

УДК 637.2

№ держреєстрації 0111U002551

Інв. №

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

"ЗАТВЕРДЖУЮ"

Проректор з НР д.т.н., проф.


В.Т.Надикто

" 12 " _____ 2015 р.



ЗВІТ
про науково-дослідну роботу
(заключний)

Розробка технологій і технічних засобів для переробки і зберігання сільсько-
господарської продукції

Директор НДІ
д.т.н., проф.

Керівник НДР
к.т.н., проф.




В.Т. Надикто

Ф.Ю. Ялпачик

Мелітополь
2015

Список виконавців

1. Зав. каф., к.т.н., проф.



Ялпачик Ф.Ю.

(Тема 1.6.3)

2. д.т.н., проф.



Ялпачик В.Ф.

(розділ 1.6.3.1)

3. к.т.н., доц.



Самойчук К.О.

4. асистент



Івженко А.О.

(розділ 1.6.3.2)

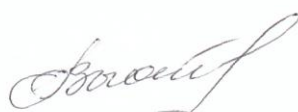
5. асистент



Ковальов О.О.

(розділ 1.6.3.3)

6. асистент



Полудненко О.В.

(розділ 1.6.3.4)

7. к.т.н., ст. викл.



Тарасенко В.Г.

(розд. 1.6.3.5)

8. к.т.н., доц.



Ломейко О.П.

(розділ 1.6.3.6)

9. к.т.н., ст. викл.



Паляничка Н.О.

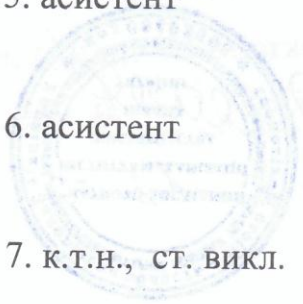
(розд. 1.6.3.7)

10. асистент



Верхоланцева В.О.

(розд. 1.6.3.8)



ЗМІСТ

Розділ 1.6.3.1 Результати і аналіз експериментальних даних з біохімічних характеристик та показників якості замороженої і розмороженої плодоовочевої сировини.....	5
1. Методика досліджень.....	5
2. Біохімічні характеристики та показники якості.....	6
3. Висновки.....	15
Розділ 1.6.3.2 Оптимізація параметрів процесу гомогенізації молока в роторно-пульсаційному апараті	17
1. Методика досліджень.....	19
2. Теоретичне та експериментальне дослідження гомогенізації молока в пульсаційному апараті з вібруючим ротором	21
3. Обробка, аналіз одержаних результатів та оформлення звіту	23
Розділ 1.6.3.3 Оптимізація параметрів процесу гомогенізації молока в струминному гомогенізаторі.....	27
1. Методи досліджень	29
2. Теоретичне та експериментальне дослідження гомогенізації молока в пульсаційному апараті з вібруючим ротором	31
3. Обробка, аналіз одержаних результатів та оформлення звіту.....	37
Розділ 1.6.3.4. Оптимізація параметрів струминного змішування напоїв	40
1. Методика досліджень.....	42
2. Теоретичне та експериментальне дослідження струминного змішування напоїв.....	44
3. Обробка, аналіз одержаних результатів.....	47
Розділ 1.6.3.5. Обґрунтування процесу підморожування кабачків і гарбузів при підготовці до заморожування	49
1. Методика досліджень.....	50
2. Теоретичне та експериментальне дослідження процесу заморожування кабачків і гарбузів при підготовці до довготривалого зберігання..	52
3. Обробка, аналіз одержаних результатів та оформлення звіту.....	57
Розділ 1.6.3.6 Виробничі випробування вакуумного способу охолодження плодів черешні та тимчасового їх зберігання.....	60
1. Методика досліджень.....	61
2. Дослідження змін товарних, фізіологічних та хімічних характеристик плодів при зберіганні з використанням вакуумного охолодження	62
3. Обробка, аналіз одержаних результатів та оформлення звіту.....	63
Розділ 1.6.3.7 Оптимізація параметрів процесу гомогенізації молока	65

1. Методика досліджень.....	67
2. Теоретичне дослідження імпульсної гомогенізації молока	69
3. Експериментальні дослідження процесу імпульсної гомогенізації молока.....	73

Розділ 1.6.3.8 Обґрунтування параметрів та вибір режимних параметрів зберігання зерна в охолодженому стані.....	80
1. Методика досліджень.....	81
2. Теоретичне та експериментальне дослідження зберігання зерна в охолодженому стані	82
3. Обробка, аналіз одержаних результатів та оформлення звіту.....	88

Розділ 1.6.3.1 Результати і аналіз експериментальних даних з біохімічних характеристик та показників якості замороженої і розмороженої плодоовочевої сировини

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є тепломасообмінні процеси заморожування та довготривалого зберігання плодоовочевої сировини

Предметом дослідження являються різні види та сорти плодоовочевої сировини у свіжому, замороженому та розмороженому стані.

