190.

4. Kovalyov, A. Experimental investigations of the parameters of the jet milk homogenizer with separate cream supply [Text] / A. Kovalyov, K. Samoichuk, N. Palyanychka, V. Verkhohantseva, V. Yanakov // Technology audit and production reserves. - 2017. - № 3/3 (35). –pp 33-39.

5. K. Samoichuk, A. Kovalyov, V. Oleksiienko, N. Palianychka, D. Dmytrevskiy, V. Chervonyi, D. Horielkov, I. Zolotukhina, A. Slashcheva. Determination of fat milk dispersion quality in the jet-slot type milk homogenizer. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. № 5/11 (107). pp 16–24.

6. Самойчук К.О., Ковальов О.О., Борохов І. В., Паляничка Н.О. Аналітичні дослідження енергетичних показників і параметрів якості струминно-щільового гомогенізатора молока. Праці ТДАТУ. 2019. Вип.19. Т.1.С. 3–18.

7. Самойчук К.О. Використання нормалізації у струминному гомогенізаторі молока з роздільною подачею вершків / К.О. Самойчук, О.О. Ковальов// Праці ТДАТУ.: Мелітополь – 2014. – Вип.14, Т.1. – С. 37 – 45.

8. Самойчук К.О., Ковальов О.О. Визначення координат зони подачі вершків у струминному гомогенізаторі молока з роздільною подачею жирової фази / Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 24 листопада 2020 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. В.М. Кюрчева. – Мелітополь : ТДАТУ, 2020. С. 37-39. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/ophv/wp-content/uploads/sites/13/11.pdf>

9. Самойчук К.О., Ковальов О.О. Підвищення енергоефективності гомогенізації при використанні струминно-щілинного диспергатора молока / Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 24 листопада 2020 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. В.М. Кюрчева. – Мелітополь : ТДАТУ, 2020. С. 46-48. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/ophv/wp-content/uploads/sites/13/14.pdf>

10. Самойчук К. О., Серий І. С., Ковальов О. О. Розробка промислового зразку та оцінка економічної ефективності впровадження струминно-щілинного гомогенізатора молока //Праці Таврійського державного агротехнологічного

університету : наукове фахове видання / ТДАТУ, гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев.- Мелітополь: ТДАТУ, 2020. - Вип. 20, т. 1. с. 15-25.

11. K. Samoichuk, A. Kovalyov, V. Oleksiienko, N. Palianychka, D. Dmytrevskiy, V. Chervonyi, D. Horielkov, I. Zolotukhina, A. Slashcheva. Elaboration of the research method for milk dispersion in the jet slot type homogenizer. EUREKA: Life Sciences». 2020. No. 5. 51–59 pp.

12. Вступ до фаху: Конспект лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / Ковальов О.О., Самойчук К.О., Олексієнко В.О., Паляничка Н.О., Петриченко С.В., Верхоланцева В.О., Колодій О.С.: ТДАТУ. – Мелітополь, 2021. – 180 с.

13. Основи розрахунку та конструювання обладнання переробних і харчових виробництв: підручник / ТДАТУ: К. О. Самойчук, В. С. Бойко, В. О. Олексієнко та ін. – Мелітополь: Вид. «ММД», 2020. – 428с.

14. Інноваційні технології та обладнання галузі. Переробка продукції тваринництва: посібник-практикум / К. О. Самойчук, С. В. Кюрчев, Н. О. Паляничка, В. О. Верхоланцева, С. В. Петриченко, О. О. Ковальов: ТДАТУ. – Мелітополь: видавничо-поліграфічний центр «Forward press», 2020. – 250 с.

15. Самойчук К.О., Ковальов О.О. Визначення координат зони подачі вершків у струминному гомогенізаторі молока з роздільною подачею жирової фази / Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 24 листопада 2020 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. В.М. Кюрчева. – Мелітополь : ТДАТУ, 2020. С. 37-39. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/ophv/wp-content/uploads/sites/13/11.pdf>

16. Самойчук К.О., Ковальов О.О. Підвищення енергоефективності гомогенізації при використанні струминно-щілинного диспергатора молока / Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 24 листопада 2020 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. В.М. Кюрчева. – Мелітополь : ТДАТУ, 2020. С. 46-48. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/ophv/wp-content/uploads/sites/13/14.pdf>

