

УДК 637.2
№ держреєстрації 0116U002729
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

Результати роботи
розглянуто НТР
протокол № __
від " __ " _____ 2019 р.

"ЗАТВЕРДЖУЮ"
Директор НДІ МЗПУ
Чл.-кор. НААНУ, д.т.н., проф.
_____ В.Т.Надикто
"_____" _____ 2019 р.

ЗВІТ
про науково-дослідну роботу
(проміжний)

Програма №0116U002729
Розробка технологій і технічних засобів для переробки і зберігання
сільськогосподарської продукції та процесів і обладнання харчових
виробництв

Директор НДІ МЗПУ
д.т.н., проф.

_____ В.Т. Надикто

Науковий керівник
д.т.н., доц.

_____ К.О. Самойчук

Список виконавців програми №0116U002729

- | | | |
|---|--|--|
| 1 | Керівник програми
д.т.н., завідувач кафедри
ОПХВ ім. проф. Ф.Ю. Ялпачика
к.т.н., доц. | Самойчук К.О.
(розділ 1, 2)

Паляничка Н.О.
(розділ 1) |
| 2 | асистент | Ковальов О.О.
(розділ 1) |
| 3 | асистент | В'юнік О.В.
(розділ 2) |
| 3 | к.т.н., доц. | Стручаєв М.І.
(розділ 3) |
| 4 | к.т.н., доц. | Тарасенко В.Г.
(розділ 3) |
| 5 | к.т.н., доц. | Ломейко О.П.
(розділ 4) |
| 6 | д.т.н., проф. | Кюрчев С.В.
(розділ 5) |
| 7 | к.т.н., доц. | Верхоланцева В.О.
(розділ 5) |
| 8 | к.т.н., доц. | Олексієнко В.О.
(розділ 6) |
| 9 | інженер | Харитоновна Г.І.
(розділ 6) |

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	3
1 ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СТРУМІННО-ЩІЛИННОГО ГОМОГЕНІЗАТОРА МОЛОКА З РОЗДІЛЬНОЮ ПОДАЧЕЮ ВЕРШКІВ	5
1.1 Методи і програма досліджень	7
1.2 Обґрунтування схеми та конструкції експериментальної установки	8
1.3. Результати досліджень струмінної гомогенізації	9
Висновки	24
Перелік опублікованих праць за темою досліджень	24
2 ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ СТРУМІННОГО ЗМІШУВАННЯ НАПОЇВ	26
2.1 Методи і програма досліджень	27
2.2 Обґрунтування схеми та конструкції експериментальної установки	28
2.3. Результати досліджень протитечійно-струмінного змішування рідких компонентів	30
Висновки	33
Перелік опублікованих праць за темою досліджень	34
3 ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПЛІВКОВОГО ОХОЛОДЖУВАЧА НАПОЇВ	37
3.1 Методи і програма досліджень	38
3.2 Обґрунтування схеми та конструкції плівкового охолоджувача напоїв	39
3.3. Результати досліджень плівкового охолоджувача напоїв	39
Висновки	41
Перелік опублікованих праць за темою досліджень	42

4 ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ ВАКУУМНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ПЛОДІВ ЧЕРЕШНІ ТА ЇХ КОРОТКОТРИВАЛОГО ЗБЕРІГАННЯ	43
4.1 Методи і програма досліджень	44
4.2 Обґрунтування схеми експериментальної установки для вакуумного охолодження рослинної сировини	45
4.3. Результати досліджень установки для вакуумного охолодження	46
Висновки	49
Перелік опублікованих праць за темою досліджень	50
5. ОЦІНКА ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ПІСЛЯ ЗБЕРІГАННЯ У ЗЕРНОСХОВИЩІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЗВОРУШЕННЯ	51
5.1. Методи і програма досліджень	52
5.2. Обґрунтування принципової схеми зерносховища	52
5.3. Результати досліджень зерносховища	53
Висновки	57
Перелік опублікованих праць за темою досліджень	58
6 ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИСКОРЕННОГО ПРОРОЩУВАННЯ ЗЕРНА У ЦИЛІНДРИЧНОМУ БАРАБАНІ З ІОНІЗАЦІЄЮ ПОВІТРЯ	59
6.1. Методи і програма досліджень	60
6.2. Обґрунтування принципової схеми солодопророщувального барабану з плоским ситом	63
6.3. Результати досліджень солодопророщувального барабану з плоским ситом	64
Висновки	65
Перелік опублікованих праць за темою досліджень	66

РЕФЕРАТ

Звіт з НДР: 60 стор, 37 рисунків, 60 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:

- обґрунтування параметрів струминно-щілинного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків;
- оптимізація параметрів струминного змішування напоїв;
- обґрунтування параметрів плівкового охолоджувача напоїв
- обґрунтування параметрів і режимів вакуумного охолодження плодів черешні та їх короткотривалого зберігання;
- оцінка зернових культур після зберігання у зерносховищі із застосуванням зворушення;
- обґрунтування технологічних параметрів прискореного пророщування зерна у циліндричному барабані з іонізацією повітря.

КОЕФІЦІЕНТ СТРУМИННО-ЩІЛИННОЇ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ, РОЗДІЛЬНА ГОМОГЕНІЗАЦІЯ МОЛОКА, ЗМІШУВАННЯ, ПРОТИТЕЧІЙНО-СТРУМИННИЙ ЗМІШУВАЧ, ПРОДУКТИВНІСТЬ, ЯКІСТЬ, ПЛІВКОВИЙ ОХОЛОДЖУВАЧ НАПОЇВ, ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛООБМІНУ, ВАКУУМНЕ ОХОЛОДЖЕННЯ, ТЕРМІН ЗБЕРІГАННЯ, ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ, МОДЕЛЬ, КЛЕЙКОВИНА, КОРМОВИЙ СОЛОД, ДОВЖИНА ПАРОСТКІВ, ЛІНІЙНА КОРЕЛЯЦІЯ.

1 ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СТРУМИННО-ЩІЛИННОГО ГОМОГЕНІЗАТОРА МОЛОКА З РОЗДІЛЬНОЮ ПОДАЧЕЮ ВЕРШКІВ

Реферат

Об'єктом дослідження є процес струминно-щілинної гомогенізації молока з роздільним подаванням вершків.

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

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

Методи досліджень. 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. Експериментальні дані оброблювались з використанням методу мікрофотографування з використанням цифрової камери та обробки отриманих результатів за допомогою комп'ютерної програми аналізу зображень.

Основні результати досліджень:

1. Знайдені залежності, які дозволяють шляхом оптимізації форми внутрішніх поверхонь конфузора та дифузора, варіювання ширини щілини, жирності і швидкостей подавання жиру та дисперсійної фази в розробленому пристрої здійснювати кількісне регулювання вмісту жиру в готовому продукті при одночасному зменшенні середнього діаметра жирових кульок, тобто проводити нормалізацію одночасно з диспергуванням.

2. Були визначені значення коефіцієнта струминно-щілинної гомогенізації, що дали змогу стверджувати, що для підвищення ефективності гомогенізатора необхідно досягати шляхом зменшення швидкості струменю та ширини щілини подачі вершків при одночасному збільшенні жирності жирової фази.

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ, КІЛЬЦЕВА ЩІЛИНА, ЖИРНІСТЬ ВЕРШКІВ, КОЕФІЦІЄНТ СТРУМИННО-ЩІЛИННОЇ 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 8 кВт/т для конструкції клапанного гомогенізатору який є найбільш поширеним та забезпечує найкращий ступінь гомогенізації. 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. Існуючі гіпотези являють собою підґрунтя 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 недостатню дисперсність жирових кульок після проведення гомогенізації.

1.1 Методи і програма досліджень

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.

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 СГЩ;
- 4 – визначити характер експериментальної залежності між шириною щілини струминно-щільового гомогенізатора молока та середнім діаметром жирових кульок після гомогенізації;
- 5 – визначити експериментальну залежність між діаметром камери в місці найбільшого звуження, жирністю і швидкістю подачі вершків та середнім діаметром жирових кульок після диспергування;
- 6 – експериментально визначити характер залежності між потужністю насосів приводу подачі знежиреного молока, вершків та загальною потужністю, що витрачався на процес гомогенізації від продуктивності струминно-щільового гомогенізатора молока.

1.2 Обґрунтування схеми та конструкції експериментальної установки

Дослідження нових напрямів розвитку енергоефективних конструкцій диспергаторів дозволив виділити в якості перспективних використання малодосліджених конструкцій струминних гомогенізаторів молока. Принцип їх дії засновано на створенні максимальної різниці між швидкостями руху знежиреного молока та вершків. Конструкція щільно-струминного гомогенізатора молока є логічним розвитком теоретичних основ диспергування, яка передбачає усунення недоліків пристрою струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків. Камера струминно-щільного гомогенізатора молока (рис. 1) була розроблена на базі кафедри ОПХВ імені професора Ф.Ю. Ялпачика ТДАТУ.

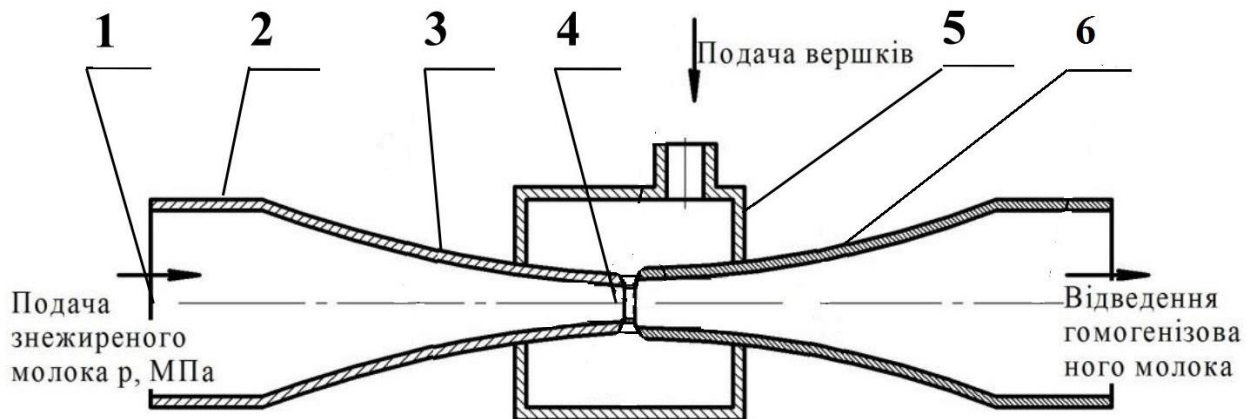


Рис. 1. Схема камери струминно-щільного гомогенізатора молока

Процес диспергування в камері гомогенізації струминно-щільного гомогенізатора молока відбувається таким чином. Потік знежиреного молока під тиском подається до місця найбільшого звуження 4 (рис. 1) центрального канала 1, що формується в корпусі 2 малими діаметрами конфузора 3 та дифузора 6. З ємності з вершками 5 крізь щільні канали які формуються торцевими поверхнями конфузора дифузора підсмоктується необхідна кількість вершків. В місці входу тонкого кільцевого потоку вершків, сформованого торцевими поверхнями дифузора 6 і конфузора 3 у основний потік знежиреного молока створюється висока різниця швидкостей між жировими кульками та знежиреним молоком, що у відповідності з критерієм Вебера, призводить до диспергування жирової фази молока.

Розроблена на базі кафедри ОПХВ імені професора Ф.Ю. Ялпачика лабораторна установка струминно-щільного гомогенізатора молока представлена на рис. 2.

Лабораторна установка струминно-щільного гомогенізатора молока, зовнішній вигляд якої показано на рис. 2 складається з ємності зі знежиреним молоком 8, з якої воно надходить по гнучкому шлангу 1 до шестеренного насоса 2 типу НШ, який приводиться в дію від електричного трифазного двигуна 5, який запускається при включенні пакетного вимикача 4. Робочий тиск знежиреного молока регулюється шляхом перекриття дроселюючої

засувки та контролюється розташованим поруч з нею манометром 11.

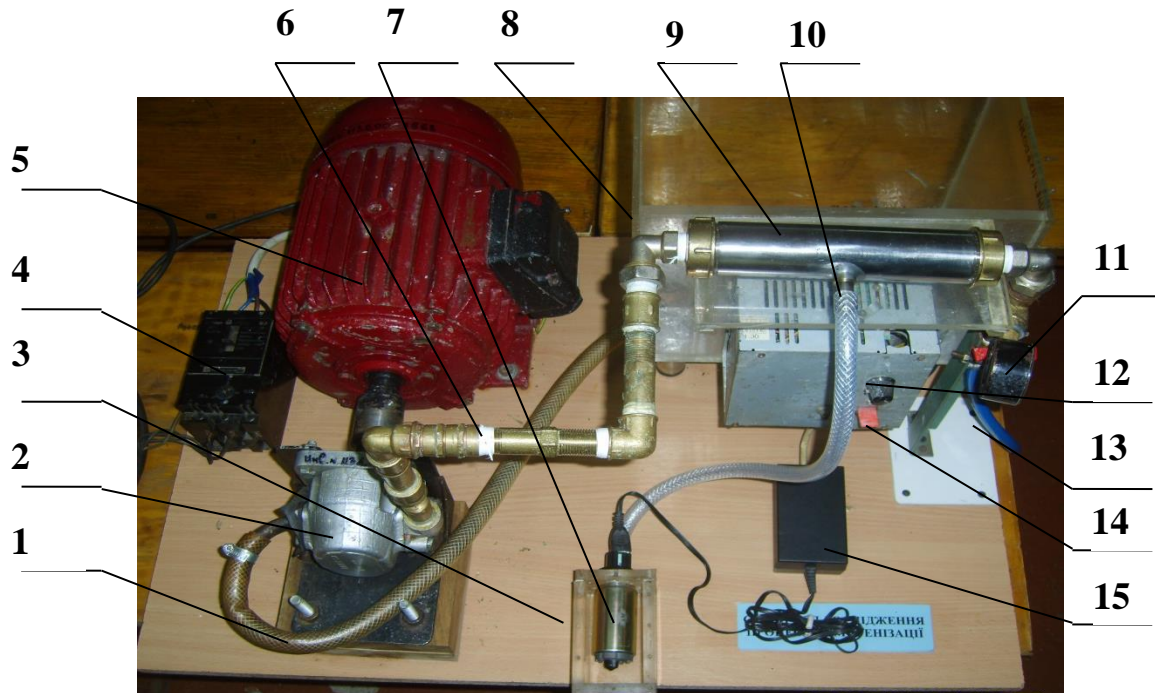


Рис. 2. Лабораторна установка струминно-щільового гомогенізатора молока

1 – гнучкий трубопровід для подачі знежиреного молока; 2 – насос шестеренний типу НШ; 3 – ємність з вершками; 4 – пакетний вимикач; 5 – електричний трифазний двигун; 6 – трубопровід; 7 – насос подачі дисперсної фази; 8 – ємність із знежиреним молоком; 9 – камера гомогенізації; 10 – гнучкий шланг з фіксатором для подачі вершків; 11 – манометр; 12 – частотний перетворювач з регулятором; 13 – гнучкий шланг для відведення гомогенізованого молока; 14 – тумблер запуску насосу подачі вершків; 15 – електричний привід насосу подачі вершків

Дисперсійна фаза з насоса 2 крізь трубопроводи 6 подається до камери гомогенізації 9, де в місці найбільшого звуження до нього з ємності з вершками 3 за допомогою насосу 7 через гнучкий шланг 10 подаються вершки. Насос подачі вершків приводиться в дію при вмиканні до електричної мережі джерела живлення 15 та запуску тумблеру 14, при цьому необхідна кількість вершків забезпечується за допомогою частотного перетворювача з регулятором 12. Нормалізоване та гомогенізоване молоко відводиться крізь гнучкий шланг 13 у спеціальну ємність.

1.3 Результати досліджень струминної гомогенізації

Максимальну різницю швидкостей фаз можна створити при подаванні дисперсної фази перпендикулярно до потоку знежиреного молока. В цьому випадку швидкість ковзання жирової кульки буде дорівнювати

$$u = k_{ш} v_{zn}, \quad (1)$$

де v_{zn} – швидкість потоку знежиреного молока в місці подавання жирової фази, м/с;

$k_{uc} = k_{ucj} k_{ucv} k_{uch}$ – коефіцієнт струминно–щілинної гомогенізації, де $k_{ucj}, k_{ucv}, k_{uch}$ – коефіцієнти щілинної гомогенізації з поперечним подаванням жирової фази, що враховують відповідно вплив жирності, швидкості вершків та ширини каналу в місці подачі вершків.

Для підвищення v_{zn} необхідно збільшити надлишковий тиск подачі знежиреного молока. Водночас необхідно зменшити швидкість жирової кульки перед включенням її до потоку знежиреного молока, що зменшить прискорення частки та збільшить сили інерції. Для цього по перше необхідно використовувати щілину, ширина якої повинна мати мінімальні значення за умови забезпечення необхідної продуктивності. По друге, жирова фаза має подаватись до потоку в місці максимального звуження, що відрізняється найбільшою швидкістю потоку і, отже, являє собою місце найбільшої різниці швидкостей фаз продукту.

Для руйнування жирових кульок необхідно досягнення значення критерію Вебера We^m рівного (або більшого) за критичне We_k

$$We^m = \frac{2\rho_{nl} \cdot k_{uc}^2 \cdot v_{zn}^2 \cdot d_{cp}}{\sigma_{ж-п}} \geq We_k, \quad (2)$$

де ρ_{nl} – густина молочної плазми, кг/м³;

d_{cp} – середній діаметр жирової кульки після гомогенізації, мкм;

$\sigma_{ж-п}$ – поверхневий натяг на межі розділу жиру та плазми, Н/м.

Критичні значення чисел Вебера для руйнування крапель в потоці повітря визначені експериментально $We_k \geq 8-12$. Однак для руйнування жирових кульок в потоці знежиреного молока, його значення буде вище, враховуючи більшу залученість до потоку сусідніх шарів плазми. Найближчим за механізмом гомогенізації до дослідної є диспергування, що відбувається в струминному гомогенізаторі молока з роздільною подачею вершків, для якого експериментально підтверджені значення We_k складають 28. Для розрахунків приймемо значення $We_k = 28$.

З виразу (2) отримаємо середній діаметр жирової кульки після гомогенізації

$$d_{cp} = \frac{We_k \cdot \sigma_{ж-п}}{2\rho_{nl} \cdot k_{uc}^2 \cdot v_{zn}^2}. \quad (3)$$

Проведемо аналіз отриманої залежності та представимо дані у вигляді графіку (рис. 3)

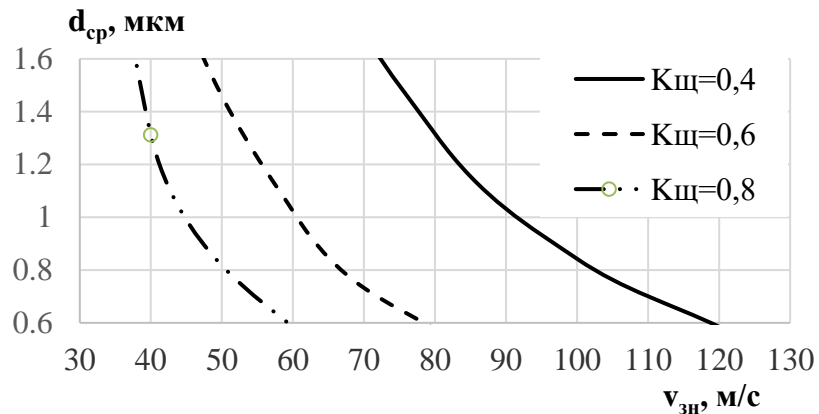


Рис. 3. Графік залежності середнього діаметра жирових кульок d_{cp} від швидкості знежиреного молока $v_{зн}$ і коефіцієнту струминно-щілинної гомогенізації $k_{щ}$ (при $We_k=28$, $\sigma=0,1$)

Залежність, представлена на графіку свідчить, що при підвищенні $k_{щ}$ необхідна швидкість знежиреного молока при однаковому середньому розмірі жирових кульок знижується, що зменшує енергетичні витрати на проведення диспергування. Аналіз залежності (рис. 3) свідчить, що забезпечити зменшення середнього розміру жирових кульок до технологічно обумовлених значень можливо при $k_{щ}=0,4$ при швидкості подачі знежиреного молока, що знаходиться в діапазоні 84–107 м/с. При підвищенні коефіцієнту струминно-щілинної гомогенізації до $k_{щ}=0,8$ забезпечити ефективне подрібнення можливо при швидкості подачі, що знаходиться в діапазоні 41–50 м/с.