Методи дослідження : фізико-математичне моделювання теплофізичних властивостей різних видів плодоовочевої сировини та процесів тепломасообміну при її холодильній обробці і зберіганні; експериментальні методи аналізу фізико-хімічних, фізико-механічних, біохімічних та мікробіологічних змін у плодоовочевій сировині; методи статистичного, кореляційного та регресійного аналізу експериментальних даних; методи обчислювальної математики, алгоритмізації розрахунків та програмування на мові „Turbo Pascal“, методи техніко-економічного аналізу ефективності промислових технологій.

Створено науково обґрунтовану технологію заморожування та розморожування кабачків, кукурудзи молочно-воскової стиглості, баклажанів, гарбуза, перцю солодкого та винограду, яка базується на теоретично визначених режимах заморожування.

ЗАМОРОЖУВАННЯ, КОЕФІЦІЄНТ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ, ЕНЕРГОВИТРАТИ, ДЕФРОСТАЦІЯ ФЛЮЇДИЗАЦІЙНИЙ ШВИДКОМОРОЗИЛЬНИЙ АПАРАТ

ВСТУП

Біохімічні реакції, що протікають в плодах та овочах у післязбиральний період (в основному у процесах респірації, заморожування, дозрівання і за тривалий проміжок часу) приводять до зменшення концентрації компонент сировини, часто тих, що складають її харчову цінність, визначають її показники якості. Мінімізація таких втрат визначає саму доцільність вибору того чи іншого способу зберігання, зокрема, в замороженому стані.

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Програма досліджень

Дослідження комплексної оцінки якості рослинної продукції при її заморожуванні і в процесі зберігання в замороженому стані.

1. Методика дослідження

Об'єктом дослідження є процес тривалого зберігання баклажан, перця, кабачків, гарбуза, кукурудзи молочно-воскової стиглості і винограду сорту „Молдова”.

Під час тривалого зберігання плодоовочевої продукції характеризується не тільки змінами зовнішнього вигляду, змінами біохімічного складу, а фізико-механічних властивостей.

Всередині і зовні клітки є внутрішній гідростатичний тиск, який призводить до напруженням у кліткових оболонках і виникаючої в результаті пружної деформації, або напруженню.

Задача досліджень полягає у виборі режимів заморожування і дефростації, обумовлених забезпеченням умов для зниження пошкоджуючої дії осмотичного тиску води; зменшення деформації біологічного об'єкту зростаючими кристалами льоду; досягання зневоднення біологічного об'єкту, достатнього для попередження внутрішньоклітинної кристалізації.

Розв'язування поставленої задачі здійснюється шляхом аналізу змін фізико-механічних властивостей в процесі тривалого зберігання в замороженому стані математичної моделі процесу заморожування сільськогосподарської продукції.

Об'єктом випробувань є механізм тривалого зберігання плодоовочевої продукції на прикладі баклажана, перцю, кабачків, гарбуза, кукурудзи молочно-воскової стиглості і винограду сорту „Молдова”.

2. Біохімічні характеристики та показники якості

Перцю солодкого в процесі заморожування і зберігання в замороженому стані

Як відомо, перець солодкий займає одне з перших місць серед овочевих культур за вмістом вітаміну С. Дослідження показали, що дійсний вміст аскорбінової кислоти в плодах всіх сортів високий, проте тут мають місце сортові особливості. Найбільший вміст цього дуже важливого для людського організму вітаміну має сорт „Атлант“ – 220,1 мг/100 г сировини, 214 мг/100 г – сорт „Сонечко“, найменший в сорті „Ластівка“ (162,8 мг/100 г).