17. Ковальов О.О., Колодій О.С. Експериментальне визначення коефіцієнту витрат струминних диспергаторів жирової фази молока / Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 24 листопада 2020 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. В.М. Кюрчева. – Мелітополь : ТДАТУ, 2020. С.53 -55. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/ophv/wp-content/uploads/sites/13/17.kovalov-o.o.-kolodij-o.s.eksperymentalne-vyznachennja-koefficientu-vytrat-strumynnyh-dysperhatoriv-zhyrovoyi-fazy-moloka.pdf>

18. Самойчук К.О. Механізми диспергування жирових кульок в струминному гомогенізаторі молока/ К.О. Самойчук, О.О. Ковальов // Збірник праць XVI Міжнародної наукової конференції «Удосконалення процесів і обладнання харчових та хімічних виробництв», ОНАХТ : Одеса. – 2016. – С. 81–85. (5–9 вересня 2016 р.)

19. Ковальов О.О., Колодій О.С. Експериментальне визначення коефіцієнту витрат струминних диспергаторів жирової фази молока / Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 24 листопада 2020 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. В.М. Кюрчева. – Мелітополь : ТДАТУ, 2020. С.53 -55.URL: <http://www.tsatu.edu.ua/ophv/wp-content/uploads/sites/13/17.kovalov-o.o.-kolodij-o.s.eksperymentalne-vyznachenja-koefficientu-vytrat-strumynnyh-dysperhatoriv-zhyrovoyi-fazy-moloka.pdf>

20. Самойчук К. О., Ковальов О. О. Шляхи підвищення якості диспергування в клапанних гомогенізаторах молока // Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: друга міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 23 листопада 2021 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. В.М. Кюрчева. – Мелітополь : ТДАТУ, 2021. С. 26-28.

21. Ковальов О. О., Самойчук К. О., Олексієнко В. О. Порівняльна оцінка ефективності впровадження струминно-щілинного гомогенізатора // Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: друга міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 23 листопада 2021 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. В.М. Кюрчева. – Мелітополь : ТДАТУ, 2021. С. 38-40.

22. Ковальов О. О., Самойчук К. О., Тарасенко В. Г. Процеси, які відбуваються в зоні граничного шару струминно – щілинного гомогенізатора молока // Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: друга міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 23 листопада 2021 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. В.М. Кюрчева. – Мелітополь : ТДАТУ, 2021. С. 48-51.

23. A. Kovalev Determination of the coefficient of the injector-slot milk homogeneity of milk with separate giving of cream // Інноваційні технології в агропромисловому комплексі: матеріали I Всеукраїн. Наук.-практ. Інтернет-конференції (Мелітополь, 01-30 вересня 2020 р.) / ТДАТУ: ред.. кол. В.М. Кюрчев, В.Т. Надикто. – Мелітополь: ТДАТУ, 2020. – С. 63-65.

24. Ковалев А.А. Перспективи струйно-щелевого гомогенізатора молока // Інноваційні технології в агропромисловому комплексі: матеріали I Всеукраїн. Наук.-практ. Інтернет-конференції (Мелітополь, 01-30 вересня 2020 р.) / ТДАТУ: ред.. кол. В.М. Кюрчев, В.Т. Надикто. – Мелітополь: ТДАТУ, 2020. – С. 66-69.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ МОЛОКА В КЛАПАННИХ ГОМОГЕНІЗАТОРАХ

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є процес клапанної гомогенізації молока.

Предметом дослідження є технологічні та конструктивні параметри клапанного гомогенізатора молока

Метою дослідження є підвищення ефективності клапанної головки гомогенізатора за рахунок використання зустрічних струменів для забезпечення середнього діаметру жирових кульок після диспергування на рівні технологічно обумовлених значень та визначення потужності пристроїв для проведення гомогенізації.

Методи дослідження. Для моделювання гідродинамічних процесів використано програмний комплекс кінцево-елементного аналізу ANSYS завдяки можливості оперування великою кількістю параметрів, а також високою точністю результатів.

Геометрична параметризована модель камери гомогенізації, потоку знежиреного молока та струменя вершків камери струминного гомогенізатора з роздільною подачею вершків була створена у програмі Solid Works та інтегрована у програмний Комплекс ANSYS. Для моделювання в ANSYS як змінні фактори, що визначають якість процесу були виділені: тиск молока на вході в головку; відстань між соплами та ширина кільцевих сопел.