Швидкість дисперсійної фази можна визначити з подачі знежиреного молока $Q_{зн}$ і розмірів камери гомогенізатора

$$v_{зн} = \frac{Q_{зн}}{\varepsilon_k \cdot S}, \quad (4)$$

ε_k – коефіцієнт стиснення для центральної частини камери, який залежить від форми камери та дорівнює 1 для внутрішніх поверхонь, що мають циліндричну та конічну форму та 0,98 для камери з конічною формою;

S – площа перетину камери струминно-щілового диспергатора в місці найбільшого звуження, м².

$$S = \frac{\pi \cdot d_k^2}{4}, \quad (5)$$

де d_k – внутрішній діаметр камери щілинного гомогенізатора в місці найбільшого звуження, м.

За урахуванням (5) формула (3) приймає вигляд

$$d_{cp} = \frac{We_k \cdot \sigma_{ж-п} \cdot \varepsilon_k^2 \cdot \pi^2 \cdot d_k^4}{32 \cdot \rho_{пл} \cdot k_{щ}^2 \cdot Q_{зн}^2}, \quad (6)$$

Отримана залежність (6), пов'язує технологічні, конструктивні та

гідрравлічні параметри, зокрема середній діаметр жирових кульок, продуктивність, коефіцієнт струминно-щілинної гомогенізації та діаметр камери в місці найбільшого звуження.

Отже для підвищення дисперсності жирової фази при гомогенізації молока в струминно-щілинному гомогенізаторі молока (зменшення d_{cp}) необхідно виконання умов

$$\begin{aligned} (We_k, \sigma_{ж-н}, \varepsilon_k, d_k) &\rightarrow \min; \\ (k_c, Q_{zn}) &\rightarrow \max. \end{aligned} \quad (7)$$

Згідно з останнім виразом для забезпечення зменшення середнього розміру жирових кульок до технологічно обумовлених величин камера струминно-щілинного гомогенізатора молока повинна мати конічну форму внутрішніх поверхонь.

Аналіз залежності (6) свідчить, що для забезпечення продуктивності на рівні промислових гомогенізаторів при середньому розмірі жирових кульок, що дорівнює 0,8–1,2 мкм, при $We_k=28$, $k_{щ}=0,6$ та продуктивності гомогенізатора 620–820 л/год, діаметр камери в місці найбільшого звуження має знаходитись в діапазоні 2–2,5 мм.

Знизити поверхневий натяг на границі жир-плазма $\sigma_{ж-н}$ можливо за рахунок підвищення температури гомогенізації та шляхом використання емульгаторів;

Підвищити значення коефіцієнта струминно-щілинної гомогенізації $k_{щ}$ можливо за рахунок оптимізації ширини щілини в місці найбільшого звуження, вмісту жиру в вершках і швидкості потоку вершків.

Для струминного щілинного гомогенізатора подача Q_z визначається сумою подачі знежиреного молока Q_{zn} та вершків Q_v

$$Q_z = Q_v + Q_{zn}. \quad (8)$$

Значення подачі знежиреного молока та вершків при використанні насосів об'ємної дії буде дорівнювати подачі відповідних насосів.

Жирову фазу, що подається через кільцеву щілину в місці найбільшого звуження будемо розглядати як відкриту для зовнішніх впливів систему рухомих та взаємодіючих жирових крапель та суцільного середовища. Швидкість жирової фази при входженні у струмінь знежиреного молока визначимо як

$$v_v = \frac{Q_v}{S_v} = \frac{Q_v}{\pi \cdot d_k \cdot h}. \quad (9)$$

де h – відстань у щілині в місці найбільшого звуження, мм.

Конструкція струминного гомогенізатора щілинного типу забезпечує можливість здійснення нормалізації молока за жирністю, що досягається регулюванням співвідношення подачі знежиреного молока та вершків. В разі використання функції нормалізації подачі вершків та знежиреного молока пов'язані з необхідною жирністю нормалізованого продукту

співвідношенням [3]

$$\frac{Q_{н.м}}{Ж_г - Ж_{зн}} = \frac{Q_г}{Ж_{н.м} - Ж_{зн}} = \frac{Q_{зн}}{Ж_г - Ж_{н.м}}. \quad (10)$$

де $Q_{н.м}$ – подача нормалізованого за жирністю молока, м³/с;

$Ж_{н.м}$, $Ж_{зн}$, $Ж_г$ – жирність відповідно нормалізованого, знежиреного молока та вершків, %.

Тоді подачу гомогенізатора можна виразити через подачу знежиреного молока

$$Q_{н.м} = Q_{зн} \left(\frac{Ж_г - Ж_{зн}}{Ж_г - Ж_{н.м}} \right). \quad (11)$$

або через подачу вершків

$$Q_{н.м} = \frac{Q_г (Ж_г - Ж_{зн})}{Ж_{н.м} - Ж_{зн}}. \quad (12)$$

$Q_{зн}$ та $Q_г$ при виконанні нормалізації молока за жирністю пов'язані співвідношенням (10). В цьому випадку, враховуючи формулу (8), отримаємо вираз, який пов'язує параметри струминно–щілинного гомогенізатора молока

$$v_г = \frac{v_{зн} \cdot d_{\kappa} \left(\frac{Ж_{н.м} - Ж_{зн}}{Ж_г - Ж_{н.м}} \right)}{4 \cdot h}. \quad (13)$$

Для створення максимальної різниці швидкостей фаз, що є необхідною умовою диспергування, згідно результатів теоретичних розрахунків при відстані в місці найбільшого звуження, що дорівнює 2–2,5 мм швидкість вершків при використанні вершків жирністю 10% має складати 12–16 м/с. При жирності вершків, що дорівнює 30% та відстані в місці найбільшого звуження, що знаходиться в межах вказаних значень, для досягнення технологічно заданого середнього діаметра жирових кульок необхідно забезпечити швидкість руху вершків на рівні 4,5–5 м/с. Таким чином можна констатувати, що для забезпечення ефективного зменшення середнього розміру жирових кульок швидкість знежиреного молока має перевищувати швидкість подачі вершків у 7–10 разів.

Потужність струминного гомогенізатора з роздільною подачею жирової фази P складається з потужності насоса подачі вершків $P_г$ та знежиреного молока $P_{зн}$

$$P = P_{зн} + P_г. \quad (14)$$

або

$$P = Q_{зн} \Delta p_{зн} + Q_г \Delta p_г. \quad (15)$$

де $\Delta p_{зн}$, $\Delta p_г$ – надлишковий тиск подачі знежиреного молока та вершків відповідно, Па.

З урахуванням співвідношення (9) між подачею вершків і знежиреного молока останню формулу можна представити у вигляді

$$P = Q_{zn} \left(\Delta p_{zn} + \frac{(J_{н.м} - J_{zn})}{J_6 - J_{н.м}} \Delta p_6 \right). \quad (16)$$

Надлишковий тиск пов'язаний зі швидкістю співвідношенням

$$\Delta p_{zn} = \frac{v_{zn}^2 \cdot \rho_{zn}}{2\varphi_k^2}. \quad (17)$$

де φ_k – коефіцієнт швидкості для центральної частини камери гомогенізатора.

$$\Delta p_6 = \frac{v_6^2 \cdot \rho_6}{2\varphi_6^2}. \quad (18)$$

де ρ_{zn} та ρ_6 – густина знежиреного молока та молочних вершків, кг/м³;

v_6 – швидкість подачі вершків, м/с;

φ_6 – коефіцієнт швидкості для каналу подачі вершків.

$$\Delta p_{zn} = \frac{8 \cdot Q_{zn}^2 \cdot \rho_{zn}}{\mu_k^2 \cdot \pi^2 \cdot d_k^4}. \quad (19)$$

$$\Delta p_6 = \frac{Q_6^2 \cdot \rho_6}{2\mu_6^2 \cdot \pi^2 \cdot d_k^2 \cdot h^2}. \quad (20)$$

Подачу вершків в залежності від швидкості вершків визначимо як

$$Q_6 = \pi \cdot d_k \cdot h \cdot v_6. \quad (21)$$

Звідки потужність на подачу вершків буде дорівнювати

$$P_6 = \frac{v_6^3 \cdot \rho_6 \cdot \pi \cdot d_k \cdot h}{2 \cdot \varphi_6^2}. \quad (22)$$

З урахуванням формул (19) і (20) вираз для визначення потужності (15) перетворюється до виду

$$P = \frac{8 \cdot Q_{zn}^3 \cdot \rho_{zn}}{\mu_k^2 \cdot \pi^2 \cdot d_k^4} + \frac{Q_6^3 \cdot \rho_6}{2 \cdot \mu_6^2 \cdot h^2 \cdot \pi^2 \cdot d_k^2}. \quad (23)$$

або з урахуванням (16)

$$D = Q_{ci}^3 \left(\frac{8 \cdot \rho_{ci}}{\mu_e^2 \cdot \pi^2 \cdot d_e^4} + \left(\frac{E_{i,i} - E_{ci}}{E_a - E_{i,i}} \right)^3 \frac{\rho_a}{2 \cdot \mu_a^2 \cdot h^2 \cdot \pi^2 \cdot d_e^2} \right). \quad (24)$$

Графік залежності потужності гомогенізатора від подачі знежиреного молока має гіперболічний характер (рис. 4). Потужність, необхідна для роботи насоса подачі жирової фази залежить від діаметра каналу в щілині, жирності вершків і ширини щілини в місці найбільшого звуження. Аналізуючи (рис. 4), слід зазначити, що потужність насоса подачі вершків при $Q=1000$ л/год та ширині щілини, що дорівнює 0,2 мм в 4–5 разів менше за потужність насоса, що використовується для подавання знежиреного молока. При зменшенні ширини щілини до 0,08 мм спостерігається вирівнювання потужностей насосів подавання знежиреного молока та вершків.

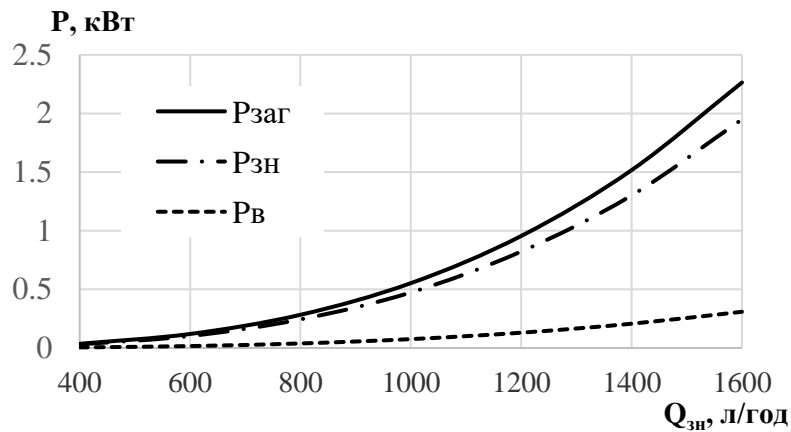


Рис. 4. Графік залежності потужності насосів для подачі знежиреного молока, вершків та сумарної потужності від продуктивності струминно-щілинного гомогенізатора молока при $d_k=0,0025$ м $\mu_6=0,95$, $\mu_k=0,95$, $J_B=30\%$, $J_{н.м}=3\%$, $J_{н.м}=3\%$, $h=0,2$ мм)

Питомі енерговитрати струминного гомогенізатора, Дж/кг визначаються з формули

$$E_{нит} = \frac{P}{Q_2 \cdot \rho_m}, \quad (25)$$

де Q_2 – загальна продуктивність гомогенізатора, л/год;

ρ_m – густина молока, кг/м³.

або

$$E_{нит} = \frac{Q_{зн} \cdot \Delta p_{зн} + Q_6 \cdot \Delta p_6}{(Q_6 + Q_{зн}) \cdot \rho_m}, \quad (26)$$

З урахуванням формул (19), (20) і (9) формула (26) набуває вигляду

$$E_{нит} = \frac{Q_{зн}^2 \left(\frac{8 \cdot \rho_{зн}}{\mu_k^2 \cdot d_k^4} + \left(\frac{J_{н.м} - J_{зн}}{J_6 - J_{н.м}} \right)^3 \cdot \frac{\rho_6}{2 \cdot d_k^2 \cdot h^2 \cdot \mu_{ц}^2} \right)}{\pi^2 \cdot \rho_m \cdot \left(\frac{J_6 - J_{зн}}{J_6 - J_{н.м}} \right)}. \quad (27)$$

Зниження питомих енерговитрат процесу гомогенізації в струминно-щілинному гомогенізаторі молока можна досягти при виконанні умов (28)

$$\begin{aligned} (\mu_k, \mu_6, h, J_6) &\rightarrow \max \\ (Q_{зн}, J_{н.м}) &\rightarrow \min/ \end{aligned} \quad (28)$$

Аналіз отриманої залежності (рис. 5) свідчить, що найменших витрат енергії (при $d_k=0,002$ м $\mu_6=0,95$, $J_B=30\%$, $J_{н.м}=3\%$, $Q=1000$ л/год, $h=0,2$ мм) можна досягти при використанні камери, що має циліндричну або коноїдальну форму внутрішніх поверхонь. При цьому використання камери з конічним профілем внутрішніх поверхонь призведе до 1–2% зростання енергетичних витрат процесу диспергування.

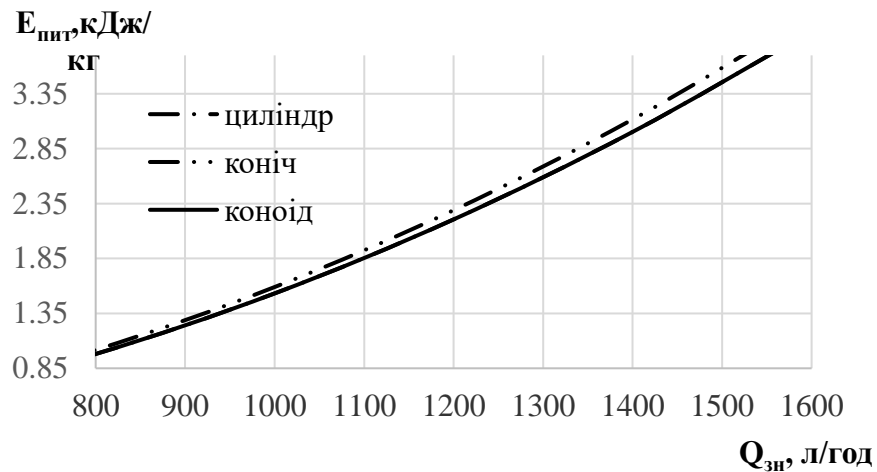


Рис. 5. Графік залежності енергетичних витрат диспергування від продуктивності і форми камери струминно-щілинного гомогенізатора молока (при $d_k=0,002$ м $\mu_g=0,8$, $\mu_k=0,95$, $J_B=30\%$, $J_{н.м}=3\%$, $J_{н.м}=3\%$, $Q=1000$ л/год, $h=0,1$ мм)

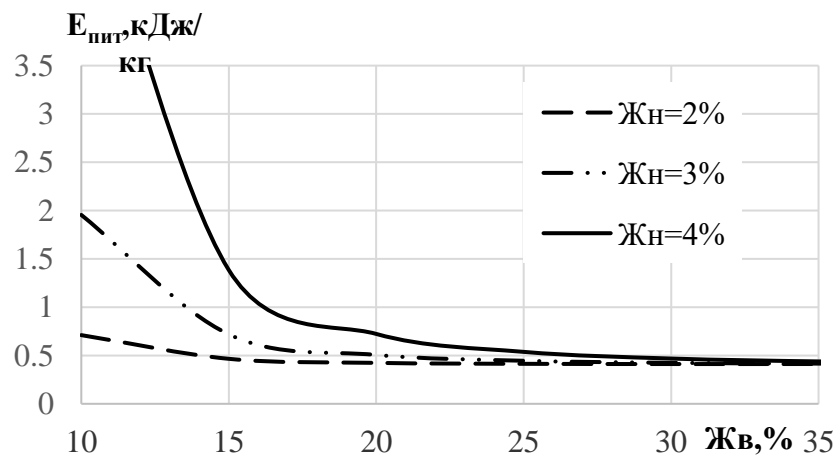


Рис. 6. Залежність питомих енерговитрат $E_{пит}$ від жирності вершків J_B та нормалізованого молока $J_{н.м}$ (при $Q_{зн}=1000$ л/год, $d_k=0,003$ м, $\mu_g=0,95$, $h=0,1$ мм, $\mu_k=0,98$).

Характерною особливістю залежності (рис. 6) є значне зростання питомих енерговитрат гомогенізації при використанні вершків з жирністю нижче 25–35%, що пояснюється збільшенням тиску, необхідного для забезпечення проходження вершків крізь щілину в місці подавання дисперсної фази для забезпечення заданої вихідної жирності молока.

При ширині щілини $h=0,1-0,4$ мм характерною особливістю залежності, представленої на графіку (рис. 6) є більш високі витрати енергії, які при жирності нормалізованого молока на рівні 4% та при використанні вершків, жирність яких складає 15% складають майже 1,5 кДж/кг. При збільшенні ширини щілини до розміру $h=0,5-0,9$ мм (рис.7) спостерігається значне (3–5 кратне) зниження енергетичних витрат, які при жирності нормалізованого молока на рівні 4% та при використанні вершків, жирність яких складає 15% складають всього 0,33 кДж/кг.

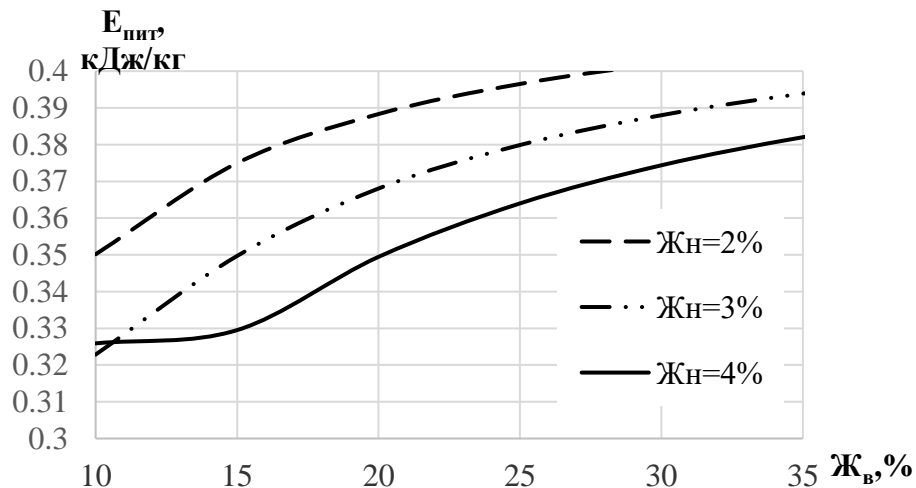


Рис. 7. Залежність питомих енерговитрат $E_{нит}$ від жирності вершків $Ж_в$ та нормалізованого молока $Ж_{н.м}$ (при $Q_{зн}=1000$ л/год, $d_k=0,003$ м, $\mu_в=0,95$, $h=0,9$ мм, $\mu_к=0,98$).

При збільшенні ширини щілини до 0,5–0,9 мм (рис. 7) спостерігається зміна характеру залежності, енергетичні витрати при підвищенні жирності вершків мають зростаючий характер. При цьому з точки зору мінімізації енергетичних витрат доцільно використовувати вершки, жирність яких менше 20%.