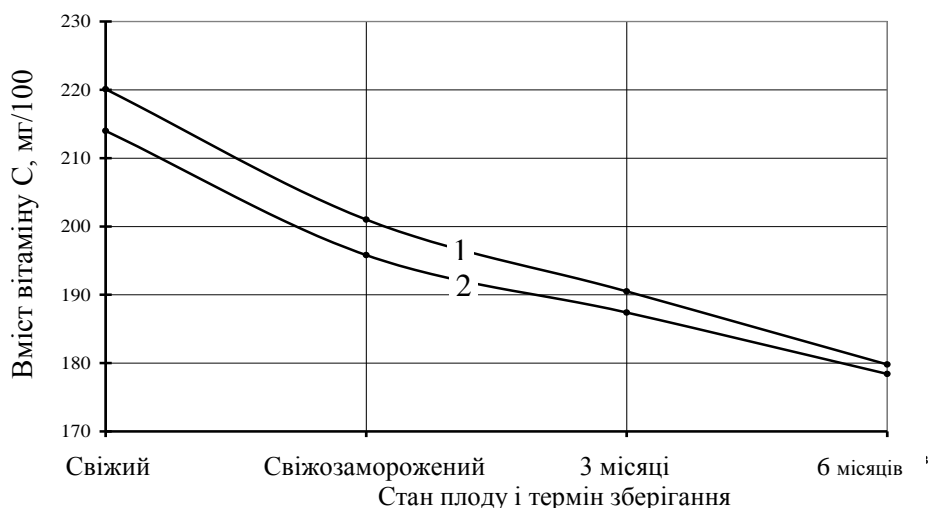


Рис. 1. Зміна вмісту аскорбінової кислоти в перці солодкому в процесі зберігання в замороженому стані : 1 – сорт „Атлант“; 2 – сорт „Сонечко“

На кінець терміну зберігання збереження аскорбінової кислоти було найбільшим у сорту „Сонечко“ – 83,36%, сорту Атлант – 81,37% і найменшій – у сорту „Антей“ (67,23%).

Результати досліджень змін вмісту аскорбінової кислоти в перці солодкому при тривалому зберіганні в замороженому вигляді представлені на рис.1.

Вміст цукру для різних сортів перцю мав найменше значення 3,6% (у сорті „Ластівка“) і найбільший – 5,34% (у сорті „Сонечко“). В процесі заморожування зафіксоване незначне підвищення кількості цукру. На нашу думку і це явище відбувається в результаті випаровування деякої кількості вологи і збільшення концентрації продуктів гідролізу крохмалю, інверсії сахарози і переходу глюкози в солодшу фруктозу.

Результати досліджень зміни вмісту цукру перцю солодкого в свіжому виді, після заморожування і через 3 і 6 місяців низькотемпературного зберігання представлені на рисунку 2.



Рис. 2. Зміна вмісту цукру у перці солодкому в процесі збереження в замороженому стані: 1 – сорт „Ластівка“; 2 – сорт „Сонечко“

Наведені показники характеризують харчову якість заморожених плодів перцю в динаміці тривалого зберігання. Для постачання в торгову мережу замороженого перцю варто зберігати його не більше шести місяців; для переробного підприємства можливе зберігання до дев'яти місяців.

Біохімічні характеристики та показники якості гарбуза в процесі заморожування і зберігання в замороженому стані

Незалежно від способу зберігання вміст цукру в плодах гарбуза знижувався (див. рис.3). Тільки протягом періоду зберігання гарбуза в природних умовах (при низьких позитивних температурах) зниження вмісту цукру було набагато інтенсивніше, ніж у замороженого. Це можна пояснити витрачанням цукру при диханні і різною інтенсивністю дихання. Відразу ж після заморожування відзначалося зниження вмісту загального цукру на 4,2...5,6%; до кінця зберігання (10 місяців) збереженість цукру в замороженому гарбузі склала 85,7...92%, що пов'язують з окислювальними процесами, що відбуваються в замороженій продукції. В свою чергу збереженість цукру в контролі склала на шостому місяці зберігання 66,3...74%.