Властивості рідини та тиск є не змінними для усіх подальших розрахунків, а форма деталі буде змінюватись враховуючи недоліки попередньої деталі.

Експериментальні дані оброблювались за допомогою методів математичної статистики при використанні мікроскопу з веб-камерою та персонального комп'ютера з використанням табличного процесора Microsoft Excel та програмного забезпечення Mathcad.

Основні результати досліджень:

В роботі наведені теоретичні залежності для визначення основних параметрів диспергування у розробленому пристрої. Обґрунтовано методику проведення експерименту, розроблений пристрій для проведення експериментальних досліджень

Проведені експериментальні дослідження, що дозволили обґрунтувати оптимальні параметри процесу диспергування.

ЖИРОВА КУЛЬКА, КЛАПАННА ГОЛОВКА ГОМОГЕНІЗАТОРА, СТУПІНЬ ДИСПЕРГУВАННЯ, ЗУСТРІЧНІ СТРУМЕНІ.

ВСТУП

Процес приготування однорідних за складом композицій з дисперсних матеріалів шляхом їх гомогенізації в апаратах різних типів широко використовується у молочній промисловості. Гомогенізоване молоко має низку

переваг перед незбираним: поліпшені сенсорні та смакові якості, краще засвоєння та менші втрати молочного жиру тощо. Тому гомогенізація молока стала нормативним процесом у більшості сучасних технологічних схем виробництва молочних продуктів: питного стерилізованого та пастеризованого молока, кисломолочних продуктів, морозива, молочних консервів, сиру.

З середини ХХ століття у виробництві для гомогенізації переважно використовувались клапанні гомогенізатори. Незважаючи на їх очевидні недоліки (велике питоме споживання енергії - 6,5...7,6 кВт/т, значна вартість, інтенсивне спрацювання деталей), такі машини є найбільш розповсюдженими і на сучасних підприємствах. Тому актуальним і важливим є необхідність ґрунтовного дослідження механізмів подрібнення жирової фази молока для розробки нових, більш ефективних способів гомогенізації з метою зменшення енергоємності процесу гомогенізації та збільшення ступеня диспергування молочного жиру.

Методи і програма досліджень

Для одержання теоретичних залежностей параметрів імпульсного гомогенізатора використовували класичні закони гідродинаміки та комп'ютерного моделювання з застосуванням програми Autodesk 3ds Max та універсальної програмної системи кінцево-елементного аналізу Ansys Workbench. Визначення якості гомогенізації молока проводили з використанням методу вимірювання під оптичним мікроскопом разом з мікрофотографуванням і комп'ютерним аналізом даних.

Експериментальні дані оброблювали за допомогою методів математичної статистики та персонального комп'ютера з використанням табличного процесора Microsoft Excel та програмного забезпечення Mathcad.

Дослідження проводили в лабораторних умовах за традиційними та розробленими методиками.

Програмою досліджень передбачено:

1 – дослідити вплив амплітуди коливання поршня-ударника, частоти коливання, подачі і температури молока на ступінь гомогенізації та перевірити адекватність встановленої аналітично залежності між ними;

2 – дослідити вплив амплітуди коливання поршня-ударника, частоти коливання, подачі на енерговитрати при процесі імпульсної гомогенізації та ступінь гомогенізації; перевірити адекватність встановленої аналітично залежності між ними;

3 – визначити характеристики дисперсності жирових кульок молока до та після імпульсної гомогенізації і порівняти їх з дисперсністю жиру в молоці після його обробки на клапанному гомогенізаторі.

Гомогенізація молока є важливим етапом переробки молока у молочній промисловості. Гомогенізація молока – це процес дроблення жирів молока і їх рівномірний розподіл по всьому об'єму рідини. Гомогенізація підвищує термін зберігання молочних продуктів, підвищує стійкість при транспортуванні, покращує смакові якості та засвоюваність молока організмом людини. Для

гомогенізації молока на підприємствах переважно використовуються гомогенізатори клапанного типу. Принципом роботи клапанного гомогенізатора є продавлювання молока під тиском через кільцевий канал між сідлом і клапаном у клапанній голівці, максимальна ефективність досягається при тиску 25 МПа.