Отримане рівняння (27) дозволяє визначити характер залежності між енергетичними витратами процесу диспергування, діаметром камери в місці найбільшого звуження та продуктивністю гомогенізатора, представленої на рис. 8.

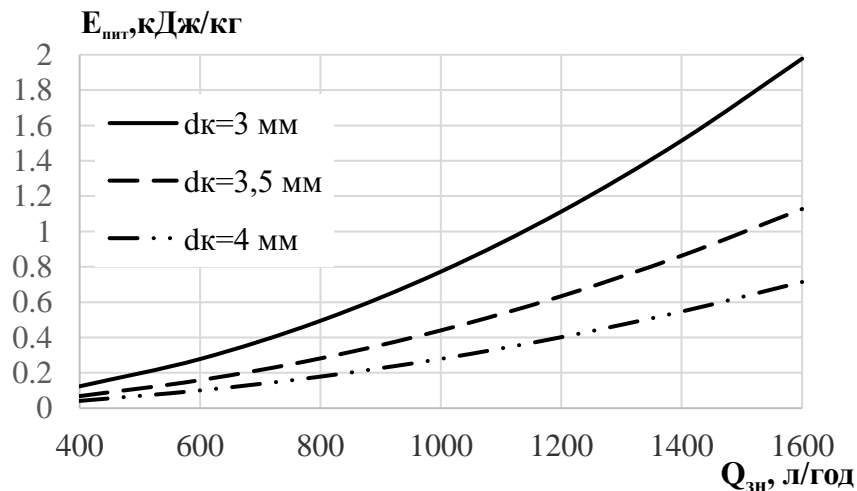


Рис. 8. Залежність питомих енерговитрат $E_{нит}$ від подачі знежиреного молока $Q_{зн}$ і діаметру камери в місці найбільшого звуження (при $h=0,8$ мм, $\mu_к=0,95$, $Ж_в=30\%$, $\mu_в=0,95$, $Ж_{н.м}=3\%$)

Аналізуючи залежність, представлену на рис. 8 слід відзначити, що виходячи з умови зниження енергетичних витрат найбільш раціональним є використання камери, що має діаметр у місці найбільшого звуження, який дорівнює 4 мм або більше. При зниженні діаметру камери до 3 мм в

залежності від продуктивності гомогенізатора енергетичні витрати будуть зростати в 2,5–3,5 рази.

Для забезпечення питомих енерговитрат на рівні сучасних енергоефективних гомогенізаторів (1,2–1,5 кВт·год/т), слід використовувати гомогенізатори, внутрішній діаметр яких у місці найбільшого звуження складає 3,5–4 мм. При цьому жирність вершків має бути вище 30–35%, а внутрішній переріз камери повинен мати форму циліндру або коноїду.

Для визначення оптимальних параметрів гомогенізатора проводимо оптимізацію, для виконання якої будуємо лінії рівної дисперсності при значеннях середнього діаметру жирових кульок, що дорівнює 0,8 мкм для залежностей дисперсності від продуктивності при різних формах камери та значеннях діаметру камери в місці найбільшого звуження. Отримані дані представлені на рис. 9 та 10.

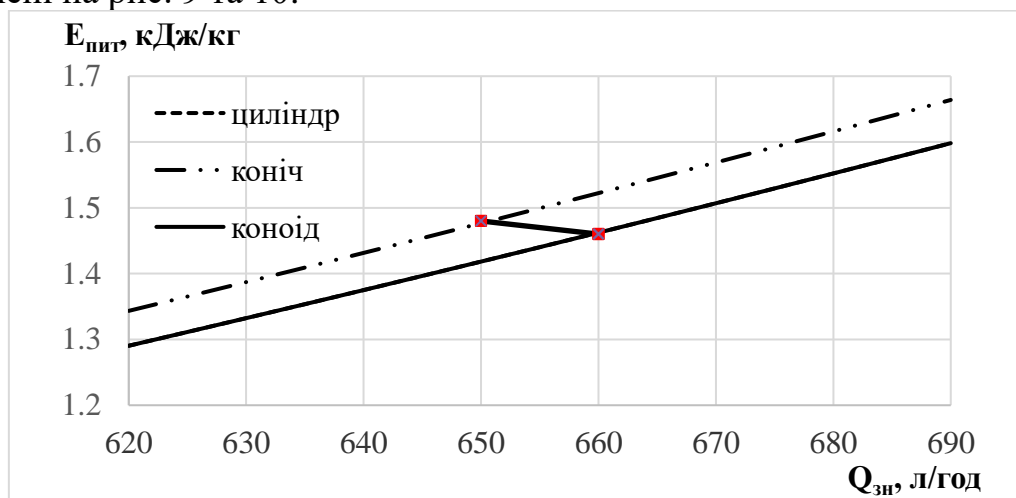


Рис. 8. Оптимізація форми внутрішніх поверхонь камери струминно-щілинного гомогенізатора молока

Аналізуючи залежність, представлену на рис. 9 можна стверджувати, що при умові забезпечення середнього розміру жирових кульок на рівні технологічно обумовлених значень (0,8 мкм) найменші енергетичні витрати може забезпечити камера, внутрішні поверхні якої мають коноїдний або циліндричний профіль внутрішніх поверхонь. Зважаючи на складність виготовлення камери, що має коноїдну форму внутрішніх поверхонь, оптимальним слід визнати використання камери, що має циліндричну форму внутрішніх поверхонь.

Отримані дані (рис. 10) свідчать, що для зниження енергетичних витрат при забезпеченні однакового середнього діаметра жирових кульок (0,8 мкм) необхідно використовувати камеру, внутрішній діаметр якої складає 3,5–4 мм при цьому продуктивність гомогенізатора буде коливатись в діапазоні 660–870 л/год.

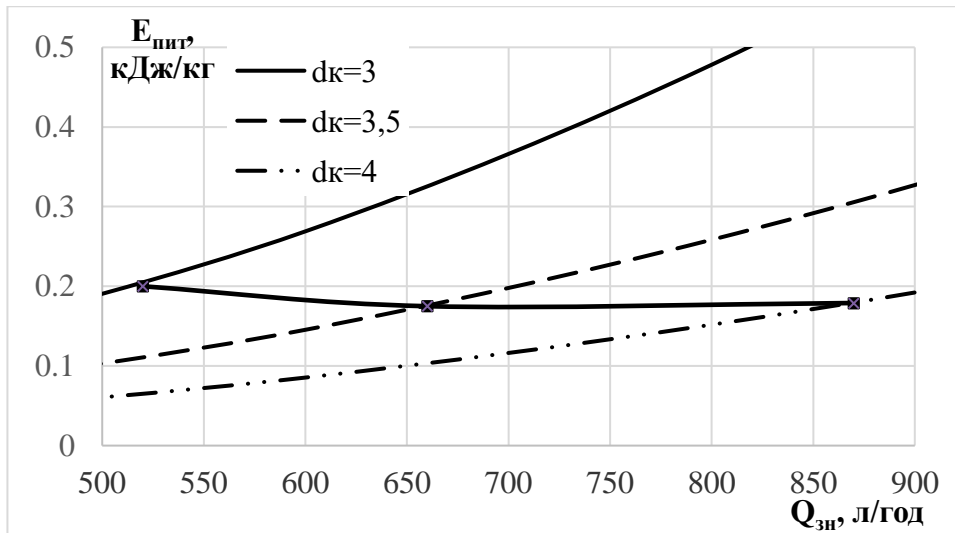


Рис. 10. Оптимізація діаметра камери струминно-щільового гомогенізатора молока в місці найбільшого звуження

Після отримання дослідних даних виконувалась їх перевірка на наявність грубих похибок дослідження. Обчислення середнього діаметру жирових кульок після гомогенізації виконувалось шляхом комп'ютерної обробки мікрофотографій зразків, що були зроблені для характерних полів зору через оптичний мікроскоп з приєднаною цифровою камерою.

Залежність між середнім діаметром жирових кульок після диспергування має параболічний характер, як зображено на графіку (рис. 11)

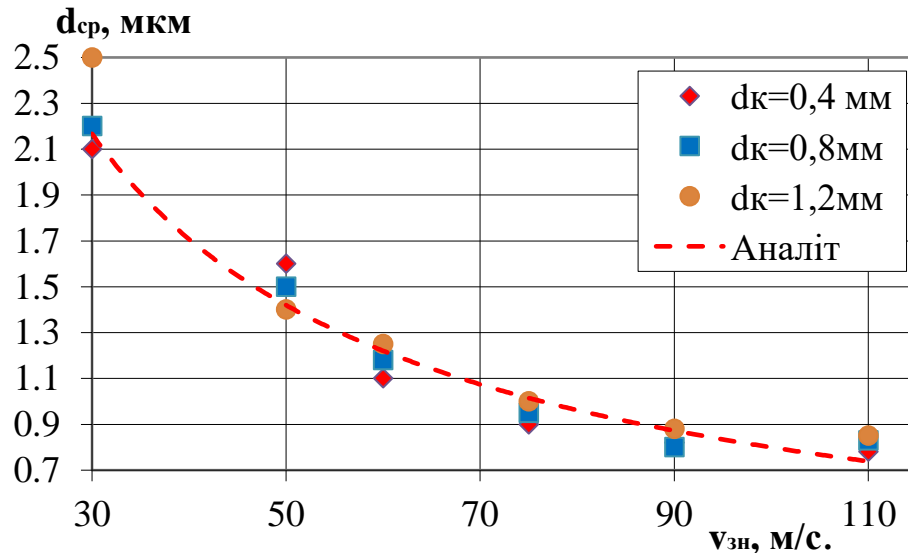


Рис. 11. Графік залежності середнього діаметра жирових кульок $d_{\text{ср}}$ від швидкості знежиреного молока $v_{\text{зн}}$ і діаметра камери гомогенізації в місці найбільшого звуження d_k (при $We_k=28$, $\sigma=0,1$)

Аналіз залежності, зображеної на графіку (рис. 11) свідчить, що збільшення діаметра камери в місці найбільшого звуження в межах коливання при проведенні експерименту оказує незначний вплив на зміну середнього розміру жирових кульок в усьому діапазоні швидкостей руху знежиреного молока (30–110 м/с). Найменший розмір жирових кульок, що

знаходиться в межах технологічно обумовлених значень можливо досягти при швидкості подачі знежиреного молока, що знаходиться в діапазоні 60–100 м/с та більше. Слід зазначити, що при перевищенні швидкості подачі знежиреного молока більше 100 м/с, перебіг процесу диспергування відбувається аналогічно до клапанного типу конструкцій, внаслідок чого спостерігається кратне зростання енергетичних витрат на здійснення гомогенізації. Отже, робочий діапазон швидкостей руху знежиреного молока для забезпечення заданої дисперсності має коливатись в межах 60–100 м/с. Оскільки при зменшенні діаметру камери в місці найбільшого звуження до значень менше 0,4–0,8 мм згідно результатів аналітичних розрахунків спостерігається значне зростання енергетичних витрат, раціональний параметр діаметра камери в місці найбільшого звуження має знаходитись в межах указанного діапазону. Оптимальне значення цього параметру дозволить визначити оцінка енергетичних витрат при проведенні експериментальних досліджень та проведення оптимізації параметрів процесу.

Дослідження залежності середнього діаметра жирових кульок після диспергування від швидкості подачі вершків та жирності дисперсної фази являє собою залежність, наведену на рис. 12.

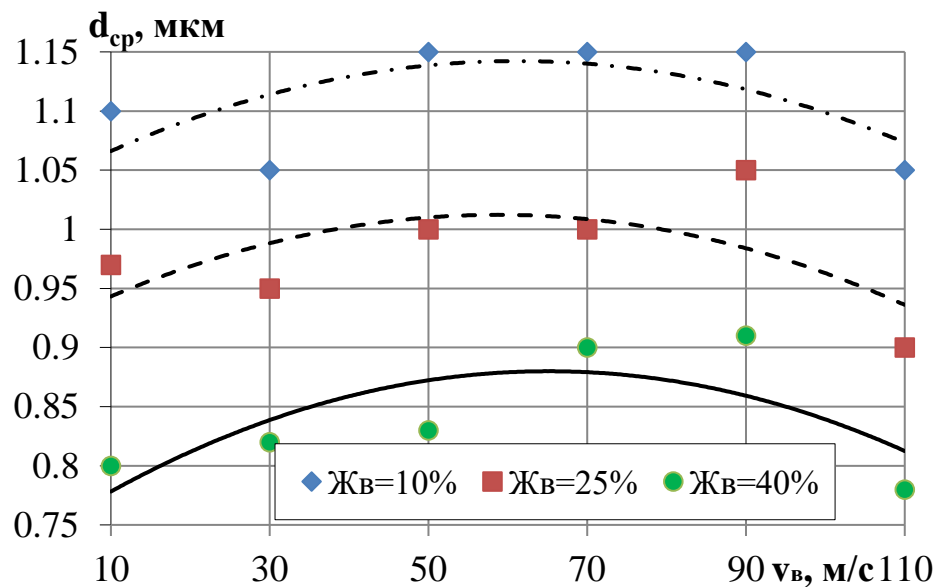


Рис. 12. Графік залежності середнього діаметра жирових кульок $d_{ср}$ від швидкості вершків v_v і жирності вершків $Ж_v$, що додаються при нормалізації молочної емульсії

Аналіз отриманої залежності, зображеної на рис. 12 свідчить, що для зменшення середнього розміру жирових кульок до технологічно обумовлених показників та нижче можна досягти шляхом підвищення жирності вершків, що додаються до знежиреного молока або підвищенням швидкості подачі вершків. Заданий середній розмір жирових кульок після диспергування досягається при швидкості подачі досягається при швидкості подачі вершків $v_v = 10–40$ м/с та при швидкості, що перевищує 100 м/с. Це пояснюється тим, що в діапазоні значень швидкості подачі вершків $v_v = 50–100$ м/с забезпечується мінімальна різниця між швидкостями руху

дисперсійної та дисперсної фазами продукту. З іншого боку високу дисперсність дозволяє отримати використання режиму, що передбачає подачу вершків зі швидкістю $v \geq 100$ м/с, але при цьому гомогенізація буде проходити подібно до процесу в клапанних диспергаторах з відповідним зростанням енергетичних витрат процесу. Отже, раціональні значення швидкості подачі вершків знаходиться в діапазоні 10–40 м/с, при цьому для отримання молочних продуктів з високим ступенем дисперсності слід використовувати вершки жирністю 25–40%.

Результати експериментальних досліджень характеру залежності між середнім діаметром жирових кульок після диспергування, шириною кільцевої щілини та жирністю вершків, що використовуються в гомогенізаторі–нормалізаторі щільового типу, наведені на рис. 13.

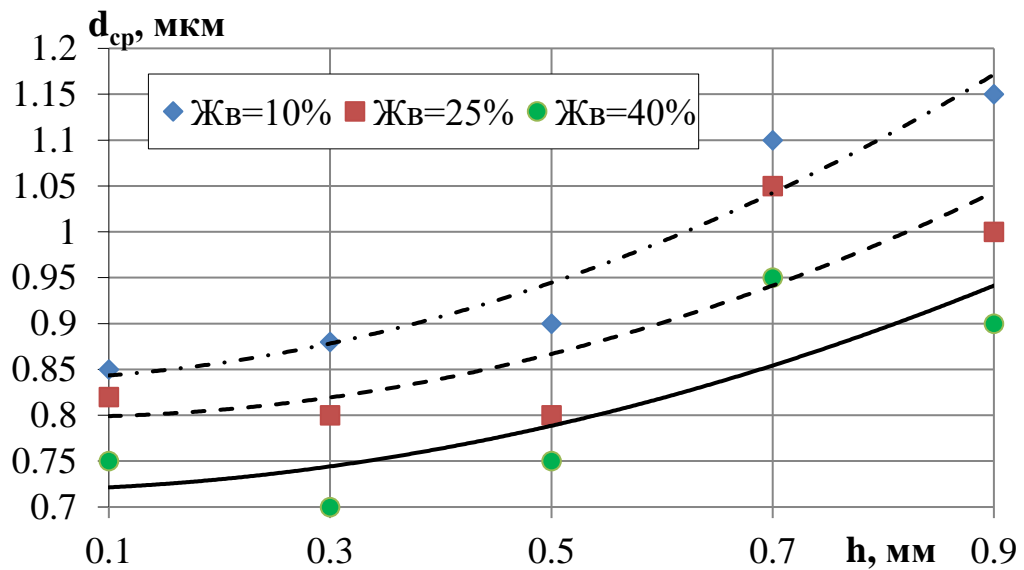


Рис. 13. Графік залежності середнього діаметра жирових кульок d_{cp} від ширини щілини камери гомогенізації в місці найбільшого звуження h і жирності вершків $Жв$,

Аналіз отриманої залежності, зображеної на рис. 13 свідчить, що досягти зменшення середнього розміру жирових кульок можливо досягти шляхом зменшення ширини кільцевої щілини h та підвищенням жирності вершків. При зменшенні ширини щілини до розміру $h=0,1-0,5$ мм можливо отримати продукт з середнім розміром жирових кульок, що складає 0,7–0,95 мкм, що знаходиться на рівні показників дисперсності клапанного гомогенізатора. Але, використання кільцевої щілини, ширина якої є меншою за $h=0,4$ мм згідно результатів аналітичних досліджень призводить до 3–4 кратного зростання енергетичних витрат, порівняно з використанням гомогенізатору, ширина кільцевої щілини в якому коливається в межах $h=0,5-0,9$ мм.

Експериментальні дослідження дозволили встановити зв'язок між середнім діаметром жирових кульок після гомогенізації, жирністю вершків та шириною камери в місці найбільшого звуження, що має близький до лінійного характер, зображений на рис. 14.

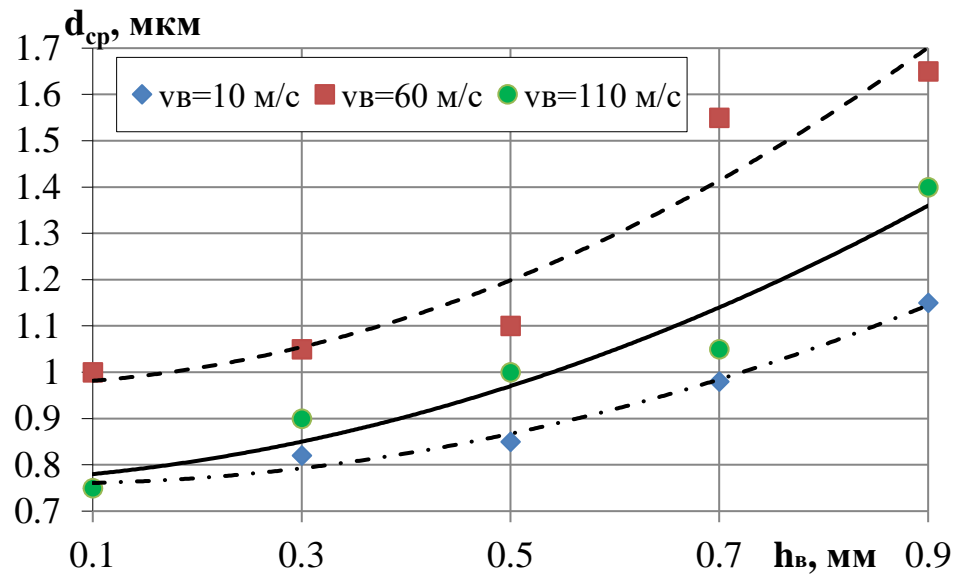


Рис. 14. Графік залежності середнього діаметра жирових кульок після диспергування d_{cp} від ширини щілини камери гомогенізації в місці найбільшого звуження h і швидкості вершків $v_{в}$

Аналіз експериментальної залежності, наведеної на рис. 14 свідчить, що для забезпечення середнього діаметра жирових кульок на рівні клапанних машин, ширина щілини в місці найбільшого звуження має знаходитись в діапазоні 0,5мм та менше. Найгірші показники дисперсності забезпечуються при швидкості подачі вершків, яка складає $v_{в}=60$ м/с, що пояснюється низькою різницею між швидкостями знежиреного молока та вершків, що є необхідною умовою подрібнення жирових кульок. Високу показники дисперсності, які забезпечуються при швидкості подачі вершків $v_{в}=110$ м/с пояснюються перебігом процесу подібно до диспергування в клапанних гомогенізаторах, та є економічно неефективним. Отже, найкращі показники дисперсності можна забезпечити при швидкості подачі вершків, що дорівнює 10 м/с, що пояснюється високою швидкістю обтікання жирової кульки знежиреним молоком, при якій створюються необхідні гідродинамічні умови для ефективного зменшення розмірів часток дисперсної фази.