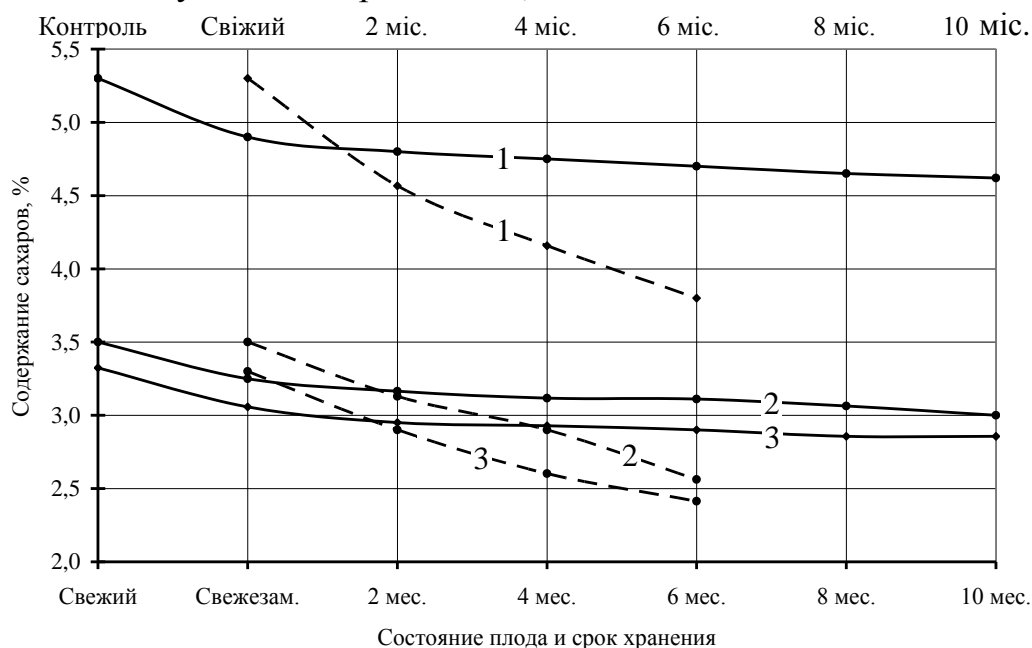


Рис. 3. Зміна вмісту цукру у плодах гарбуза при збереженні. Зберігання: — у замороженому виді; --- контрольне. Сорт: 1 – „Мигдальний“; 2 – „Новинка“; 3 – „Український великоплідний“

Важливим компонентом, що також визначає харчову цінність плодово-овочевої сировини, є пектин. Дані щодо експериментально визначених змін цього компоненту в гарбузі замороженому представлено на рис.4.

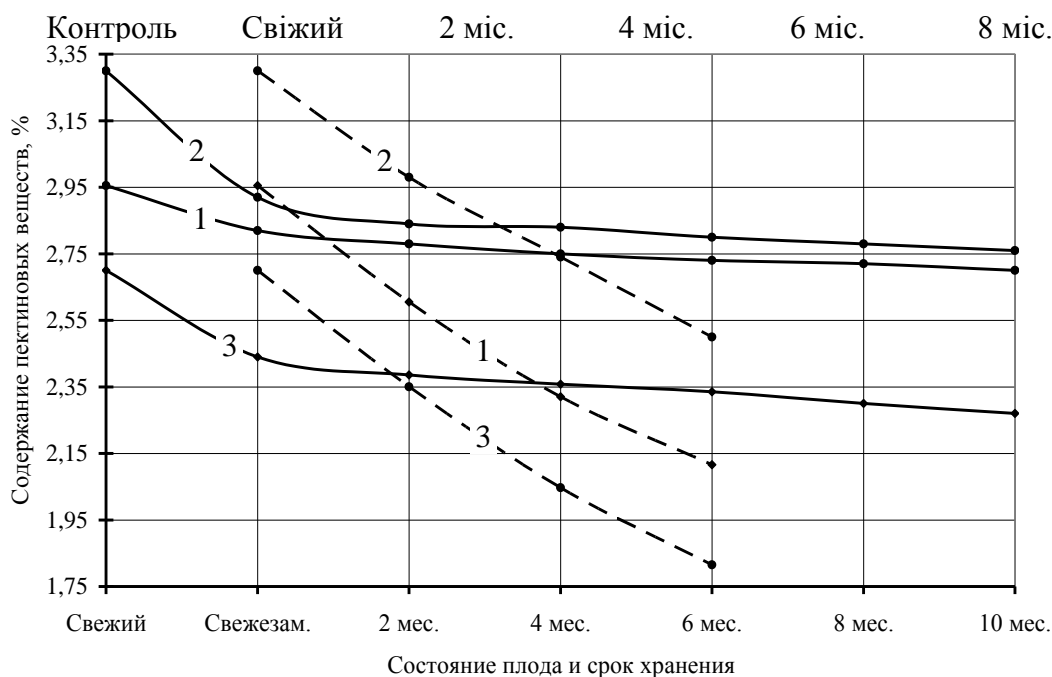


Рис. 4. Зміна змісту пектинових речовин в плодах гарбуза
Зберігання: — у замороженому виді; - - - - - контрольне
Сорт: 1 – „Мигдальний“; 2 – „Новинка“; 3 – „Український великоплідний“