Клапанні гомогенізатори мають такі плюси: високий ступінь гомогенізації молока 0,75 мкм, високий механічний коефіцієнт корисної дії (ККД). Також вони мають ряд недоліків, таких як: високі енерговитрати 7-8 кВт · год/т, складність обслуговування, висока ціна, висока металомісткість, великі розміри, високе спрацювання деталей клапанної головки та плунжерного насосу. Враховуючи недоліки клапанних гомогенізаторів проводились дослідження по розробці нових гомогенізаторів: роторно-пульсаційний, струминний гомогенізатор з роздільною подачею вершків, пульсаційно-поршневий гомогенізатор, пульсаційний апарат з ротором, що вібрує. Данні машини дозволяють зменшити енерговитрати до 1 кВт, але ступінь гомогенізації у таких апаратах менший ніж у клапанних гомогенізаторів.

Серед запропонованих альтернатив є апарат протиточно-струминної гомогенізації. Суть протиточно-струминної гомогенізації полягає у дробленні жирової фази молока за рахунок зіткнення двох струменів. Такий апарат забезпечує ступінь гомогенізації як у клапанних гомогенізаторів, але при цьому має менші енерговитрати.

Для забезпечення найбільшої продуктивності і найкращого ступеня гомогенізації у протиточно-струминних гомогенізаторах повинні виконуватись ряд вимог: відстань між форсунками повинна бути рівною половини діаметра сопла, швидкість молока при виході із форсунок у зустрічних струменів повинна бути однаковою, кут між форсунками повинен дорівнювати 180°.

Протиточно-струминна гомогенізація пропонувалась також у вигляді протиточно-струминної головки для клапанного гомогенізатора. У цьому випадку пропонується замінити клапанну головку на протиточно-струминну (рис. 1), вона може працювати при тиску 5МПа. Така модернізація має такі плюси: зниження енергозатрат, зниження зносу деталей плунжерного насосу за рахунок зниження робочого тиску, менший знос робочих поверхонь голівки гомогенізатора.

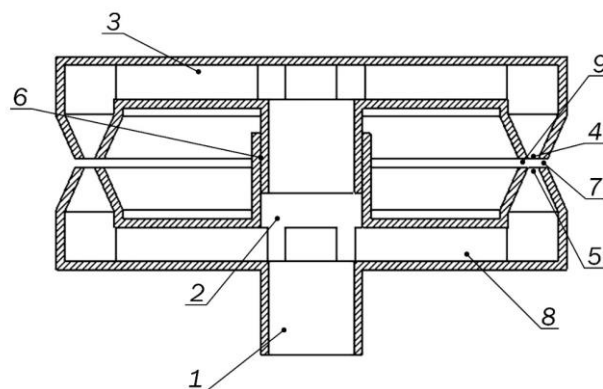


Рис. 1. Схема протиточно-струминної головки клапанного гомогенізатора: 1 – канал подачі, 2 – центральний клапан, 3 – клапан, 4 – кільцеві канали клапана, 5 – кільцевий канал сідла, 6 – ущільнюючі кільця, 7 – зовнішня щілина між клапаном та сідлом, 8 – сідло, 9 – внутрішня щілина між клапаном та сідлом.

Потік початкової грубодисперсної емульсії через канал подачі 1 під тиском надходить до центрального каналу 2, тисне на клапан 3 і, підіймає його на певну висоту, в результаті чого утворюється щілина між сідлом 8 і клапаном 3. Після проходження центрального каналу 2 емульсія розділяється на два протилежно направлені потоки. При проходженні потоків емульсії через кільцеві канали клапана 4 і сідла 5 відбувається їх зіткнення та часткова гомогенізація, а саме взаємопроникнення дисперсних часток одного потоку у дисперсійну фазу іншого, завдяки чому утворюється різниця швидкостей між дисперсною часткою та дисперсійною фазою, необхідна для руйнування дисперсної частки. Після зіткнення двох протилежно направлених потоків емульсія розділяється і проходить через зовнішню 8 та внутрішню 9 кільцеву щілину між сідлом 8 та клапаном 3, де утворюється високий градієнт швидкості потоку, завдяки чому відбувається "просковзування" дисперсної частки відносно дисперсійної фази емульсії (утворюється різниця швидкостей між дисперсною часткою та дисперсійною фазою) і відбувається остаточна гомогенізація емульсії та відведення її з головки гомогенізатора.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для моделювання гідродинамічних процесів використано програмний комплекс кінцево-елементного аналізу ANSYS завдяки можливості оперування великою кількістю параметрів, а також високою точністю результатів.