Результати експериментальних досліджень характеру залежності між жирністю вершків та шириною щілини камери гомогенізації в місці найбільшого звуження h наведені на рис. 15.

Аналіз отриманої залежності (рис. 15) свідчить, що забезпечити середній розмір жирових кульок на рівні нормативних вимог можливо при використанні камери, що має якомога меншу ширину кільцевої щілини та використання вершків жирність яких складає 30–40%. Середній діаметр жирових кульок при цьому незначною мірою залежить від ширини кільцевої щілини та при збільшенні її розміру з $=0,1$ мм до $=0,9$ мм при використанні вершків жирністю 30% показники дисперсності погіршуються лише на 10%.

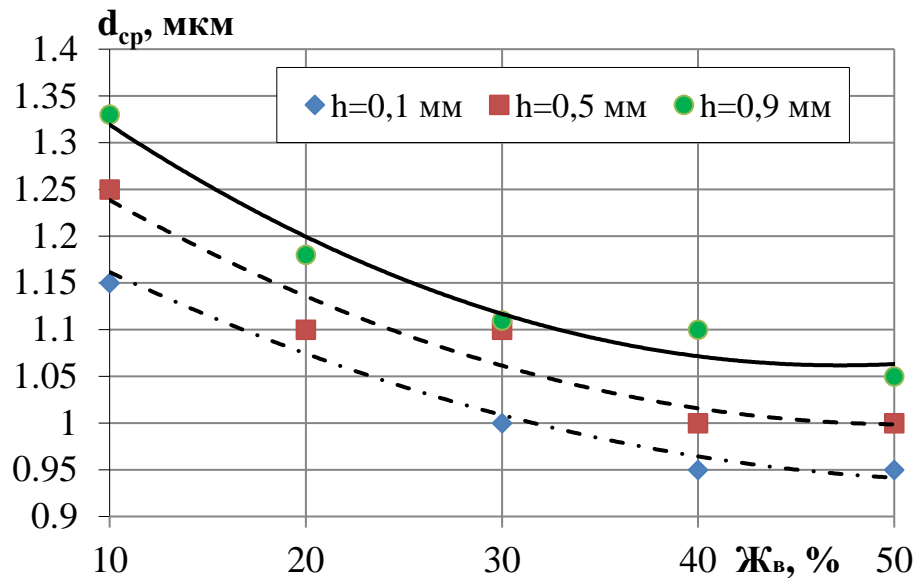


Рис. 15. Графік залежності середнього діаметра жирових кульок d_{cp} від жирності вершків $Ж_v$, та ширини щілини камери гомогенізації в місці найбільшого звуження h

Згідно отриманих даних після обробки та обчислення було знайдено потужності насосів, що забезпечують подачу дисперсійної, дисперсної фаз та сумарна потужність, що витрачається на роботу диспергатора, наведені на рис. 16.

Аналіз графіку, наведеного на рис. 16 свідчить про те, що характер даних, отриманих в ході експериментальних досліджень в цілому узгоджується з результатами аналітичних досліджень. При цьому експериментальні витрати перевищують показники, отримані в ході аналітичних досліджень на 7–12%, що пояснюється втратою потужності за рахунок ККД насосів та приводів.

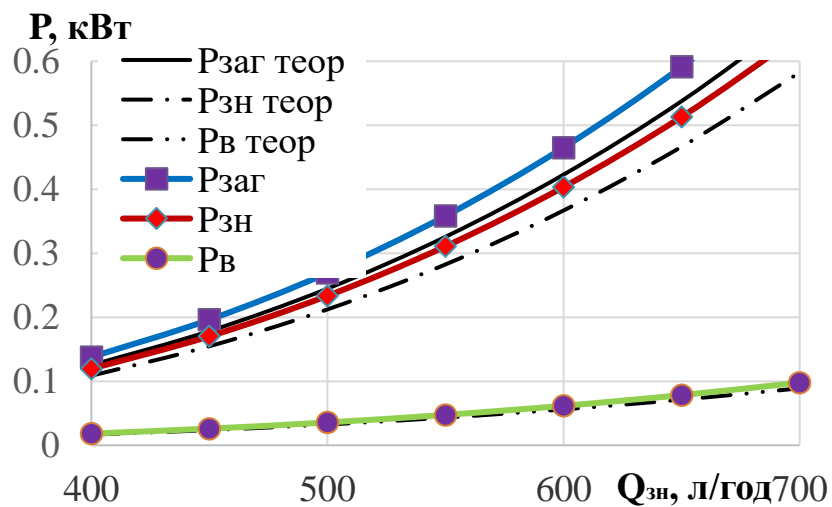


Рис. 16. Графік залежності потужності насосів для подачі знежиреного молока, вершків та сумарної потужності від продуктивності струминно-щілинного гомогенізатора молока

Висновки

З метою дослідження зниження енергетичних витрат, що витрачаються на процес диспергування були проведені аналітичні дослідження, які дозволили встановити зв'язок між основними параметрами струминно-щільового гомогенізатора. Було встановлено залежність між середнім діаметром жирової кульки після диспергування, формою камери, коефіцієнтом струминно-щільової гомогенізації та швидкістю знежиреного молока.

Проведена оптимізація, результати якої свідчать про те, що досягти зниження енергетичних витрат можна використовуючи камеру, яка має циліндричний профіль внутрішніх поверхонь, при цьому її діаметр в місці найбільшого звуження має дорівнювати 3,5–4 мм. При цьому при продуктивності 660–870 л/год енергетичні витрати диспергування не будуть перевищувати 0,18–0,19 кДж/кг. В ході подальших досліджень планується проведення експериментальних досліджень параметрів струминно-щільового диспергатора молока.

Згідно результатів проведених експериментальних досліджень виявлено, що для забезпечення середнього розміру жирових кульок на рівні технологічно обґрунтованих значень (0,8–1,2 мкм) при проведенні диспергування діаметр камери в місці найбільшого звуження має незначний вплив на показники дисперсності. При цьому для забезпечення максимальної різниці між швидкостями знежиреного молока та вершків, швидкість подачі дисперсійної фази має коливатись в діапазоні 60–100 м/с, а швидкість подачі вершків має складати 10–40 м/с.

Згідно результатів експериментальних досліджень отримати жирові кульки розміром 0,8 мкм можливо при швидкості подачі знежиреного молока, що дорівнює 88–95 м/с, діаметрі камери в місці найбільшого звуження 0,8 мм, ширині кільцевої щілини в межах 0,1–0,5 мм, жирності вершків 30–40%, швидкості подачі вершків 15–23 м/с. Для визначення раціональних параметрів струминно-щільового гомогенізатора молока планується проведення дослідження зв'язку між основними параметрами диспергатора та енергетичними витратами процесу, після якого буде виконана оптимізація експериментальних параметрів гомогенізатора.

Перелік опублікованих праць за темою досліджень

1. Самойчук К.О. О.О.Ковальов, І. В. Борохов, Н.О. Паляничка Аналітичні дослідження енергетичних показників і параметрів якості струминно-щільового гомогенізатора молока. / Праці ТДАТУ, ТДАТУ імені Дмитра Моторного – Мелітополь: 2019. – Вип19. – Том1.С 3 – 18.

2. Самойчук К.О. О.О.Ковальов, Н.О. Паляничка, О. С. Колодій, М. Р. Лебідь Експериментальні дослідження параметрів струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків щільового типу / Праці ТДАТУ, ТДАТУ імені Дмитра Моторного – Мелітополь: 2019. – Вип19. –

Том2. С 117 – 129.

3. Самойчук К.О. Ковальов О. О.,Лубко Д.В Моделювання параметрів струминного гомогенізатора молока щілинного типу / Праці Таврійського державного агротехнологічного університету, 2018. Вип 18, т. 2. С. 286–294.

4. Самойчук К. О., О. О. Ковальов., О. С. Колодій., І. О. Серий. Оптимізація експериментальних параметрів та визначення експериментального значення критерію Вебера струминно-щілинного гомогенізатора молока/ Праці ТДАТУ, ТДАТУ імені Дмитра Моторного – Мелітополь: 2019. – Вип19. – Том3. С 78-85.

5. Самойчук К.О Економічна ефективність впровадження струминного гомогенізатора молока щілинного типу / Самойчук К.О., Ковальов О.О., Лебідь М.Р // Розвиток харчових виробництв ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність. Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, Харків, ХДУХТ, 2019. С. 249–251

6. Самойчук К.О., Ковалев А.А. Перспективы использования струйно-щелевого диспергатора для создания тонкодисперсных эмульсий в сельском хозяйстве//Материалы международной научно-практической конференции «Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве» Минск, БГАТУ, 2019 Ч2. С 188-190

7. Самойчук К. О., Ковалев А. А. Струйно-щелевой гомогенізатор для переработки молока// Сборник статей 4-й Международной научно-практической конференция "Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции" Белорусский государственный аграрный технический университет (21-22 марта 2019 г.) – Минск : БГАТУ, 2019. – С. 118–120.

2 ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ СТРУМИННОГО ЗМІШУВАННЯ НАПОЇВ

Реферат

Об'єктом дослідження є процес струминного змішування рідких харчових продуктів.

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

Метою дослідження є визначення залежності відстані між соплами форсунок від діаметру сопла з умови отримання найвищої продуктивності змішувача рідких компонентів при виробництві солодких безалкогольних напоїв з використанням купажного сиропу та з використанням концентрату на основі підсолоджувачів.

Методи досліджень. Поставлені задачі вирішувалися з використанням теоретичних методів дослідження, при проведенні яких 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 багатофакторного експерименту. Теоретичні розрахунки і статистичну обробку експериментальних даних проводили із застосуванням пакетів прикладних програм на ПЕОМ.

Основні результати досліджень:

1. Аналітично отримана залежність, яка дозволяє визначити мінімальне значення відстані між соплами форсунок для отримання найвищої продуктивності змішувача рідких компонентів.

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

ЗМІШУВАННЯ, РІДКІ КОМПОНЕНТИ, ПРОТИТЕЧІЙНО-СТРУМИННИЙ ЗМІШУВАЧ, ПАРАМЕТРИ, ВІДСТАНЬ МІЖ ФОРСУНКАМИ, ШВИДКІСТЬ, ПРОДУКТИВНІСТЬ, ЯКІСТЬ

Вступ

Технологічне призначення перемішування рідин різноманітне. Цей процес застосовують у харчовій промисловості для інтенсифікації хімічних, теплових і масообмінних процесів, а також для приготування емульсій, суспензій та розчинів. При виготовленні безалкогольних напоїв одним з основних процесів є перемішування купажного сиропу або концентрату з

підготовленою водою, тобто перемішування рідких компонентів.

Сьогодні безалкогольні напої користуються дуже великим попитом, тому розробка і впровадження у виробництво змішувачів, які забезпечать якісне перемішування рідин при мінімальних витратах енергії і часу є актуальним. Змішувачі повинні бути економічними, надійними, простими у виготовленні та обслуговуванні, мати прості схеми включення в різні установки.

В результаті аналізу різних способів перемішування рідин протитечійно-струминне змішування було виділене як найбільш перспективне.

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.

Побудова аналітичної моделі протитечійно-струминного змішувача рідин не можлива без визначення впливу відстані між форсунками на витрату рідини при незмінному тиску на вході форсунки.

2.1 Методи і програма 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 багатофакторного 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 у 2019 році. 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°C (290°K) і густиною 1050 кг/м^3 .

Програмою досліджень передбачено:

1 – Аналітичне визначення 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.

2.2 Обґрунтування схеми та конструкції експериментальної установки

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

Схему розробленої конструкції змішувача представлено на рис. 1.

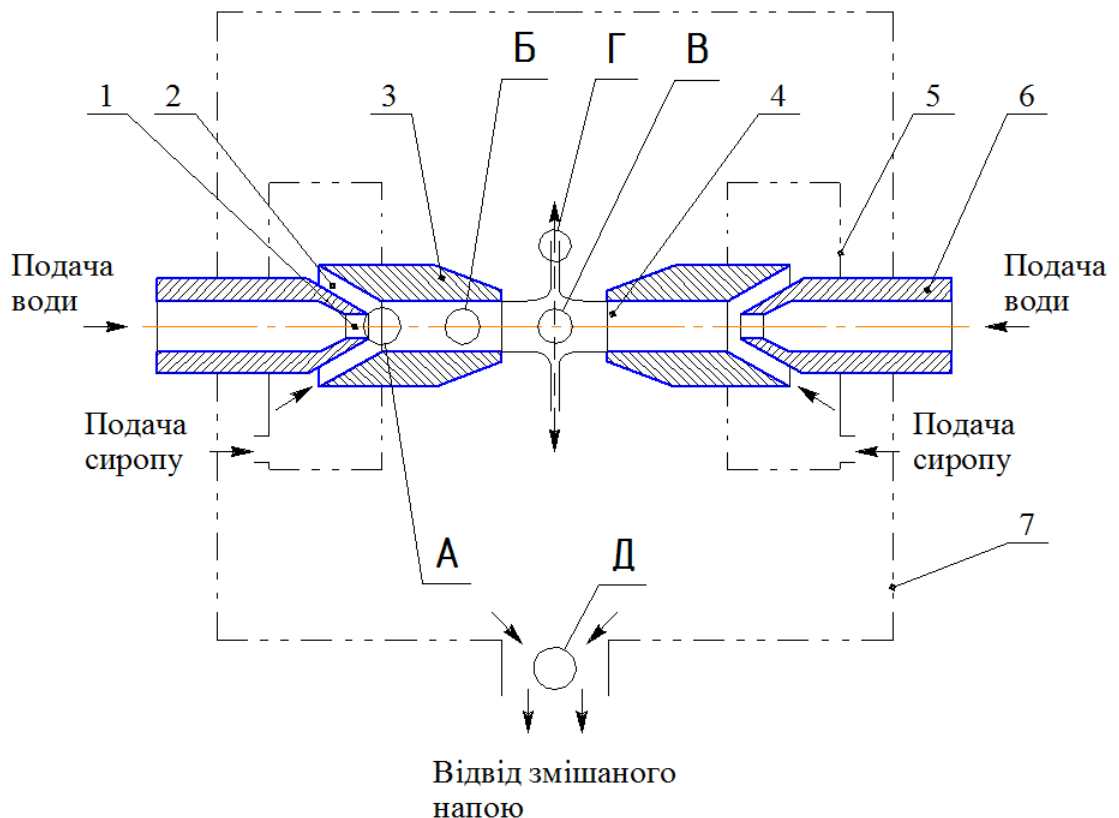


Рис. 1. Схема протитечійно-струминного змішувача рідин: 1 – робоче сопло; 2 – приймальна камера; 3 – камера змішування; 4 – сопло камери змішування; 5 – камера подачі сиропу; 6 – робочий патрубок; 7 – камера збору рідини. А, Б, В, Г, Д – зони змішування

Змішувач являє собою два струминні апарати, розташовані співвісно один до одного (рис. 1). Вихідні циліндричні сопла цих апаратів формують зустрічні струмені рідини, які після зіткнення утворюють характерне, візуально симетричне «віяло», яке має назву пелена [18]. 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) 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 компонента. На виході з сопел камер змішування 4 відбувається зіткнення струменів змішаних компонентів.

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

Для проведення експериментальних досліджень процесу змішування води з купажним сиропом було розроблено і виготовлено експериментальну установку. Загальний вид експериментальної установки представлений на рис. 2.

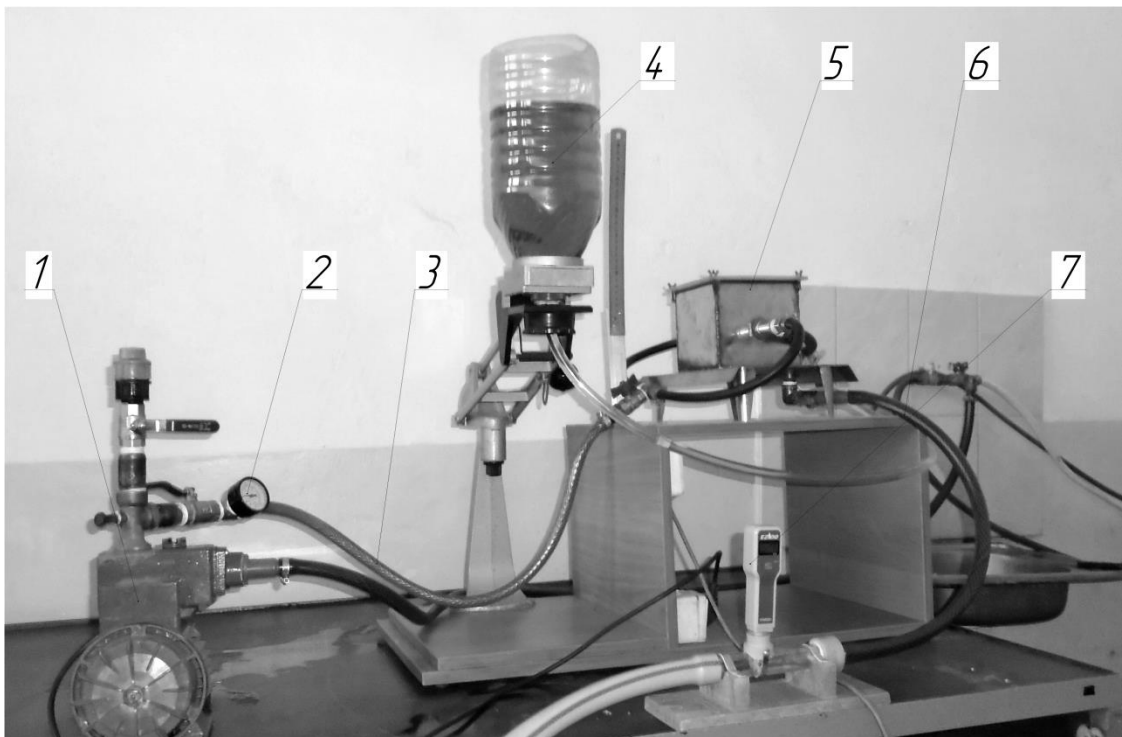


Рис. 2. Експериментальна установка: 1 – вихровий насос; 2 – манометр; 3 – канал подачі основного компоненту (води); 4 – ємність з підмішуваним компонентом (сиропом); 5 – канал підведення підмішуваного компоненту; 6 – протитечійно-струминний змішувач; 7 – канал відведення змішаного продукту; 8 – кондуктометр.

На рис. 2 вихровий насос 1 створює необхідний тиск подачі основного компоненту. Контроль тиску здійснюється за допомогою манометру 2. По каналу підводу основного компоненту 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 кондуктометру 7

2.3 Результати досліджень протитечійно-струминного змішування рідких компонентів

Технологія виготовлення безалкогольних напоїв є комплексом конкретних операцій, які здійснюються в певній послідовності. Очищена і помя'кшена вода надходить в збірник. Звідти, за допомогою насоса, вона подається на мембранний фільтр і направляється в холодильник, насичується диоксидом вуглецю та змішується з купажним сиропом чи концентратом.