Видно, що загальний вміст пектинових речовин зменшувався при зберіганні за рахунок гідролізу розчинного і нерозчинного пектину. В процесі традиційного зберігання (контроль) вміст пектинових речовин в кінці шостого місяця склав 66,4...75,8%. В замороженому ж гарбузі при заморожуванні значно знизився загальний вміст пектинових речовин на 13,1...6,4%, а при подальшому зберіганні втрати зменшуються за рахунок уповільнення їх гідролізу із збільшенням терміну зберігання. Збереженість пектинових речовин в замороженому гарбузі через 10 місяців склала 82,8...89,1%.

Одним з цінних компонент гарбузів, хоч і в меншій кількості, ніж у моркві, є каротин (каротиноїди). Тому зміни його вмісту при заморожуванні та довготривалому зберіганні також можуть стати аргументом щодо доцільності зберігання гарбуза в замороженому стані. На рис.5 представлено результати вимірювань вмісту цього компоненту в динаміці зберігання в замороженому стані і для контрольної партії з традиційним зберіганням.

Як видно з рисунка 5, тенденції зміни вмісту каротиноїдів в різних сортах гарбуза при різних способах зберігання відрізняються незначно. Проте, слід зазначити, що в гарбузі сорту „Український великоплідний“ збереженість в контролі через 6 місяців склала 56,9%, в замороженій же через 10 місяців вона була вищою (57,4%), а для гарбуза „Новинка“ – 71,5 і 79,6% відповідно. Виняток становив гарбуз сорту „Мигдальний“, для якого показники збереженості різко відрізнялися (45,3, і 93,3%). Показово, що при зберіганні в замороженому стані втрати каротиноїдів для різних сортів гарбуза склали всього 0,9 - 4,8%.

Нарешті, наявність у гарбузах вітамінів потребує дослідження змін їх вмісту в контрольних партіях та у замороженому стані в динаміці довготри-

вального зберігання. Результати експериментальних вимірювань вмісту вітаміну С (див. рис. 6) показав, що при природному (традиційному) зберіганні втрати значно вищі, ніж у замороженого гарбуза.

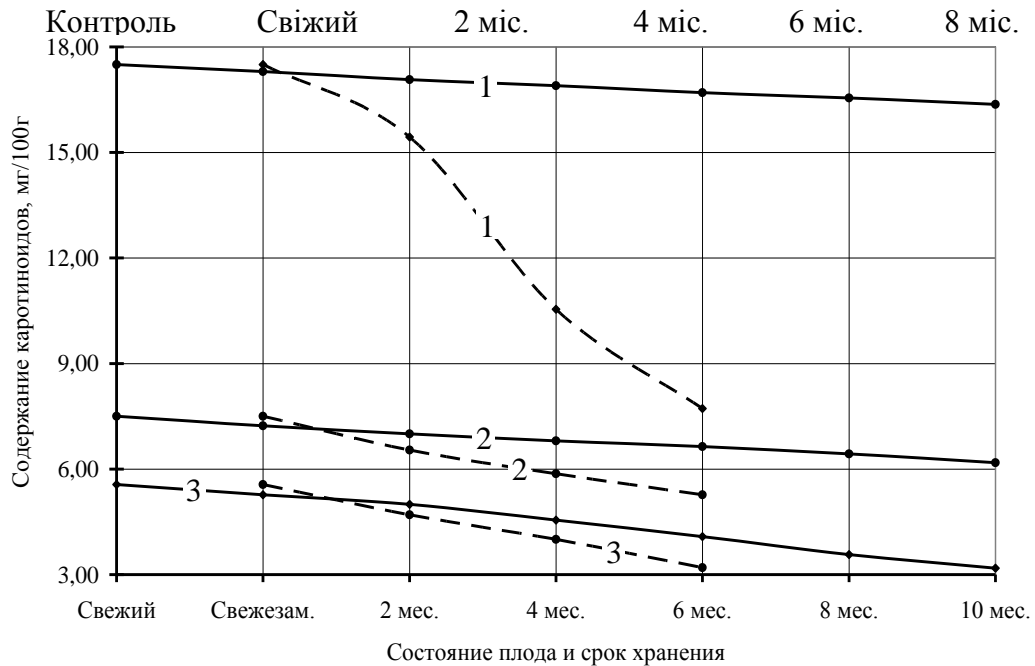


Рис. 5. Зміна вмісту каротиноїдів в плодах гарбуза.