Геометрична параметризована модель камери гомогенізації, потоку знежиреного молока та струменя вершків камери струминного гомогенізатора з роздільною подачею вершків була створена у програмі Solid Works та інтегрована у програмний Комплекс ANSYS. Для моделювання в ANSYS як змінні фактори, що визначають якість процесу були виділені: тиск молока на вході в головку; відстань між соплами та ширина кільцевих сопел.

Властивості рідини та тиск є не змінними для усіх подальших розрахунків, а форма деталі буде змінюватись враховуючи недоліки попередньої деталі.

Тиск для розрахунків 5МПа. У таблиці 1 наведені параметри рідини які будуть використовуватись у розрахунках.

Таблиця 1 – Параметри молока для розрахунків

Густина, кг/м ³	1025
Теплопровідність Вт/(м·град)	0.19
В'язкість молока, Па·с	0.0018
Температура С°	60

Для проведення першого розрахунку у Ansys використовується модель яка зображена на рис.1.Результатом розрахунку є схема тиску (рис.2(a)) і схемашвидкості рідини (рис. 2(б)) у голівці.

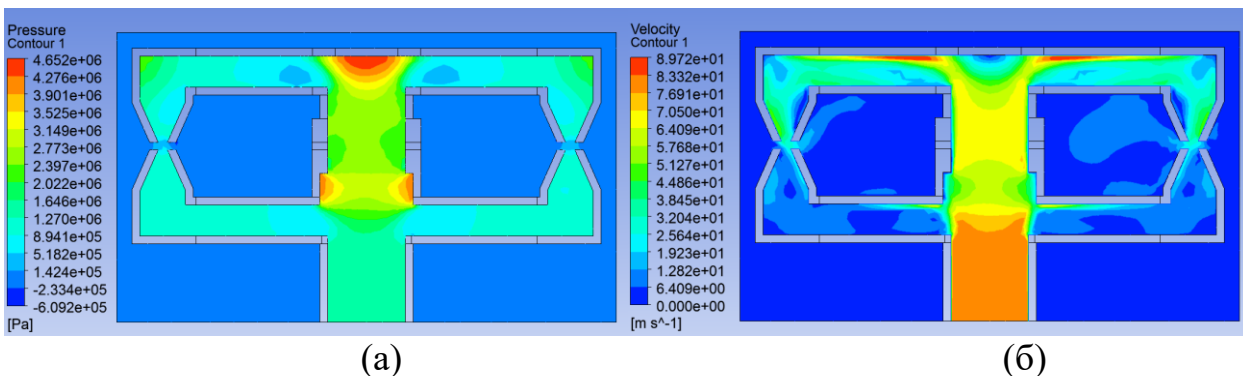


Рис. 2 – Схема тиску і швидкості рідини у протиточно-струминній голівці

На схемі можна відмітити зони підвищеного тиску у центральному клапані і стінці клапану, тиск у цих зонах досягає 4,6 МПа, тиск у кільцевих каналах сідла і клапану однаковий – 2,8 МПа.

Швидкість у різних зонах голівки: 20м/с у кільцевих каналах сідла, 40 м/с у кільцевих каналах клапану, 76 м/с у каналі подачі, 55-70 м/с у центральному клапані. Швидкість у різних зонах голівки сильно відрізняється, особливо потрібно відмітити різницю швидкостей 1/2 у кільцевих каналах. При такій різниці швидкостей зустрічних струменів не вдасться досягти очікуваного ступеню гомогенізації.

Для збільшення швидкості у сідлі збільшено діаметр каналу подачі рис.

3.