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, S_2 , м², (на рис. 3 відмічена штрихпунктирною лінією) була більше за площу отворів форсунок, тобто

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

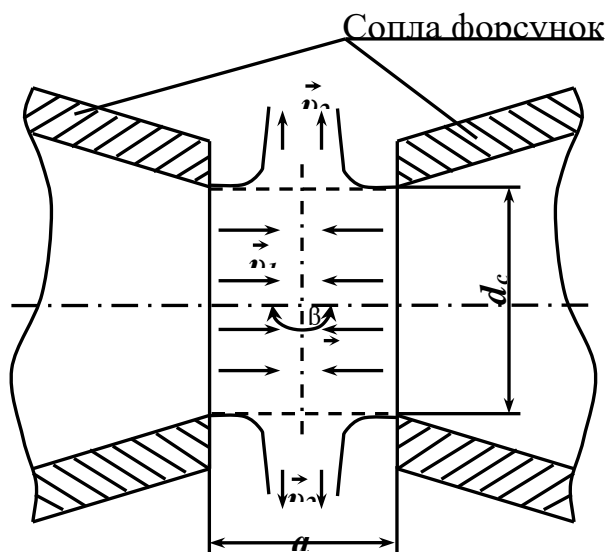


Рис. 3. Схема визначення мінімальної відстані між соплами форсунок з умови отримання найбільшої продуктивності протитечійно-струминного

змішувача.

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 $a < d_c / 2$

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

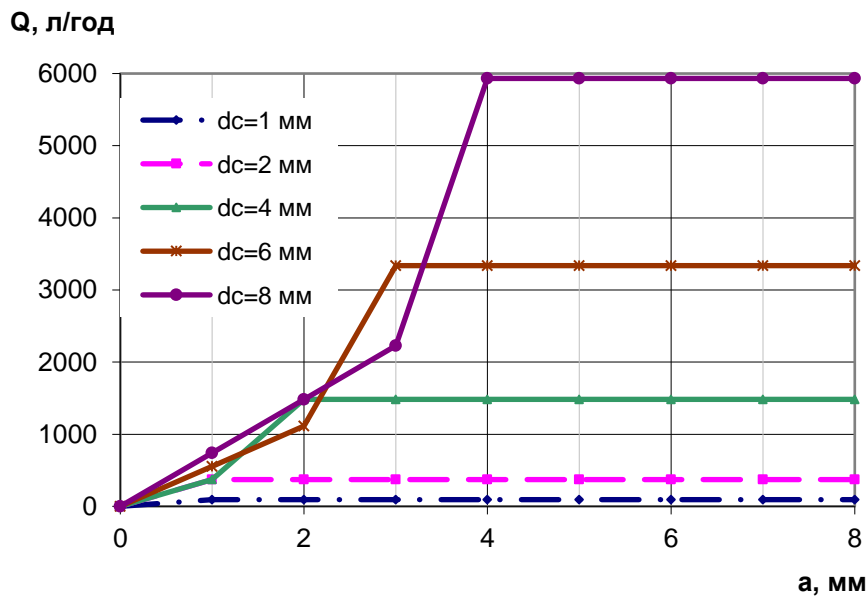


Рис. 4. Залежність продуктивності від відстані між соплами форсунок.

Одночасно зі зменшенням продуктивності змішувача при зближенні форсунок до відстані, що менше за половину діаметра сопла, змінюється швидкість струменя у момент зіткнення. При $a > d_c / 2$ швидкість струменя перед зіткненням v_1 (приймає 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.

Результати експериментальних досліджень представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. Результати експериментальних досліджень впливу відстані між соплами форсунок на продуктивність протічійно-струминного 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. 4).

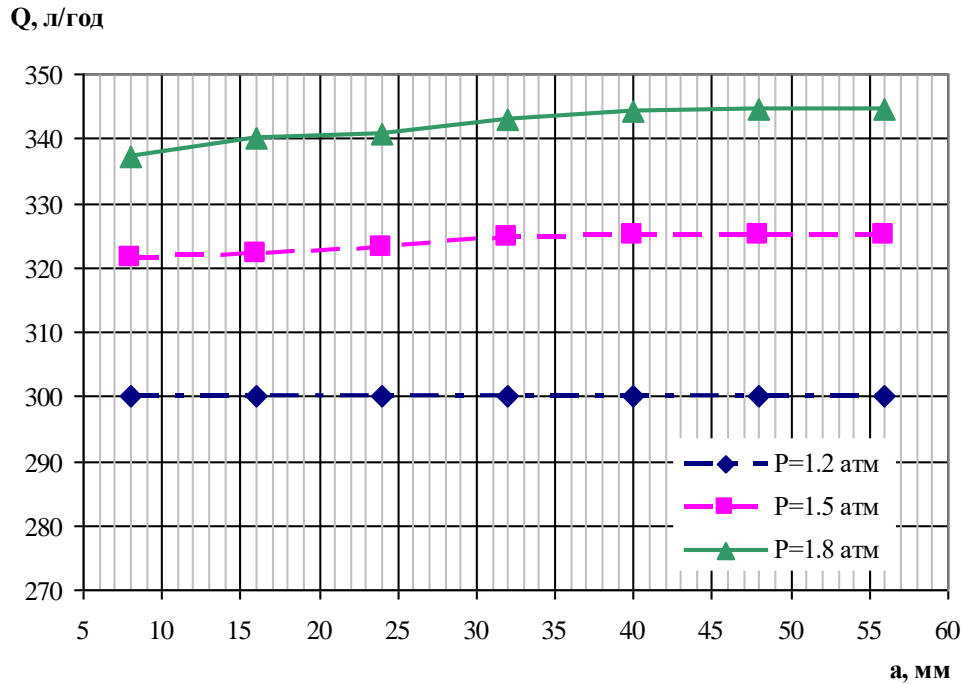


Рис. 5. Залежність продуктивності протитечійно-струминного змішувача від відстані між соплами форсунок.

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: $a_{min} = 0,5d_c$.

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. Збільшення перепаду тиску також призводить до підвищення швидкості струменів у момент зіткнення, що, у свою чергу призводить до підвищення якості перемішування компонентів. Отримані результати можуть бути використані при побудові аналітичної моделі протитечійно-струминних змішувачів, гомогенізаторів та інших гідравлічних апаратів.

Перелік опублікованих праць за темою досліджень

1. Самойчук К.О. Аналитические исследования противоточно-струйного смесителя жидкостей / К.О. Самойчук, О.В. Полудненко, А.А.Бездитный // Труды Международного Научного Института «Educatio»: материалы VII международной научно-практической конференции/ Educatio; Новосибирск, 2014 – Вып. 7 ч. 3 с. 65 – 68
2. Самойчук К.О. Визначення відстані між соплами форсунок протитечійно-струминного змішувача безалкогольних напоїв/К.О.Самойчук, О.В. Полудненко//Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наук. фах. видання/ ТДАТУ; Мелітополь, 2015 – Вип.15 т.1 с. 30 - 38
3. Пат. 90011, Україна, МКИ⁵ А01J 11/00. Спосіб змішування рідких компонентів /Самойчук К.О., Полудненко О.В.; заявитель и патентообладатель Таврійський державний агротехнологічний університет. – № u 201313938 ; заявл. 02.12.2013; опубл. 12.05.2014. Бюл. № 9.
4. Пат. 91740, Україна, МКИ⁵ А01J 11/00. Пристрій для струминного змішування рідких компонентів /Самойчук К.О., Полудненко О.В.; заявник і патентовласник Таврійський державний агротехнологічний університет. – № u201402154 ; заявл. 03.03.2014; опубл. 10.07.2014. Бюл. № 13.
5. Самойчук К.О. Результати аналізу конструкцій струминних змішувачів рідких компонентів / К.О. Самойчук, О.В. Полудненко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2013. – Вип. 13, Т.1. – С. 205-211.
6. Самойчук К.О. «Обоснование конструкции смесителя жидких компонентов с помощью компьютерного моделирования»/ К.О. Самойчук , О.В. Полудненко // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК: сборник научных статей. – Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. Аграрного у-та, 2013. – 140с. С. 86 – 92.
7. Самойчук К.О. Результати комп'ютерного моделювання процесу змішування рідких компонентів у струминному змішувачі / К.О. Самойчук, О.В. Полудненко // Обладнання та технології харчових виробництв : Донецьк – 2013.– Вип. 30. – С. 300-305.
8. Обґрунтування конструкції змішувача рідких компонентів за

допомогою комп'ютерного моделювання/ К.О.Самойчук, О.В.Полудненко // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 75-річчю з дня народження ректора університету (1988-1991рр.), д.т.н., проф., член-кореспондента ВАСГНІЛ Беляєва М.І. «Прогресивна техніка та технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі. Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг» 19 листопада 2013 року – Харків, 2013, Частина I. – с.384 – 386.

9. Циб В.Г. Аналіз методів оцінювання якості змішування рідких компонентів при виробництві безалкогольних напоїв /В.Г.Циб, О.В. Полудненко. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наук. фах. видання/ ТДАТУ; Мелітополь, 2014 – Вип.14 т.1 с. 7 –12.

10. Полудненко О.В. Результати пошукового експерименту протитечійно-струминного змішування безалкогольних напоїв /О.В. Полудненко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. - Мелітополь: ТДАТУ. - 2016. – Вип. 16., Т.1. - С. 261 – 268.

11. Самойчук К.О. Визначення вмісту цукрового сиропу при змішуванні у протитечійно-струминному апараті/ К.О. Самойчук, В.В. Паніна, О.В. Полудненко // Збірник праць XVI Міжнародної наукової конференції «Удосконалення процесів і обладнання харчових та хімічних виробництв» - Одеса: ОНАХТ – 2016. – С. 327 – 334.

12. Дейниченко Г.В. Визначення оптимальної відстані між соплами форсунок протитечійно-струминного змішувача безалкогольних напоїв/ Г.В. Дейниченко, К.О. Самойчук, О.В. Полудненко // Тези Міжнародної науково-практичної конференції «Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність» 19 травня 2016 р. – Харків, ХДУХТ. – 2016. – С. 276–278.

13. Самойчук К.О. Аналіз процесу протитечійно-струминного змішування напоїв / К.О. Самойчук, О.В. Полудненко, В.Г. Циб // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, ТДАТУ. – Вип. 17. Т.1 – 2017. – С. 178–183.

14. Дейниченко Г.В. Експериментальні дослідження концентрації цукру під час протитечійно-струминного змішування солодких напоїв / Г.В. Дейниченко, К.О. Самойчук, О.В. Полудненко. // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 50-річчю заснування Харківського державного університету харчування та торгівлі: Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність (18 травня 2017р). Харків, ХДУХТ. – Ч. 1. – С. 280–281. С. 246–247.

15. Samoichuk. K. Experimental investigations of sugar concentration for counterflow jet mixing of drinks/ K. Samoichuk, O.Poludnenko, N.Palyanichka, V. Verkholyantseva, S. Petrychenko // Technology audit and production reserves, Poltava State Agrarian Academy: Poltava. – 2017. №2/3 (34). – P. 41–59. (Ulrich's Periodicals Director, DRIVER, BASE, Index Copernicus, ПИНЦ, ResearchBib, DOAJ, WorldCat, EBSCO, Directory Indexing of International Research Journals, DRJI, OAJI, Sherpa/Romeo, Open Access Articles, SCOPUS).

16. Viunyk O., Samoichuk K., Smielov A., Panina V. Experimental investigations of the process of mixing liquids in a counter-jet mixer// Slovak international scientific journal: Bratislava – № 14, (2018). – Vol. 1. – 2018. – P. 32–37.

17. Самойчук К.О. Вплив відстані між соплами форсунок на характеристики протитечійно-струминного змішувача напоїв / К. О. Самойчук, В.Ф. Ялпачик, О.В. В'юник // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету : наукове фахове видання / ТДАТУ. - Мелітополь, 2019. - Вип. 19, т. 2 - С. 3-11.

18. Самойчук К.О. Удосконалення процесу змішування рідких компонентів при виготовленні солодких безалкогольних напоїв/ Самойчук К.О., В'юник О.В. // Розвиток харчових виробництв ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність. Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, Харків, ХДУХТ, 2019. С. 249–251

19. Самойчук К.О., В'юник О.В. Исследование энергосберегающего способа перемешивания жидкостей при переработке сельскохозяйственной продукции//Материалы международной научно-практической конференции «Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве» Минск, БГАТУ, 2019 Ч2. С 63 – 65

20. Самойчук К. О., В'юник О.В. Development and research of counterflow jet mixers of liquid components in agricultural production // Сборник статей 4-й Международной научно-практической конференция "Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции" Белорусский государственный аграрный технический университет (21-22 марта 2019 г.) – Минск : БГАТУ, 2019. – С. 101–102.

3 ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПЛІВКОВОГО ОХОЛОДЖУВАЧА НАПОЇВ

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є процес технології охолодження напоїв.

Предметом дослідження є технологічні, конструктивні параметри процесу охолодження напоїв.

Метою дослідження є аналіз процесу теплообміну в охолоджувачах напоїв і способів швидкого зниження температури в охолоджувачах напоїв проточного типу з метою удосконалення технології охолодження напоїв з використанням плівкового теплообмінника швидкого охолодження, який можна використовувати для продажу фруктових, овочевих, плодоовочевих соків та інших напоїв таких як пиво, квас, лимонад.

Методи досліджень. Поставлені задачі вирішувались з використанням теоретичним і експериментальним шляхом.

Основні результати досліджень:

1. Знайдені залежності, які вказують, що для плівкового випарника коефіцієнт тепловіддачі від плівки яблучного соку до стінки на порядок вище, ніж при об'ємній теплопередачі від соку до охолоджуючої рідини, тому доцільно використовувати охолоджувачі напоїв пропонованого типу

2. Запропонована методика визначення критеріїв плівкового теплообміну і основних конструктивних параметрів охолоджувача напоїв проточного типу може бути використана при проектуванні обладнання.

3. Запропонований варіант удосконалення способу підготовки напоїв до продажу з використанням плівкового випарника для швидкого охолодження фруктових, овочевих, плодоовочевих соків та інших напоїв мають практичне значення і можуть бути використані у виробництві.

ТЕХНОЛОГІЯ ОХОЛОДЖЕННЯ НАПОЇВ, ПЛІВКОВИЙ ОХОЛОДЖУВАЧ НАПОЇВ, ЯБЛУЧНИЙ СІК, ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛООБМІНУ

Вступ

В даний час активно проводяться дослідження нових напрямків розробки охолоджувачів напоїв, що відповідають сучасному рівню розвитку харчової промисловості. Один з них - створення технології швидкісного охолодження. Ефективним способом охолодження напоїв є плівковий теплообмін. Цей спосіб дозволяє максимально прискорити процес у поєднанні з підвищеною простотою санітарно-гігієнічної обробки обладнання.

Все більшої популярності набувають ресторани і пункти швидкого харчування, в яких пропонують не тільки гарячі напої, - чай, кава, а й охолоджені, які приготовані в охолоджувачах напоїв для фруктових,

овочевих і плодоовочевих соків та інших напоїв таких як пиво, квас, лимонад. В даний час спостерігається зацікавленість до досліджень із створення технологій швидкісного, проточного охолодження напоїв.

При звичайному охолодженні напоїв їх наливають в ємності, для прискорення процесу використовують мішалки. Недоліком цього способу є тривалий час очікування. В апаратах іншого типу напій пропускають крізь зміювик, що скорочує час очікування, однак різко погіршує якість санітарно-гігієнічної обробки обладнання, крім того, виникає небажана мікрофлора, пригнічується дія ферментів, що різко знижує біологічну цінність соку або іншого напою.

Звичайний охолоджувач напоїв рідини складається з теплоізольованого резервуара, в який вбудований зміювик випарника холодильної машини насоса, труби для подачі напою і розливного вентиля. Однак охолоджувач напоїв об'ємного типу має кілька недоліків: складна конструкція, наявність проміжного теплоносія, низька ефективність теплообміну через те, що теплопередача здійснюється в обсязі, а коефіцієнт теплопровідності води дуже незначний (0,45...0,51 Вт/(м·К)), що знижує коефіцієнт корисної дії і надійність установки в цілому, вони потребують складної санітарно-гігієнічної обробки обладнання.

3.1 Методи і програма досліджень

Завданням роботи є удосконалення способу охолодження напоїв з використанням швидкого зниження температури соків, в якому шляхом введення в систему нових конструктивних елементів спрощується конструкція, усувається проміжний теплоносій, підвищується ефективність теплообміну, збільшується коефіцієнт корисної дії і надійність установки в цілому, спрощується санітарно-гігієнічна обробка обладнання.

Поставлені задачі вирішувались з використанням теоретичного та експериментального інструментарію.

Дослідження проводили в лабораторних умовах за традиційними та розробленими методиками.

Програмою досліджень передбачено:

1. Скласти тепловий баланс плівкового охолоджувача;
2. Запропонувати методику визначення критеріїв плівкового теплообміну і основних конструктивних параметрів охолоджувача напоїв проточного типу;
3. Удосконалити спосіб підготовки напоїв до продажу з використанням плівкового випарника для швидкого охолодження фруктових, овочевих, плодоовочевих соків;
4. Розробити конструкцію плівкового охолоджувача напоїв

3.2 Обґрунтування схеми та конструкції експериментальної установки

Запропонований нами охолоджувач напоїв проточного типу складається з теплоізолюваного корпусу, в ньому змонтовані: змійовик випарника холодильної машини в циліндричній оболонці з харчової нержавіючої сталі і верхня кільцева камера для напою, яка встановлена із щільним зазором відносно циліндричної оболонки. Окремо розташований насос, труби для подачі напою, розливний вентиль.

Функціональна схема плівкового охолоджувача напоїв проточного типу показана на рис.1.

Принцип дії запропонованого пристрою полягає в наступному. Напій, який необхідно охолодити, насосом 1 через трубу 2 для подачі напою, подається у встановлену в теплоізолюваному резервуарі 3, верхню кільцеву камеру 4 для напою. У верхній кільцевій камері 4, яка охоплює циліндричну оболонку 7 змійовика 6 випарника холодильної машини, підтримується постійний рівень напою вище верхньої кришки циліндричної оболонки 7.

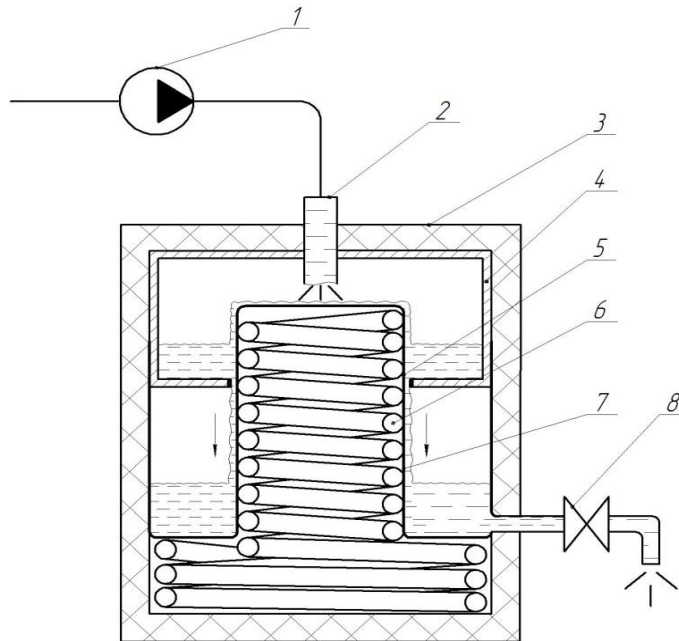


Рис. 3.1. Функціональна схема плівкового охолоджувача напоїв:

1 – насос, 2 – труба для подачі напою, 3 – теплоізолюваний корпус, 4 – верхня кільцева камера для напою, 5 – щільний зазор, 6 – змійовик випарника холодильної машини, 7 – циліндрична оболонка змійовика, 8 – розливний вентиль.

3.3 Результати досліджень плівкового охолоджувача напоїв

Визначимо критерії плівкового теплообміну та основні конструктивні параметри охолоджувача напоїв проточного типу.

В якості охолоджувальної рідини, для прикладу, виберемо яблучний сік. Температура яблучного соку: на вході $t_1 = 35 \text{ }^\circ\text{C}$, на виході $t_2 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Витрата яблучного соку $-G_C = 31 \text{ кг / год}$ або $0,52 \text{ л / хв}$. Питома теплоємність

яблучного соку $c = 3,2$ кДж/(кг·К). Щільність яблучного соку $\rho = 1051$ кг/м³. Коефіцієнт теплопровідності яблучного соку $\lambda = 0,554$ Вт/(м·К).