Зберігання: — у замороженому виді; - - - - - контрольне:
Сорт: 1 – „Мигдальний“; 2 – „Новинка“; 3 – „Український великоплідний“

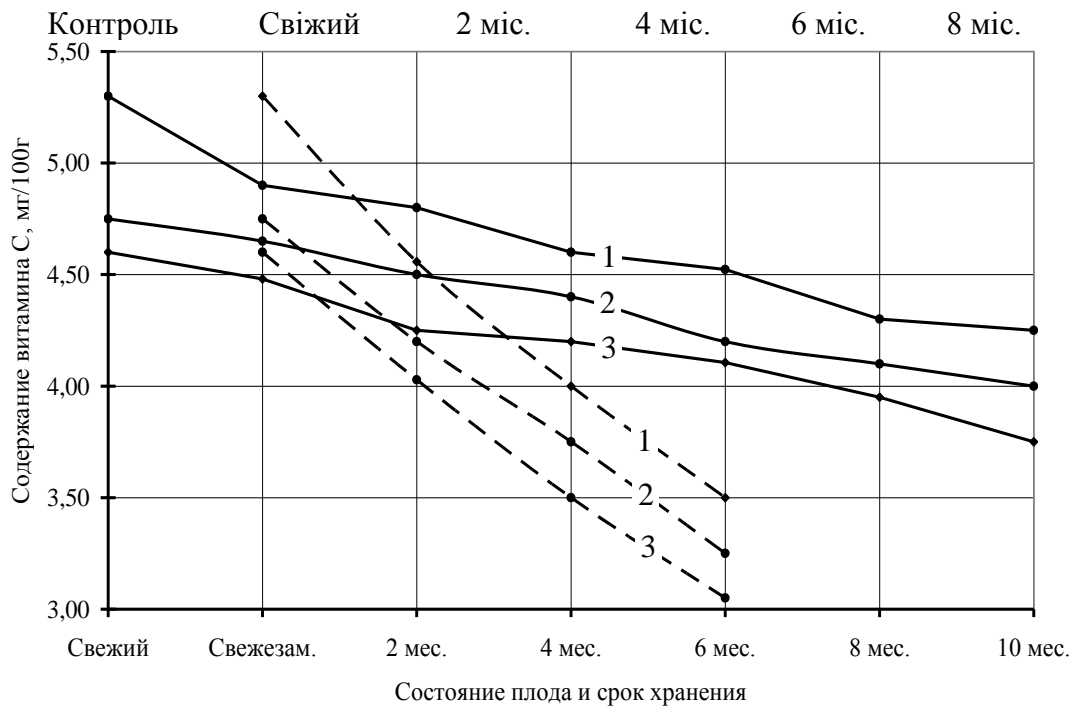


Рис. 6. Зміна змісту вітаміну С в плодах гарбуза:

Зберігання: — у замороженому виді; - - - - - контрольне.
Сорт: 1 – „Мигдальний“; 2 – „Новинка“; 3 – „Український великоплідний“

При цьому в контрольній партії тенденція втрат вітаміну С при зберіганні для різних сортів гарбуза практично аналогічна, а в замороженому вигляді відрізняється. Так для гарбуза сорту „Мигдальний“ істотні втрати вітаміну С відбуваються на стадії заморожування і складають 7,5%, а для інших сортів цього не спостерігається. Збереження вітаміну С в замороженому гарбузі до кінця 10 місяця зберігання склало 80,8...84,3%, а у контролю 65,7...69,4%.

Гарбузи є також джерелом вітаміну Е, тому доцільно провести вимірювання вмісту і цього вітаміну. Результати досліджень показали, що відповідні зміни в процесі довготривалого зберігання гарбуза суттєві. Типові результати представлено на рис. 7. Тут слід зазначити, що вміст вітаміну Е в гарбузі змінюється суттєво, від 14,5 до 31,9 мг%. При звичайному зберіганні (контроль) відбувається різке зменшення вітаміну Е, збереженість його в кінці 6 місяця склала 40,3...47,5%.