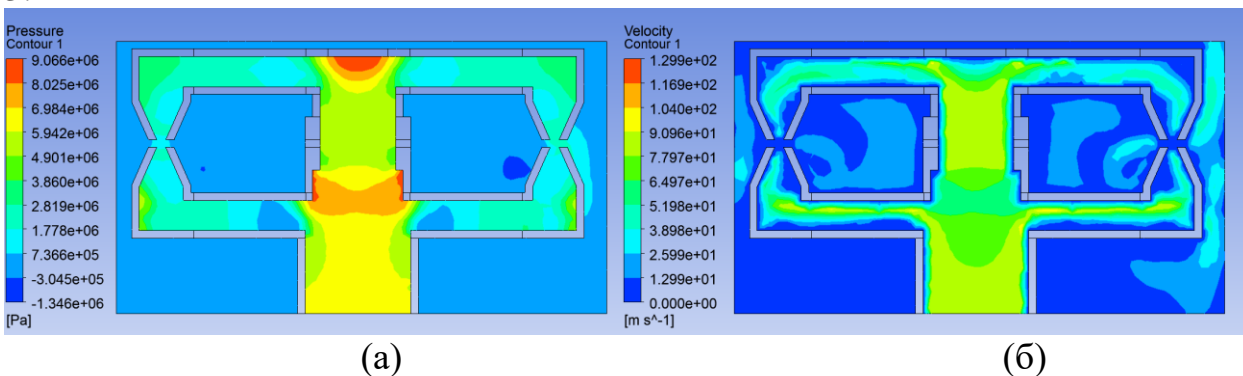


Рис. 3 – Схема тиску і швидкості у протиточно-струминній голівці

Збільшення діаметру каналу подачі привело до збільшення швидкості рідини у сідлі голівки, швидкість у кільцевих каналах клапану і сідла – 35-40 м/с. Зони підвищеного тиску відповідні першому розрахунку, тиск у каналі подачі – 7 МПа, центральному каналі – 60 МПа, кільцевих каналах сідла і клапану однаковий – 3 МПа[9].

Отже у другій моделі вдалось вирівняти швидкість рідини у голівці, її недоліками є зони підвищеного тиску на стінці клапану і у центральному каналі на входженні клапану у сідло.

Для усунення зони підвищеного тиску у центральному каналі було змінено входження сідла у клапан шляхом збільшення діаметру центрального каналу клапану рис. 4. Форма голівки має багато прямих кутів, додання закруглень покращить гідродинамічні параметри голівки[10].

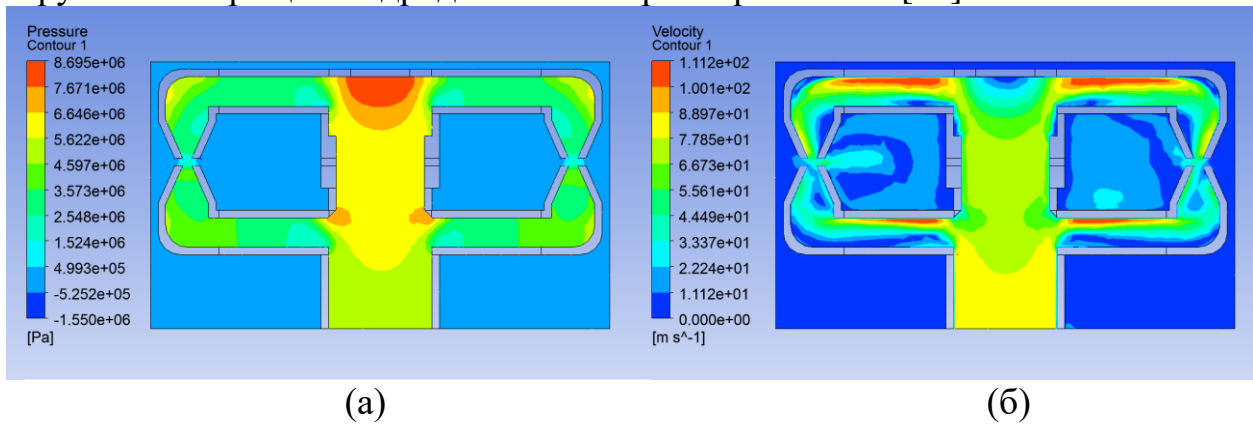


Рис. 4 – Схема тиску і швидкості у протиточно-струминній голівці

У третій моделі вдалось локалізувати зону підвищеного тиску у центральному каналі. Зона підвищеного тиску на стінці клапану збільшилась. Тиск у кільцевих каналах клапану і сідла збільшився до 3,5-4 МПа. Швидкість у кільцевих каналах сідла – 45 м/с, а у каналах клапану – 55 м/с. Для забезпечення однакової швидкості рідини у клапані і сідлі зроблено фаски на виходах з каналу подачі і центрального каналу рис. 5.