Теплове навантаження для відводу теплоти від охолоджуваного яблучного соку

$$Q_{я.с.} = G_{я.с.} \cdot c \cdot (t_1 - t_2) = 31 \cdot 3,2 \cdot (35 - 20) = 1488 \text{ кДж} \quad (1)$$

Питома холодопродуктивність установки

$$q_0 = h_1 - h_4 = 340 - 268 = 72 \text{ кДж / кг.} \quad (2)$$

Коефіцієнт корисної дії плівкового теплообмінника - $\eta = 0,9$.

Тепловий баланс плівкового охолоджувача:

$$Q_{я.с.} = Q_{охл.}, \text{ или } G_{я.с.} \cdot c \cdot (t_1 - t_2) = G_{охл.} q_0 \eta. \quad (3)$$

З виразу теплового балансу [14] отримуємо значення витрати охолоджувача

$$G_{охл.} = \frac{G_{я.с.} \cdot c \cdot (t_1 - t_2)}{\eta \cdot (h_1 - h_4)} = \frac{31/3600 \cdot 3,2 \cdot (35 - 20)}{0,9 \cdot 120} = 0,038 \text{ кг/с.} \quad (4)$$

За значенням масової витрати визначаємо швидкість потоку яблучного соку, при діаметрі циліндричної оболонки зміювика випарника холодильної машини $D = 0,2$ м:

$$W = \frac{G_{я.с.}}{\pi \cdot D^2 / 4} = \frac{(31/3600) \cdot 4}{(3,14 \cdot 0,2^2)} = 0,27 \text{ м/с.} \quad (5)$$

Розрахуємо поверхню теплообміну:

$$F = \frac{Q_0}{k \cdot \Delta t} \cdot \tau \quad (6)$$

де: F - площа поверхні теплообміну, м²; $Q_{охл.}$ - витрата теплоти, Дж/с; k - коефіцієнт теплопередачі, Дж / (с·м²·К); Δt - різниця температур, К; τ - час охолодження, с.

$Q_{охл.}$ тепловий ефект плівкового випарника, розраховуємо за спрощеною формулою:

$$Q_{охл.} = G_{охл.} q_0 \eta = 0,038 \cdot 72 \cdot 0,9 = 2,46 \text{ кДж/с.} \quad (7)$$

Коефіцієнт теплопередачі визначаємо за формулою

$$k_D = \frac{1}{\frac{1}{a_{я.с.}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{a_o}} \quad (8)$$

де $a_{я.с.}$ - коефіцієнт тепловіддачі яблучного соку.

Критерій Рейнольдса для потоку яблучного соку:

$$R_e = \frac{W \cdot D \cdot \rho}{\mu} = 0,27 \cdot 0,2 \cdot 1051 / (109 \cdot 10^{-6}) = 502679 \quad (9)$$

де - $\rho_{я.с.}$ - щільність яблучного соку, 1051 кг / м³;

$\mu_{я.с.}$ - динамічна в'язкість яблучного соку, $109 \cdot 10^{-6}$ Па·с.

За значенням критерію Рейнольдса визначаємо критерій Прандтля і критерій Нусельта:

$$Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{\mu \cdot c \cdot \rho}{\lambda} = (109 \cdot 10^{-6}) \cdot 3,2 \cdot 1051 / 0,554 = 0,69 \quad (10)$$

$$Nu = 0,021 \cdot (Re^{0,3} \cdot Pr^{0,4}) = 0,021 \cdot 502679^{0,3} \cdot 0,69^{0,4} = 66,369 \quad (11)$$

Звідси, знаходимо коефіцієнт тепловіддачі від плівки яблучного соку до стінки α_1 знаходимо за спрощеною формулою для плівкового випарника:

$$\alpha_1 = \frac{\lambda}{\delta_{пл}} = 0,554 / 0,0002 = 2770 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}), \quad (12)$$

де $\delta_{пл}$ - товщина плівки яблучного соку на циліндричній оболонці зміювика випарника холодильної машини, $\delta_{пл} = 0,002$ м.

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до охолоджуючої рідини α_2

$$\alpha_2 = \frac{\lambda \cdot Nu}{D} = 0,0730 \cdot 400 / 0,2 = 145 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}), \quad (13)$$

Коефіцієнт теплопередачі визначаємо за формулою (7):

$$k = 1 / (1/2770 + 0,002/62 + 1/145) = 147 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Тоді площа поверхні теплообміну циліндричної оболонки зміювика випарника холодильної машини за формулою (6), буде:

$$F = \frac{Q_0}{k \cdot \Delta t} \cdot \tau = 2460 / (147 \cdot 45) \cdot 1 = 0,277 \text{ м}^2.$$

Висота циліндричної оболонки зміювика випарника холодильної машини

$$H = (F - \pi \cdot D^2 / 4) / \pi \cdot D = (0,277 - 3,14 \cdot 0,2^2 / 4) / (3,14 \cdot 0,2) = 0,39 \text{ м}. \quad (14)$$

Висновки

Аналіз рівняння (8) показує, що для плівкового випарника коефіцієнт тепловіддачі від плівки яблучного соку до стінки на порядок вище, ніж при об'ємній теплопередачі від соку до охолоджуючої рідини, тому доцільно використовувати охолоджувачі напоїв пропонованого типу.

Методика визначення критеріїв плівкового теплообміну і основних конструктивних параметрів охолоджувача напоїв проточного типу може бачь використана при проектуванні обладнання.

Запропонований варіант удосконалення способу підготовки напоїв до продажу з використанням плівкового випарника для швидкого охолодження фруктових, овочевих, плодоовочевих соків та інших напоїв таких як пиво, квас, лимонад, на прикладі охолодження яблучного соку і пристрої охолоджувача напоїв проточного типу мають практичне значення і можуть бути використані у виробництві.

Перелік опублікованих праць за темою досліджень

1. Стручаєв М. І., Загорко Н.П., Тарасенко В.Г. Формування заморожених соків // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. Вип. 18, Т. 1. С. 246–252.

2. Ялпачик В.Ф., Стручаєв М.І., Тарасенко В.Г. Експериментальне визначення коефіцієнта теплопровідності при заморожуванні / // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць. Мелітополь: ТДАТУ, 2017. Вип. 17, Т.1. С. 113–118.

3. Лабораторний практикум з холодильного устаткування для підготовки фахівців зі спеціальності обладнання переробних і харчових виробництв: Навчальний посібник / В.Ф.Ялпачик, М.І. Стручаєв, В.Г. Тарасенко, В.Г. Циб. Мелітополь.: Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2017. – 203 с.

4. Стручаєв М. І., Тарасенко В. Г., Бондар Д. В. Плівковий охолоджувач напоїв // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету / ТДАТУ імені Дмитра Моторного. Мелітополь: ТДАТУ імені Дмитра Моторного, 2019. Вип. 19, т. 2. С. 48–54.

5. Патент на корисну модель № 134351 Україна МПК (2006) А01J 9/04 , В67D 3/00 (2006.01) Поточний охолоджувальний пристрій / Стручаєв М. І., Кюрчев С.В., Тарасенко В.Г., Бондар Д.В., Заявл. 17.12.2018, Опубл. 10.05.2019, Бюл. № 9.

4. 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. Обґрунтовано закономірності динаміки біохімічних речовин і органолептичних властивостей плодів черешні при вакуумному охолодженні та зберіганні.

2. Визначені оптимальні параметри і режими для вакуумного охолодження районованих сортів черешні, що дозволяє збільшити до 21 доби тривалість короткострокового зберігання плодів черешні при несуттєвих змінах їх органолептичних і біохімічних показників.

ВАКУУМНЕ ОХОЛОДЖЕННЯ, ПЛОДИ ЧЕРЕШНІ, ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ, ОРГАНОЛІПТИЧНІ І БІОХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ, ВТРАТА МАСИ, ТЕРМІН ЗБЕРІГАННЯ

Вступ

Плоди черешні мають найкращі смакові якості відразу після зняття з дерева. Довготривале зберігання у холодильниках різко погіршує їх смак. Основна задача попереднього охолодження та зберігання – створити такі умови, за яких втрати поживних речовин були б мінімальними і якість продукції залишалася б такою самою, як після збирання врожаю.

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 15 діб при дотриманні певних умов.

Технологія вакуумного охолодження сільськогосподарської продукції, в тому числі 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.

4.1 Програма і методика досліджень

Програмою досліджень передбачено:

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

Методика досліджень

Дослідження проводилось у 2019 на кафедрі «Обладнання переробних і харчових виробництв ім. професора Ф.Ю. Ялпачика» Таврійського державного агротехнологічного університету у місті Мелітополі Запорізької області. В результаті теоретичних досліджень за комплексом господарсько-біологічних показників були відібрані районовані сорти черешні пізнього строку достигання: Крупноплідна, Мелітопольська Чорна, Удівительна, що внесені в реєстр сортів України.[3] Товарну обробку проводили виділяючи

цілі, міцні, чисті не уражені плоди 1 товарного сорту, згідно з вимогами ГСТУ 01.1-37-162:2004, та видаляючи нестандартні екземпляри. Свіжозібрані плоди черешні доставлялися до експериментальної лабораторії кожного ранку. Температура плодів черешні протягом цього часу складала 25°C. Зважування плодів перед та після процесу охолодження проводилося за допомогою електронних ваг з точністю $\pm 0,01$ г.

4.2 Обґрунтування схеми експериментальної установки для вакуумного охолодження рослинної сировини

Випробування були реалізовані у розробленій експериментальній установці для вакуумного охолодження рослинної сировини (рис. 1).

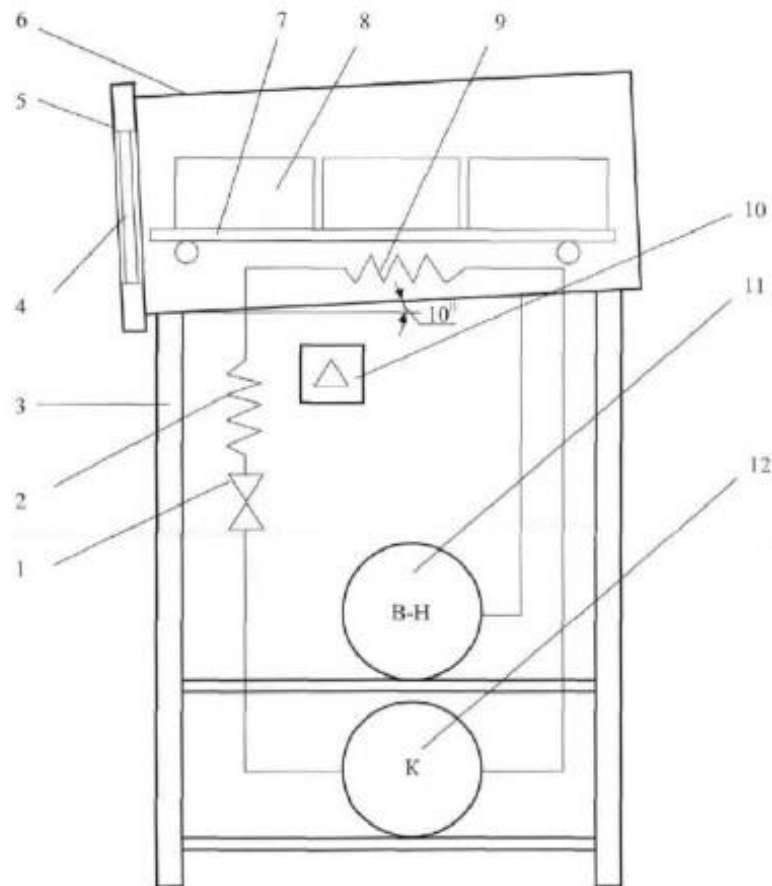


Рис. 1. Схема експериментальної установки для вакуумного охолодження рослинної сировини

Експериментальна установка для вакуумного охолодження рослинної сировини має станину 3, на якій встановлено циліндричну камеру вакуумного охолодження 6, встановлену під кутом 10° до горизонтальної площини, закриту з однієї сторони кришкою 5, обладнаною вікном 4 для візуального спостереження за процесом охолодження. В камері розташована полиця 7, на якій розміщується продукт, який необхідно охолодити 8. Охолодження проводиться за допомогою розташованого в камері

випаровувала 9. В нижній частині установки розміщується вакуумний насос 11, компресор охолодження 12, терморегулюючий вентиль 1, конденсатор 2 та пульт керування з вимірювальними приладами 10.

Принцип роботи установки наступний. Плоди черешні завантажуються в камеру 6, розміщуються на полиці 7. Камера зачиняється герметичною кришкою 5. Запускається вакуумний насос 11 і компресор 12. Тиск у камері знижується до значення насиченого тиску. Коли тиск у вакуумній камері досягає значення початкового робочого тиску, відбувається точка спалаху процесу вакуумного охолодження, вода починає випаровуватися. Після охолодження плодів до заданої температури вакуумний насос відключається, вакуум заповнюється. За допомогою гарячого повітря або води з випаровувача 9 видаляється іній, а тала вода збирається у нижній частині камери і за рахунок кута встановлення циліндричної камери видаляється. Після видалення талої води камера готова для наступної партії плодів.

4.3 Результати досліджень експериментальної установки для вакуумного охолодження

Основною перевагою вакуумного охолодження відносно велика швидкість [7] Дослідження показали, що для того, щоб охолодити плоди черешні з температури 25°C до 2°C потрібно 40 хвилин. Крім того, температура як на поверхні, так і всередині плодів знижується рівномірно. В той час, як при звичайному холодильному охолодженні цей процес триває значно довше: для поверхні плодів черешні – 75 хв, для охолодження середини плодів – 200 хв. Таким чином, охолодження проходить нерівномірно. Результати досліджень представлено на рисунках 2 і 3.

Недоліком вакуумного охолодження є втрата маси плодів та овочів через випаровування води. [7] З метою дослідження втрати маси попереднє вакуумне охолодження плодів черешні було проведене трьома різними методами при тиску 29 кПа. [2]

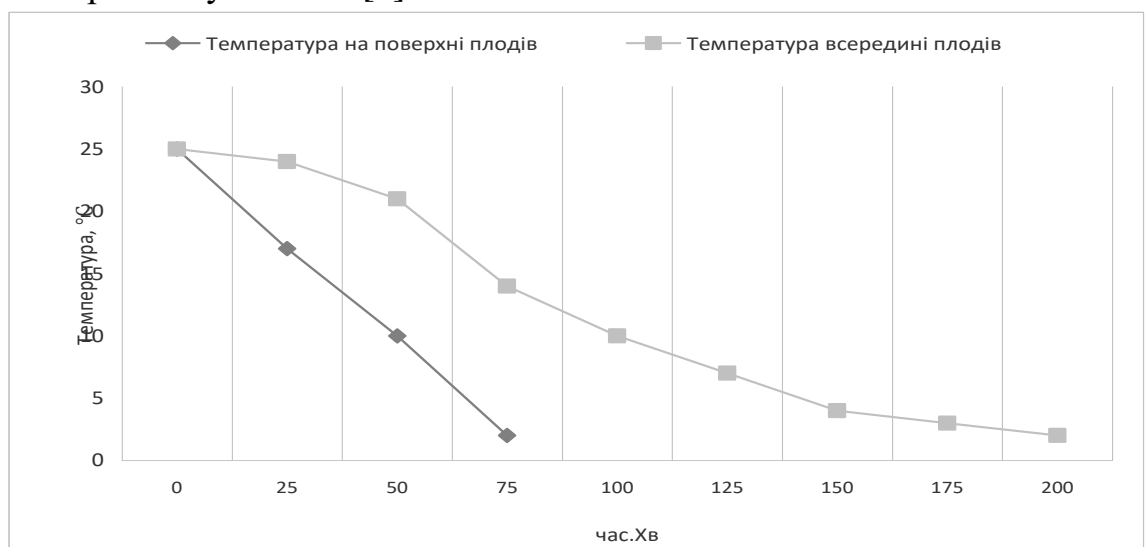


Рис. 2. Зниження температури на поверхні і всередині плодів черешні в процесі вакуумного охолодження

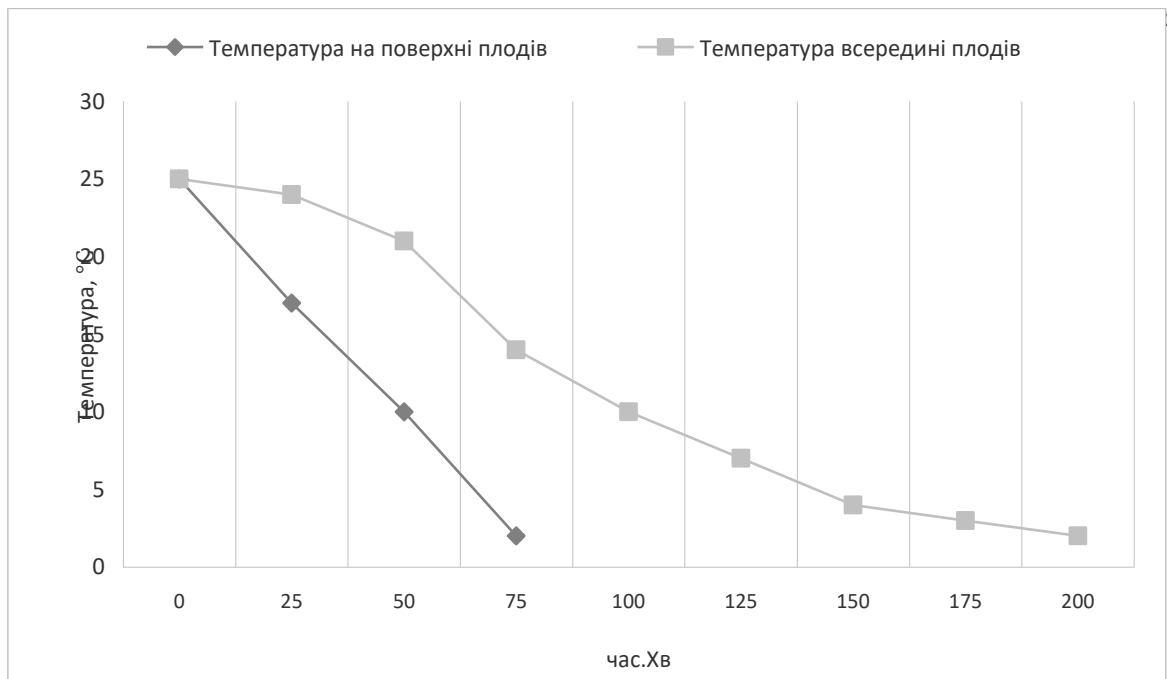


Рис.3. Зміна температури на поверхні та всередині плодів черешні при холодильному охолодженні

В першому методі термопари було встановлено у центр зразків для точного вимірювання температури центру плодів черешні після зважування та розміщення до вакуумної камери. Друга термопара була вільно підвішена у центрі камери. Зовнішня температура навколишнього середовища вимірялася за допомогою третьої термопари, розташованої навколо. Величини втрати маси, температури, часу і тиску були записані під час випробувань.

У другому методі приблизно 5 мл води було одноманітно розпилено на плоди черешні після зважування. В той час, як у третьому методі продукт було покрито поліетиленовою плівкою після розприскування води на плоди черешні. Вимірювання температури у другому та третьому методах проводилося аналогічно з першим методом.

Період охолодження плодів черешні з температури 25°C до точки, коли температура продукту досягає 2°C складає 40 хв при тиску у вакуумній камері 29кПа. Випробування було припинено у цій точці, тому що подальше зниження тиску та збільшення періоду охолодження призводить до замерзання продукту та, як наслідок, зниження його ринкової вартості.

Втрата маси G , % розраховувалась за формулою:

$$G = \frac{G_n - G_i}{G_n} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де G_n - початкова маса плодів черешні, кг;

G_i – маса плодів черешні на момент тестування, кг.

При аналізі діаграми (рис. 4) видно, що найвище значення втрати маси при звичайному вакуумному охолодженні без додавання води.

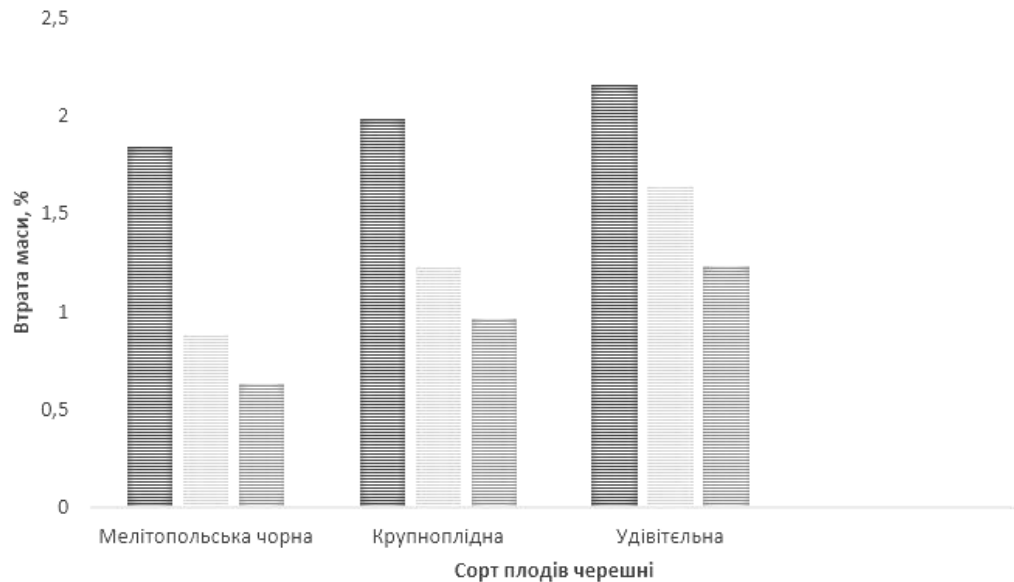


Рис. 4. Втрата маси плодів черешні в процесі вакуумного охолодження

Ці значення (таблиця 1) становлять для плодів черешні Мелітопольська чорна, Крупноплідна та Удівительна 1,84;1,98; 2,16% відповідно. Очевидно, що значення втрати маси зменшується, коли продукт піддається вакуумному охолодженню при достатньому зволоженні. Значення втрати маси при додаванні води становлять 0,88% для плодів черешні сорту Мелітопольська чорна, 1,23% для сорту Крупноплідна, 1,64% для сорту Удівительна. Найнижчі значення втрати маси становлять при розприскуванні води та покритті поліетиленовою плівкою: 0,63; 0,96; 1,23% відповідно для сортів Мелітопольська чорна, Крупноплідна, Удівительна.

З метою розширення терміну зберігання та збереження якості плодів черешні проведено вивчення закономірностей динаміки біохімічних речовин і органолептичних властивостей плодів черешні при вакуумному охолодженні та зберіганні. В таблицях 1 та 2 наведено порівняльні дані параметрів та режимів звичайного холодильного зберігання (контрольного способу) та холодильного зберігання з попереднім вакуумним охолодженням плодів черешні.

Таблиця 1. Параметри та режими зберігання плодів черешні

Спосіб зберігання	Попередня обробка	Температура зберігання	Відносна вологість	Тривалість зберігання
Холодильне зберігання (контроль)	Плоди черешні збирають у стані знімальної стиглості, укладають у ящиківі піддони і направляють на	1-2°C	80-90%	14

	зберігання.			
Холодильне зберігання з попереднім вакуумним охолодженням	Зібрані плоди черешні охолоджують у вакуумній камері і направляють на холодильне зберігання	1-2°C	80-90%	21

Таблиця 2. Фізико-хімічні показники якості плодів черешні.

Показник	Плоди черешні		
	Відразу після збирання	Після холодильного зберігання	Після холодильного зберігання з попереднім вакуумним охолодженням
Термін зберігання, днів	0	14	21
Масова частка сухих речовин, %	17,3-19,8	16,37-18,79	17,05-19,56
Загальний цукор, %	11,8-13,0	10,8-11,4	11,2-12,6
Загальна кислотність, %	0,53-0,68	0,48-0,62	0,5-0,65
Вітамін С, мг/100 г	11,2-12,4	4,5-5,1	6,9-8,1
Загальна органолептична оцінка	5	3,2	4,9

Висновки

1. Завдяки вакуумному охолодженню тривалість короткострокового зберігання свіжих плодів черешні подовжується до 21 доби.

2. Плоди після вакуумного охолодження та подальшого короткотривалого зберігання мають вищу товарну якість, зокрема сухих розчинних речовин на 3,88-3,9%, титрованих кислот на 1,69-3,07%, загальних цукрів на 3,4-9,21%, вітаміну С на 21,43-25,42% більше, ніж після звичайного холодильного зберігання.

3. Загальна органолептична оцінка плодів з попереднім вакуумним охолодженням на 34% вища, ніж при контрольному варіанті.

Таким чином, можна зробити висновок, що вакуумне охолодження є швидким та ефективним методом для охолодження плодів черешні у порівнянні зі звичайним холодильним охолодженням.

**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.

5. ОЦІНКА ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ПІСЛЯ ЗБЕРІГАННЯ У ЗЕРНОСХОВИЩІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЗВОРУШЕННЯ

Реферат

Об'єктом дослідження є процес охолодження із застосуванням барботування.

Предметом дослідження є технологічні та конструктивні параметри процесу охолодження із застосуванням зворушування у зерносховищі з енергетичними та якісними показниками.

Метою дослідження є обґрунтування раціональних параметрів роботи зерносховища у процесі зберігання на рівні технологічних вимог при мінімальних енерговитратах процесу.

Методи досліджень. Поставлені задачі вирішувались з використанням теоретичного та експериментального інструментарію. Теоретичні дослідження базуються на основних положеннях фізики, методах диференціального обчислення та теорії імовірності, математичного моделювання, теорії подібності, механіки коливальних систем, прикладного програмування.

Основні результати досліджень:

1. Установлено закономірності процесу імпульсного пневмодинамічного барботування з використанням стоячої хвилі для зворушення насіннєвого матеріалу у повздовжньому та поперечному напрямках при його зберіганні у зерносховищі.

2. Теоретичні залежності, які враховують зміни характеристик конвекційного потоку повітря у процесі активного вентилявання насіння холодоносієм;

3. Основні закономірності зміни фізико-механічних характеристик насіння з урахуванням рекомендованих режимів її зберігання.

ЗБЕРІГАННЯ, ТЕХНОЛОГІЯ, ЗЕРНО, ЗЕРНОСХОВИЩЕ,
ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ, МОДЕЛЬ, КЛЕЙКОВИНА, ВОЛОГІСТЬ.

Вступ

Однією з найбільш важливих умов безпеки будь-якої держави є забезпечення населення якісною продовольчою сировиною та продукцією, що передбачає розвиток технічної бази зберігання і первинної переробки сільськогосподарської продукції. Лише невелика частина сільськогосподарської продукції безпосередньо надходить від виробника до індивідуального споживача, а значний або переважний її відсоток підлягає спочатку зберіганню, а далі – первинній переробці у різних ланках господарства. Можна підвищувати врожайність усіх культур і різко збільшувати їхні валові збори, але не одержати потрібного ефекту, якщо на різних етапах просування продуктів до споживача відбудуться великі втрати маси і погіршення якості.

5.1 Програма і методика досліджень

Поставлені задачі вирішувались з використанням теоретичного та експериментального інструментарію.

Програмою досліджень передбачено:

Експериментальну частину досліджень проводили згідно чинних методик та галузевих стандартів для оцінки фізико-механічних, біохімічних та мікробіологічних змін у зерновій сировині на спеціально розробленій дослідній установці при використанні розробленого експериментального оснащення і застосування методів математичної статистики та планування багатофакторних експериментів. Обробку результатів досліджень проводили за допомогою IBM-сумісного ПК з використанням табличного процесора Microsoft Excel, програмного забезпечення MathCAD, MATLAB, Statistika.

5.2. Обґрунтування принципової схеми зерносховища

Проведений аналіз дозволив розробити принципову схему зерносховища. Дана конструкція дозволяє уникнути значних втрат зерна, зберегти його якість, а також знизити витрати на зберігання. Потік повітря, який проходить крізь зернову масу, здійснює різносторонній технологічний вплив на зерно. Зернова продукція розміщується на певній відстані від підлоги, що значно зменшує можливість накопичення вологості нижніми шарами зернової маси. Нижню опорну поверхню піддона рекомендується виконувати металеву з метою поліпшення умов зберігання зерна, а бічні – металевими.

Розроблена система зберігання передбачає використання конвективного потоку холодоносія за двома напрямками: централізований – для постійного винесення вологи з поверхні сипкої продукції та створення необхідних умов мікроклімату та локальний – для зворушення та неперервного оновлення шарів сировини при винесенні вологи до поверхні. Така схема зерносховища із активним вентиляванням конвективним потоком

холодоносія дає можливість зберегти основні властивості продукції з мінімальними втратами протягом довготривалого терміну. Локальний спосіб охолодження досягається за допомогою спеціальних імпульсних пневмодинамічних барботерів, які розміщуються з двох боків піддона з продукцією, що розміщується насипом, напроти один одного. У результаті взаємодії зустрічних пневмодинамічних хвиль та їх суперпозиції утворюються стоячі хвилі, що переносять кінетичну енергію як у повздовжньому, так і потоків, які в свою чергу зворушують зернову масу. За таких умов зберігання зернової маси практично виключаються злежування та активація небажаних мікробіологічних процесів. Дана система не передбачає застосування достатньо металоємких та енерговитратних механічних засобів зворушення зернової продукції. Застосування такого способу дозволяє швидко знизити початкову температуру партії зерна, а тим самим запобігає втратам, які виникають внаслідок у ході процесу зберігання.

5.3. Результати досліджень принципової схеми зерносховища

Сільське господарство України є виробником великої кількості продукції рослинництва - зерна, технічних культур, плодів, овочів та кормових засобів. Більшість цієї продукції проходить післязбиральний обробіток безпосередньо в господарствах, реалізується державі та на ринку, частково переробляється та зберігається безпосередньо в господарствах. Враховуючи вищесказане сільськогосподарське виробництво вимагає значного удосконалення та підвищення рівня не тільки технологій вирощування сільськогосподарських культур, а також прийомів та способів післязбиральної обробки, зберігання та первинної переробки сільськогосподарської продукції

Підготовку сховищ до зберігання продукції починають з прибирання складів і камер та прилеглих територій від решток і сміття. Сухі рештки спалюють, а вологі закопують глибоко в ґрунт. Обладнання і тару, які можна винести, складають на майданчику біля складу для провітрювання. Після прибирання сховища його кілька днів провітрюють та просушують. [4,5,7,8,9]

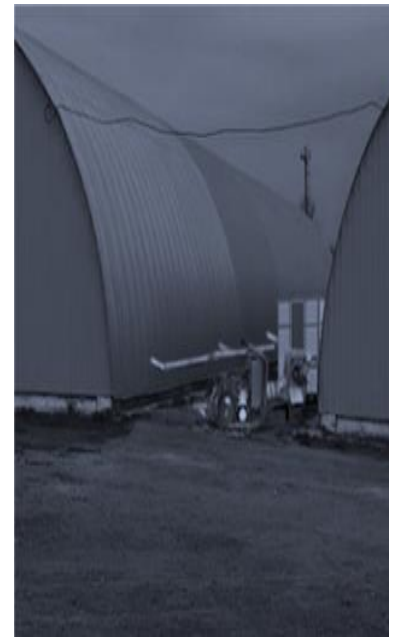
Дослідження технології охолодження зернової маси, а саме пшениці із застосуванням запропонованих зерносховищ у процесі зберігання проводили у Т ТОВ «СПП ЛАНА» Михайлівського району Запорізької обл.

Збереження природних якостей зерна на практиці за рахунок використання холоду, а холод - дешевий і незамінний консервант будь-якої сільськогосподарської продукції, дозволив підвищити ефективність тривалого зберігання.

Нами пропонується система зберігання зернової маси у зерносховищі, яка складатиметься із певного виду обладнання. рис 1.



а)



б)

Рис.1 Загальний вигляд двох зерносховищ (а), які обладнанні розробленої системою охолодження, (б) між двома зерносховищами розташована система охолодження двох зерносховищ у ТОВ «СПП ЛАНА»



Рис.2 Зерносховище з завантажувальним зерновим матеріалом у піддонах з бортами під час охолодження у ТОВ «СПП ЛАНА»

Нами пропонується розглянути основні параметри якості, які були отримані у процесі охолодження у зерносховищі ангарного типу. На рис.2. Зображено зерносховище із зерном. Хочемо сказати, що нами розглядалися у ТДАТУ 3 зерносховища із різними режимними параметрами, та ми прийшли к рішенню, що з температурою від 8...15 °С більш рентабельне та має кращі показники якості після зберігання. В експериментальних дослідження виористовували пшеницю (сорт: Шестопалівка), вирощену в Запорізькій області. За допомогою програми прорами МATHCAD були знайдені регресійні моделі по усім показника.

Перший показник, який знаходили був клейковина. рис.3 і рис.4.

Можемо стреджувати, що після перевірки по критеріям Фішера, Стюдента було виявлено, що модель має найменшу похибку це квадратична.

$$y = -21,4681 - 1,4414x_1 + 14,7789x_2 + 0,03069x_1^2 - 0,82105x_2^2.$$

Середнє квадратичне відхилення теоретичних та експериментальних даних дорівнює 0,031.

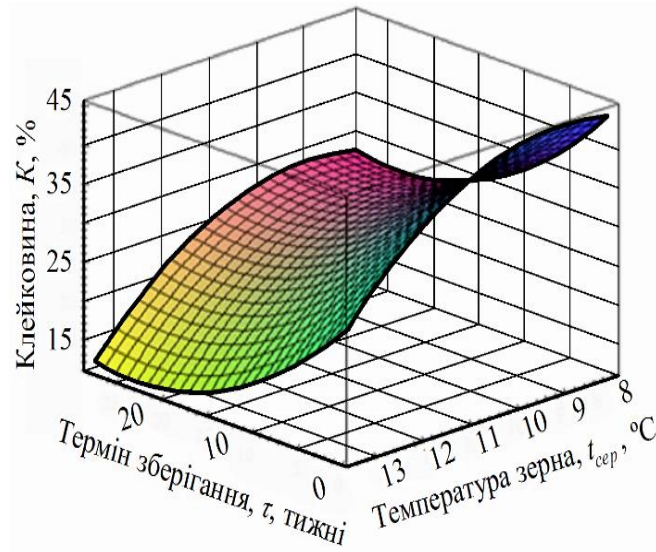


Рис.3 Залежність вмісту клейковини пшениці від терміну зберігання τ та температури зерна $t_{\text{зер}}$

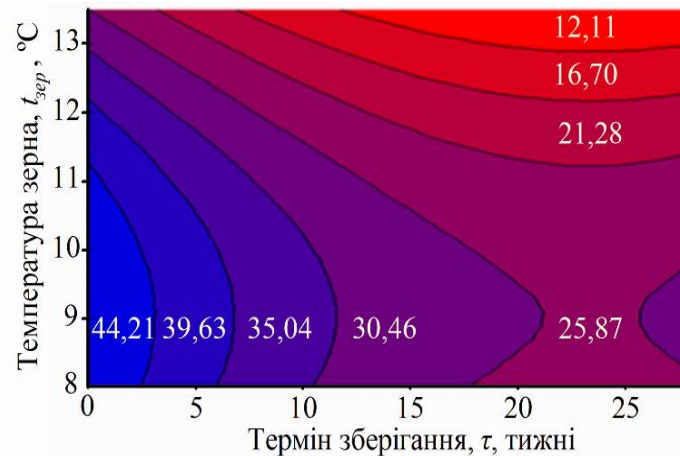


Рис.4 – Двовірна залежність вмісту клейковини пшениці від терміну зберігання τ та температури зерна $t_{\text{зер}}$

При цьому режимі даного процесу зберігання виявили, що найбільш сприятливим терміном зберігання є 24 тижнів при температурі не більше 9 °C, клейковина при цьому складе 28,1 %.

Далі визначали індекс деформації клейковини. рис.5 і рис.6.Також були отримані регресійні моделі, та виявлено, що квадратична модель має меншу похибку,тому вона краще описує процес.

$$y = 84,9157 - 0,9736x_1 - 1,78446x_2 + 0,014054x_1^2 + 0,53159x_2^2 + 0,03295x_1x_2.$$

Середнє квадратичне відхилення теоретичних та експериментальних даних дорівнює 0,00517.

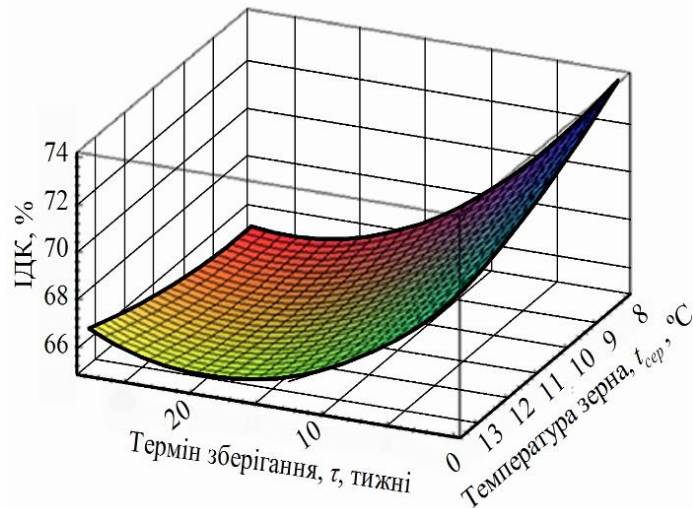


Рис.5 Залежність ІДК пшениці від терміну зберігання τ та температури зерна $t_{сер}$

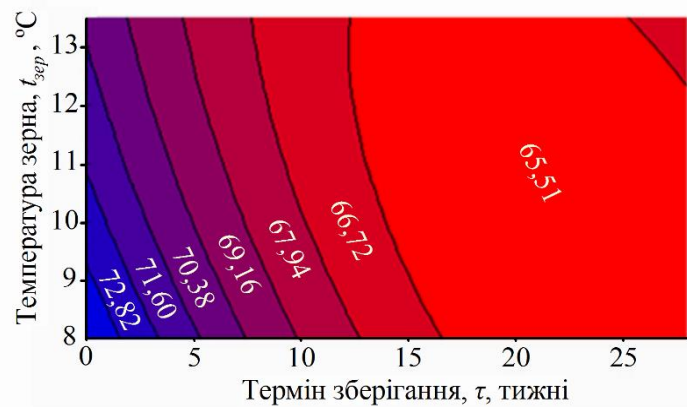


Рис.6 Двомірною залежність ІДК пшениці від терміну зберігання τ та температури зерна $t_{сер}$

Найбільш сприятливим терміном зберігання є 23-24 тижнів при температурі не більше $9,5^{\circ}\text{C}$, ІДК при цьому складе 65 %.

Та була визначена вологість у період зберігання рис.7 і рис.8.