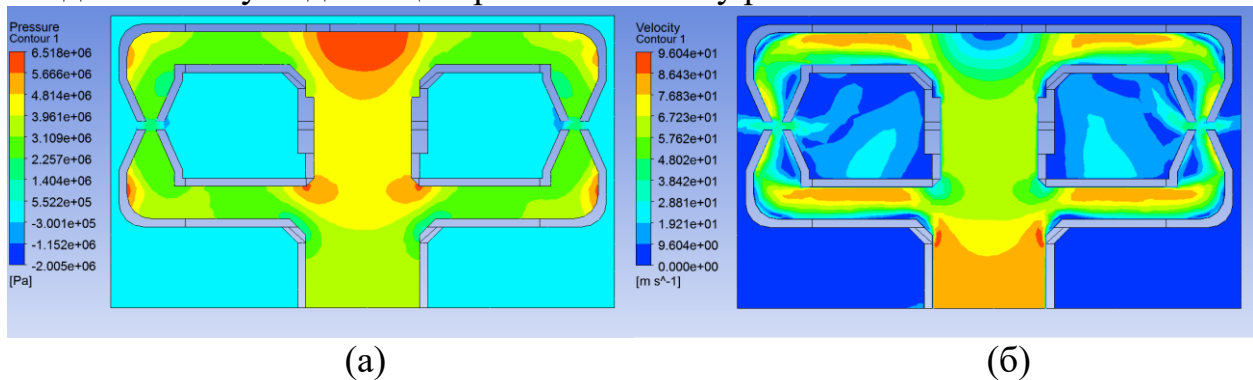


Рис. 5 – Схема тиску і швидкості у протиточно-струминній голівці

Додання фасок вирівняло швидкість у кільцевих каналах сідла і клапана – 55 м/с. Максимальний тиск у зонах підвищеного тиску зменшився з 8,6 МПа до 6,5 МПа, зона підвищеного тиску на стінці клапану збільшилась, для її усунення стінка клапану зроблена у формі конусу рис.6.

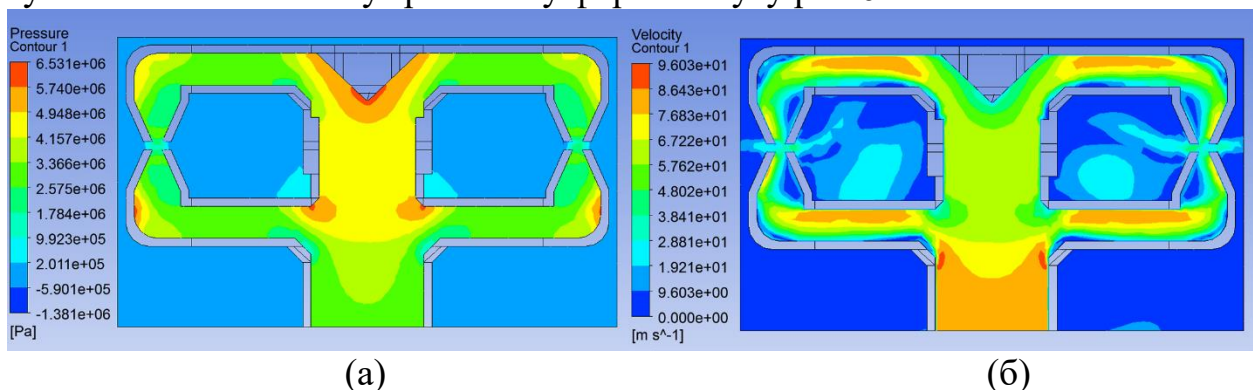


Рис. 6 – Схема тиску і швидкості у протиточно-струминній голівці

Зміна форми стінки клапана привела до зменшення зони підвищеного тиску.

ВИСНОВКИ

Для створення однорідної емульсії жирових компонентів використовують диспергатори. Середній розмір часток жиру у таких машинах дорівнює близько 2 мкм (на відміну від гомогенізаторів – 1,0 мкм і менше). Підвищення ступеня дисперсності позитивно впливає на засвоювання жиру організмом людини і на органолептичні показники продукту.

Проаналізувавши механізми диспергування у існуючих машинах, можна зробити висновок, що вирішальним фактором є швидкість жирової кульки відносно дисперсійного середовища.

Критерієм руйнування прийнято критерій Вебера. Отримано математичні залежності для визначення: продуктивності диспергатора; витрат енергії на процес диспергування; діаметру кільцевого отвора введення жиру; розміри звуження каналу.