Отримані регресійні моделі, та обрано таку модель, яка має меншу похибку

$$y = 13,74241 + 0,163711x_1 - 0,74771x_2 - 0,00152x_1^2 + 0,051092x_2^2 - 0,00958x_1x_2.$$

Середнє квадратичне відхилення теоретичних та експериментальних даних дорівнює 0,00913

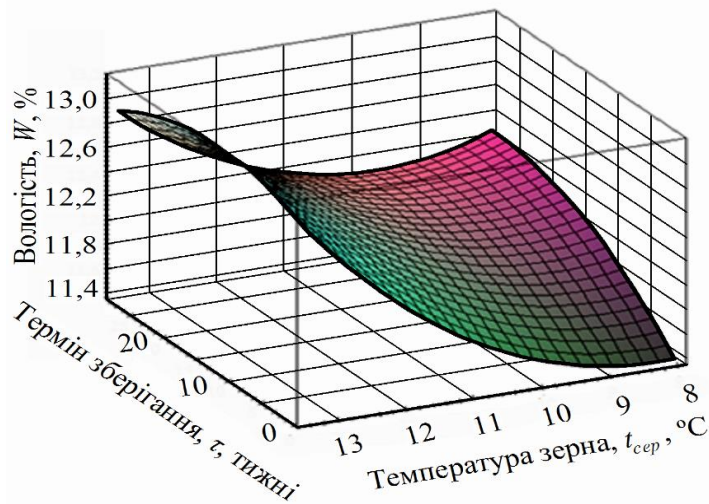


Рис.7 Залежність вологості пшениці від терміну зберігання τ та температури зерна $t_{сер}$

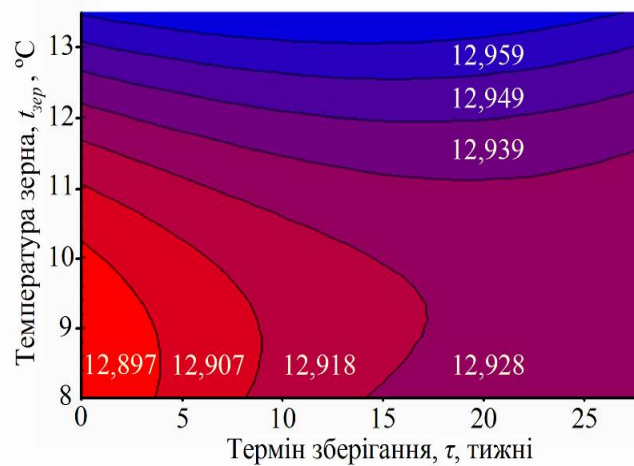


Рис.8 Двомірна залежність вологості пшениці від терміну зберігання τ та температури зерна $t_{сер}$

Висновки

Розроблена система пневмодинамічного зворушення зерна дозволяє забезпечити безперервне оновлення її шарів у повздовжньому та поперечному напрямках та винесення вологи до верхніх шарів за достатньо помірних енерговитрат. Централізована система активного вентилявання холодоносієм виносить дану вологу назовні та забезпечує необхідні умови мікроклімату у зерносховищі, раціональні параметри якого отримані за результатами стохастичне моделювання за методом Бокса-Бенкіна. Конструктивно-технологічні елементи проектованої системи зберігання пройшли успішну практичну апробацію

Теоретичними дослідженнями встановлено, що інтенсивне барботування та відповідно перемішування зернової маси у горизонтальній площині можливе при застосуванні стоячої пневмодинамічної хвилі за умови опозитного розташування імпульсних генераторів. Робочий тиск останніх

має бути у межах 0,3...0,5 МПа, а співвідношення тисків відкривання (P_3) і закривання (P_2) діафрагми пневматичної робочої камери має відповідати умові $P_3 = (3,5...5)P_2$. За результатами експериментальних досліджень процесу пневмоімпульсного барботування виявили, що за амплітудного значення імпульсу 300...500 кПа по довжині піддону із зерною продукцією спостерігається зменшення надлишкового тиску за ударною хвилею лише на 12 кПа; так як ударна хвиля практично не втрачає своєї функціональності на відстані 5 м, тобто проектованої довжини піддона з продукцією.

Перелік опублікованих праць за темою досліджень

1. Паламарчук І.П., Кюрчев С.В., Верхоланцева В.О. Застосування вібротехнологій у процесах зберігання сільськогосподарської продукції. Матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції (17-18 травня 2018р., м. Умань). Імпортозамінні технології вирощування, зберігання і переробки продукції садівництва та рослинництва.-с.113-115.

2. Паламарчук І.П., Кюрчев С.В., Верхоланцева В.О. Використання продукта зберігання у виробництві. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Агроекологічні аспекти виробництва та переробки продукції сільського господарства», 7-8 червня 2018 року. Мелітополь-Кирилівка, 2018. С. 55.

3. Optimization of the parameters for the process of grain cooling / Igor Palamarchuk, Sergey Kiurchev, Valentyna Verkholtantseva [et al.]. *ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII: V Jubileuszowa Międzynarodowa Konferencja* (20 – 22 червня 2018., м. Кринниця). Кринниця, 2018. С. 91.

4. Кюрчев С.В., Верхоланцева В.О., Паляничка Н.О. Візуалізація конструкції зерносховища та процесу охолодження. «Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність», присвяченої 50-річчю заснування Харківського державного університету харчування та торгівлі: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, Харків, 18 травня 2017 р.: Тези доповідей. Ч.1.- Наукове фахове видання.- Х.:2017.-с. 258-260.

5. Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О. Перспективний процес зберігання зерна із застосуванням охолодження у зерносховищі. *Сучасні проблеми землеробської механіки : матеріали XVIII Міжнар. наук. конф., присвяченої 117 - й річниці від дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка (16 – 18 жовтня 2017 р., м. Кам'янець – Подільський)*. Кам'янець-Подільський, 2017. С. 141 - 143.

6. Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О. Визначення важливого фактора якості пшениці у процесі зберігання із застосуванням охолодження. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць*. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. Вип. 18. Т. 1. С. 20 - 28.

6. ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИСКОРЕННОГО ПРОРОЩУВАННЯ ЗЕРНА У ЦИЛІНДРИЧНОМУ БАРАБАНІ З ІОНІЗАЦІЄЮ ПОВІТРЯ

Реферат

Об'єкт досліджень: процес пророщування зерна у циліндричному барабані з іонізацією повітря.

Предмет досліджень: закономірності, які пов'язують вплив іонізованого повітря на пророщування зерна ячменю у циліндричному барабані.

Метою дослідження. Метою даної роботи скорочення часу пророщування зерна при виробництві солоду в циліндричному барабані з використанням іонізованого повітря.

Методи досліджень. Поставлені задачі вирішувалися з використанням теоретичних методів дослідження, що дозволили досягти основних результатів і підтвердити їх експериментально. Оцінка величини впливу факторів на інтенсивність отримання кормового солоду виконується із застосуванням параметричного лінійного кореляційного аналізу К. Пірсона, виконаного для міжфакторних вихідних параметрів та їх впливу на критерій оптимізації — довжину паростків.

Основні результати досліджень:

4. 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 насінневій масі.

5. 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, %.

6. 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, ЛІНІЙНА КОРЕЛЯЦІЯ.

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 пророщування 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 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 пророщування 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 солододорощення зерну необхідно знаходитись в багатій киснем навколишнього середовища. Проте прагнення використовувати кисень при замочуванні та (пророщування) пророщування 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.

6.1 Методи і програма досліджень

Завданням роботи є оцінка 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. При цьому для множинного регресійного аналізу необхідна відсутність сильної лінійної взаємної кореляції незалежних ознак. Якщо будь-які з незалежних ознак корельовані між собою на рівні 0.5–0.7, то необхідно

залишити для регресійного аналізу ті з них, які мають більш сильну кореляцію із залежною ознакою.

Кореляція залежної ознаки з кожною із незалежних повинна бути більшим ніж 0.7.

При цьому слід ураховувати, що методи лінійного кореляційного аналізу дають змогу перевіряти лише наявність лінійного зв'язку.

Досліджуванним матеріалом при визначенні при проведенні попередніх, лабораторних та експериментальних досліджень є насіння ячменю пивоварного сорту Геліос, з вихідною вологістю 16 %, що відповідає вимогам ДСТУ 4138–2002.

Для проведення попередніх і лабораторних досліджень вологість солоду становить 43.0, 44.0, 45.0, 46.0 і 47.0 %, для проведення експериментальних досліджень — 42.6, 43.0, 45.0, 47.0 і 47.4 %.

Маса води $m_{\text{в}}$, яку треба додати до маси зерна ячменю $m_{\text{я}}$ з вихідною вологістю $w_{\text{я}}$ для одержання заданої кінцевої вологості солоду $w_{\text{к}}$ визначається за формулою

$$m_{\text{в}} = \frac{w_{\text{к}} - w_{\text{я}}}{100 - w_{\text{к}}} \cdot m_{\text{я}} \quad (1)$$

Визначення потрібної вологості виконується за виразом (1). При цьому визначається необхідна кількість додавання маси води, та маса вологого зерна. Для вихідної маси зерна 100 г і вологості 16 % результати розрахунку подані в табл. Для зволоження зерна до необхідної вологості відбирають його потрібну кількість, зважуючи на вагах з точністю до 5 г (рис. 1а).

При цьому його частина масою 100 г, визначена з точністю до 0.5 г (рис. 1б), яка призначена для контролю вологості, поміщається у сітчастий контейнер

Таблиця 1. Кількість доданої маси води до маси зерна, поміщеного у контейнер, і загальна маса змоченого зерна у залежності від його вихідної і кінцевої вологості

Вихідні показники		Кінцеві показники		
Вологість зерна $w_{\text{я}}$, %	Маса зерна $m_{\text{я}}$, г	Вологість зерна $w_{\text{я}}$, %	Додана маса води $m_{\text{в}}$, г	Маса зерна у контейнері, г
16.0	100.0	20.0	5.0	105.0
		25.0	12.0	112.0
		42.6	46.3	146.3
		43.0	47.4	147.4
		44.0	50.0	150.0
		45.0	52.7	152.7
		46.0	55.6	155.6



Рис. 1 (а) – Ваги лабораторні
ТВЕ-300-5



Рис. 1 (б) – Ваги лабораторні
ТВЕ-0,5-0,01

Відібрана кількість зерна і зерно у контейнері поміщають у ящик, причому контейнер повинен розташовуватися у середині шару зерна. Ящик заливають водою з температурою 12–14° С і витримують впродовж 6–8 годин при посиленій аерації.

Визначають вологість зерна та борошна також методом висушування 10 г розмеленого на млині «Пірует» зерна або борошна в електричній напівавтоматичній сушильній шафі Брабендера (рис. 2) за 130°С протягом 40 хв. Шафа для швидкого визначення вологості обладнана 10 гніздами для розміщення 10 проб, нагрівальними елементами, біметалевим і контактним термометрами, торсіонними терезами. Наважку 10 г зважують у бюксах на технічних вагах. Після встановлення заданої температури бюкс з пробкою поміщають у камеру напівавтомата. Потім за допомогою ручки колеса 10-



гніздову тарілку повертають так, щоб можна було поставити другу пробу, за нею третю і т. д. Тарілку можна повертати тільки у тому разі, коли важіль вбудованих терезів піднятий, тобто терези не працюють.

Рис. 2. Напівавтоматична
шафа Брабендера

Надалі можна опускати важіль терезів лише за правильного положення тарілки, у цьому разі чітко чути клацання. Після закінчення часу сушіння, вмикають освітлення терезів, важіль з лівого боку опускають. В освітленому віконці відображається відсоток вологості. Після запису результату в журнал важіль піднімають і тарілку за допомогою ручки-колеса повертають до настання клацання. Та само встановлюється над терезами друга проба, потім третя і т.д.

Після цього виймають контейнер, висипають з нього зерно, як промокають, відбираючи вільну воду, зважують і знову укладають в контейнер, який знову поміщають у шар зерна в ящику.

Для одержання потрібної вологості 20–25 % маса зволоженого зерна у контейнері повинна збільшитися на 5.0–12.0 г, тобто становити 105.0–112.0 г (табл. 2).

Після цього зволожене зерно укладають рівномірним шаром в солодовирощувальний ящик. Тут його зрошують водою при температурі 12–14°C з використанням тривалих повітряних пауз. Перше ворущіння виконують через 4–6 годин після завантаження ячменю, потім через 6–8 годин.

Аерація шару зерна здійснюється продуванням впродовж 3–5 хвилин повітрям температурою 12–14°C. Перше продування виконується через 2 години від початку замочування, наступні — через 1 годину.

Цей спосіб замочування створює сприятливі умови для розвитку зародка, тому через 24–30 годин від початку замочування зерно починає проростати. Від цього часу слід контролювати вологість зерна, зважуючи зерно, поміщене у контейнері.

При досягненні заданої вологості зрошування зерна припиняють і воно укладається у солодовирощувальний барабан.

6.2 Обґрунтування схеми та конструкції солодовирощувального барабану з плоским ситом

Запропонований нами експериментальний солодовирощувальний барабан має наступну конструкцію. До відкритої сторони горизонтального циліндру 1 приєднується швидко знімне кільце 7. Зі встановленим кільцем виконується завантаження замоченого зерна та його пророщування, а зі знятим — вивантаження солоду, для миття, дезінфекції барабана та технічне обслуговування барабана.

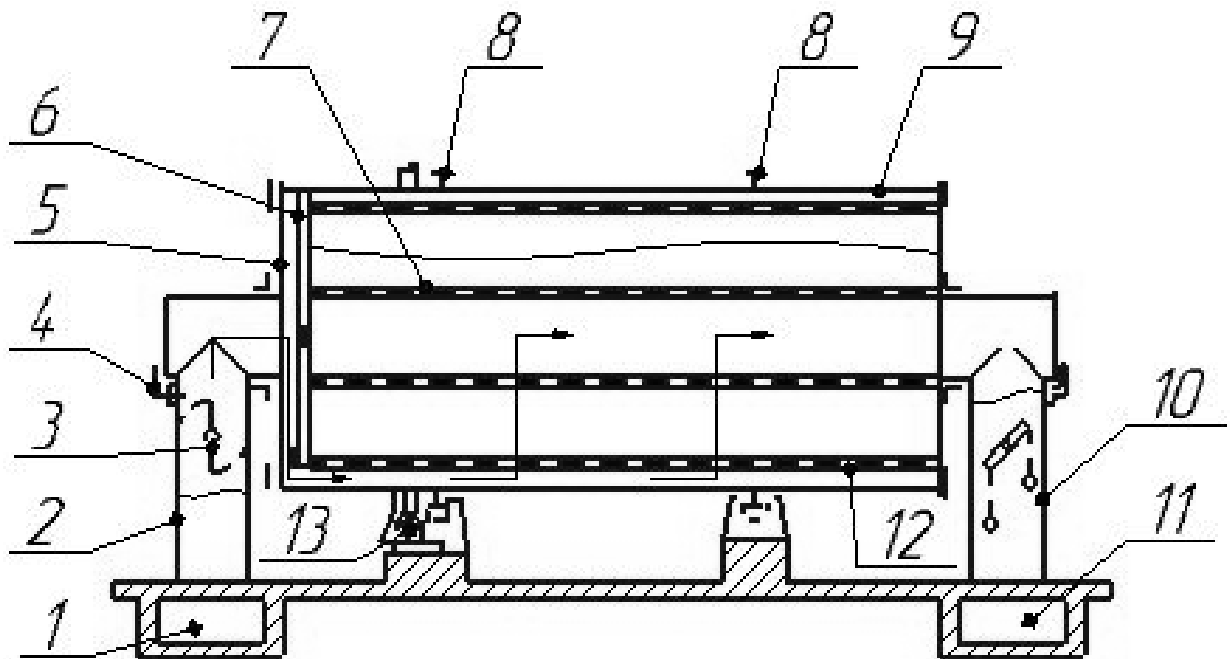


Рисунок 3. Солодовирощувальний барабан з плоским ситом:

1 – горизонтальний циліндр, 2 – зовнішні днища, 3 – внутрішні днища, 4 – черв'ячна шестерня, 5 – бандаж, 6 – люк, 7 – горизонтальний циліндр, 8 – сітка, 9 – опорні ролики, 10 – плоске сито, 11 – черв'як.

Солодовим барабаном з плоским ситом (рис. 3) є сталевий горизонтальний циліндр 7, що спирається двома бандажами 5 на опорні ролики 9. До одного з бандажів прикріплена черв'ячна шестерня 4, що знаходиться в зачепленні з черв'яком 11, що приводить в обертання барабан. На корпусі барабана є люки 6 для завантаження замоченого зерна і вивантаження солоду, для миття і дезінфекції барабана.

Усередині барабана закріплено плоске сито 10, куди рівним шаром укладається пророщуване зерно. З торців барабан має по два днища: через зовнішні днища 2 введені з ущільненням кінці повітроводом 1, а внутрішні днища 3 обмежують з торців робочу зону барабана. Між зовнішніми і внутрішніми днищами утворені камери для подачі кондиціонованого повітря і виведення того, що відпрацювало.

Замочене зерно завантажують на сито через верхні люки 6. Після закриття люків барабан приводиться в обертання для вирівнювання шару зерна. Зерно при цьому впродовж 1-1,5 години продувають не зволеним повітрям для його підсушування. Потім барабан зупиняють і витримують 4-6 годин. Рощення зерна відбувається в нерухомому барабані при нижньому горизонтальному положенні сита. Кондиціоноване повітря температурою 10-14°C нагнітається по лівому повітроводу 1 в підситовий простір, проходить через шар зерна і сітку 8 в праву камеру між днищами і далі — в правий повітровід 1.

Для перемішування зерна барабан приводиться в обертання — через 3 години в першу-четверту добу і через 4-6 годин в п'яту-шосту добу. Під час обертання зерно у барабані не провітрюють, оскільки воно закриває вихід повітря через сітку 8. Для економії енергії барабан обертається дуже повільно (1 оберт за 45 хв.).

6.3. Результати досліджень солодопророщувального барабану з плоским ситом

Результати пасивного експерименту при зазначених факторах, отримані у триразовій повторності, представлені в табл. 2.

Таблиця 2. Результати пророщування солоду під дією технологічних факторів

№ досліджу	Значення факторів					Довжина паростків l , см			Середнє, l
						Повторення			
	R , 1000 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

Результати проведення параметричного кореляційного аналізу Пірсона за даними табл. 2 наведено у кореляційній матриці, представлений в табл. 3, де у верху комірок наведено парні кореляції, а внизу — їхнє статистичне значення.

Таблиця 3. Результати пророщування солоду під дією технологічних факторів

Показник	Доза іонізації R	Товщина шару зерна h	Вологість солоду w	Кратність повітрообміну k	Швидкість переміщення зерна v
Товщина шару зерна h	-0.634 0.002	1			
Вологість солоду w	0.210 0.348	0.315 0.153	1		
Повітрообмін k	0.000 1.000	-0.370 0.090	-0.110 0.625	1	
Швидкість зерна v_z	0.525 0.012	0.224 0.316	0.586 0.004	-0.282 0.203	1
Довжина паростків l	0.563 0.006	-0.600 0.003	-0.427 0.048	-0.089 0.695	0.105 0.643

З неї бачимо, що коефіцієнт кореляції між факторами “вологість солоду” і “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 — $p=0.695$ (при прийнятому рівні значущості $\alpha=0.05$).

З табл. 3 бачимо, що доза іонізації, товщина шару зерна і вологість солоду фактори статистично значуще впливають на функцію відгуку — довжину паростків, корелюючи з ним непомітному (0,563 і 0,600) та помірному (0,427) рівні.

Висновки

1. У результаті 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 іонізації повітря, 1000 іонів в 1 см^3 ;

h – товщина шару зерна, см;

w – вологість солоду, %;

2. Доза іонізації, товщина шару зерна і вологість солоду фактори статистично значуще впливають на функцію відгуку — довжину паростків, корелюючи з ним на помітному (0.563 і 0.600) та помірному (0.427) рівні.

3. Ці фактори мають бути використані як в лабораторних, так і в інших дослідженнях для одержання математичної моделі оцінки впливу технологічних параметрів на довжину паростків кормового солоду.

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 Х-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. : [тези доповідей.] / підзаг. ред. Дейниченка 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 света на науката», 17 - 22 декември, 2015. – г. София: «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2015.– Т 17 – С. 91 - 94.

9. Харитоновна 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. Харитоновна А.І., Алексеєнко В.О. Построение модели второго порядка ПФЕ //Материали за XIV международна 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. Харитоновна, 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 річок Приазов’я, Мелітополь, 2019. – С. 40 - 42.

12. Олексієнко В.О., Харитоновна 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.