Для проведення експериментальних досліджень процесу диспергування молока розроблено схему та виготовлено експериментальний пристрій. Обґрунтовано вибір вимірювальних пристроїв, встановлені межі варіювання факторів.

Проведені експериментальні дослідження дозволяють стверджувати, що у розробленому диспергаторі при тиску 5 МПа досягається диспергування жирової фази до середнього розміру часток біля 1 мкм, що недосяжно у звичайних диспергаторах, і є можливим лише в клапанних гомогенізаторах при набагато більших енерговитратах.

Під час руху до кільцевих каналів, на виході з яких відбувається гомогенізація, швидкість потоку зменшується в 2–4 рази і відрізняється в зустрічних потоках у 2 рази.

Зона максимальної швидкості потоку рідини концентрується переважно в каналі подачі. При виході з нього вона починає різко зменшуватися. Таким чином, під час руху до кільцевих каналів, на виході з яких відбувається гомогенізація, швидкість потоку зменшується в 2–4 рази і відрізняється в зустрічних потоках у 2 рази. Для ефективної гомогенізації потоки повинні мати однакову швидкість, для чого необхідно збільшити діаметр каналу подачі емульсії в головку.

Представлена конструкція протиточно-струминної головки гомогенізатора має потенціал зменшення питомих енерговитрат у 3 – 5 разів. При такому вдосконаленні відсутня необхідність у закупівлі нового обладнання, а вимагає лише заміни головки клапанного гомогенізатора. Тому описане удосконалення є економічно вигідним на підприємствах де використовуються клапанні гомогенізатори.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Самойчук К.О. Обґрунтування параметрів та режимів роботи протитечіно-струменевого гомогенізатора молока: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.18.12. Донецьк, 2008. – 20 с.
 2. Drankhar P. Homogenization fundamentals. IOSR Journal of Engineering. 2014. Vol. 4, № 5. P. 2-8. URL: [http://www.iosrjen.org/Papers vol4_issue5%20 \(part-4\)/ A04540108.pdf](http://www.iosrjen.org/Papers%20vol4_issue5%20(part-4)/A04540108.pdf) (Last accessed: 28.05.2019).
 3. Гвоздєв О. В Пошук конструктивного рішення імпульсного гомогенізатора молока / О. В. Гвоздєв, Н. О. Паляничка, В. М. Яворницький // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, 2008. – Вип.8, т.7 – С. 28–32.
 4. Фиалкова Е.А. Гомогенизация. Новый взгляд: монография–справочник / Е. А.Фиалкова. – СПб: ГИОРД, 2006. – 392с.
 5. Нужин Е.В. Гомогенизация и гомогенизаторы: монография / Е. В. Нужин, А. К. Гладушняк. – Одесса: Печатный дом, 2007. – 264 с.
 6. Конюхов А. В. Основы анализа конструкций в Ansys / А. В. Конюхов. – Казань, 2001. – 102 с.
 7. Дейниченко Григорій Вікторович, Султанова Валентина Олександрівна, Ялпачик Федір Юхимович, Самойчук Кирило Олегович / Головка гомогенізатора/ Пат. UA106521.
 8. Самойчук К.О., Удуд В.І. Застосування протитечіноструминної гомогенізації для вдосконалення процесу переробки молока / Самойчук К.О., Удуд В.І. // Праці третьої міжнародної практичної конференції – Харків – Мелітополь – Кирилівка, Україна 2019. – 79 с.
 9. Малахов Н. Н. Исследование механизма дробления капель и совершенствование гомогенизаторов молока / Н. Н. Малахов, М. Н. Орешина // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2000. – №12. – С. 28 – 30.
 10. Нужин Е. В. Интенсификация гомогенизации за счет высокочастотных колебаний / Е. В. Нужин // Вибрации в технике и технологиях. – 2002. - № 3/24. – С. 62 – 64.
 11. Самойчук К. О. Обґрунтування параметрів та режимів роботи протитечіно-струменевого гомогенізатора молока: дис. канд. техн. наук : 05.18.12 / К. О. Самойчук. – Донецьк, 2008. – 155 с.
 12. Лукасік Кшиштоф. Науково-технічні основи підвищення ефективності роботи та довговічності клапанних диспергаторів: Автореф. дисертації д-ра техн. наук 05.18.12/ Національний університет харчових технологій – К.: 2003 – 31 с.
-