В процесі заморожування гарбуза в сортах „Мигдальний“ і „Новинка“ відбувалося підвищення вітаміну Е. Для замороженого гарбуза сорту „Новинка“ воно склало 30,8%, а загальна збереженість до кінця 10 місяця відмічена як 87,7%. У гарбузі сорту „Мигдальний“ вміст вітаміну Е при заморожуванні досяг 254,2%, і збереженість була на рівні 189,3%. Тобто заморожування дозволяє вітамінізувати гарбуз сорту „Мигдальний“. Збереження вітаміну Е в гарбузі сорту „Український великоплідний“ – 69,8%.

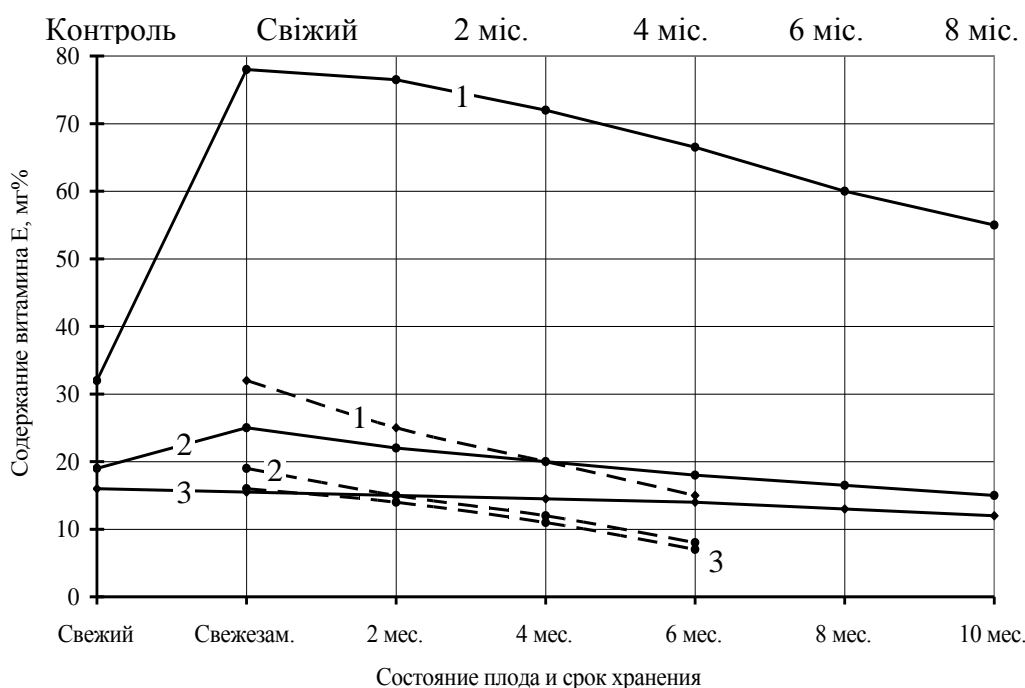


Рис. 7. Зміна вмісту вітаміну Е в плодах гарбуза.
 Зберігання: — у замороженому виді; - - - - контрольне:
 Сорт: 1 – „Мигдальний“; 2 – „Новинка“; 3 – „Український великоплідний“

Оскільки заморожування гарбуза можливо здійснювати тільки в нарізаному стані (у кубиках), виникає суттєва загроза інтенсивного розвитку попу-

ляцій мікрофлори на зрізах (гранях кубиків), як культуральному середовищі. Тому виникає необхідність дослідити динаміку розвитку відповідних популяцій при довготривалому зберіганні замороженого гарбуза в порівнянні з характеристиками зберігання традиційним способом (контролю).

Встановлено, що кількість і таксономічний склад мікроорганізмів статистично достовірно залежить від умов і тривалості зберігання (див. рис.8). Причому на чисельність бактерійних популяцій найбільше впливала тривалість зберігання. Так безпосередньо після заморожування кількість бактерій зменшилася в 1,7...2,5 рази, потім при зберіганні за перші чотири місяці відмічено монотонне підвищення їх чисельності в 2,6...3,6 рази, а протягом подальших шести місяців темп зростання дещо знизився, і підвищення їх кількості склало до 1,5 разів.

З іншого боку потрібно відзначити, що збільшення чисельності бактерійних мікроорганізмів на замороженому гарбузі до кінця зберігання в 3,4...4,5 разів не перевищило нормативних вимог до даного виду продукції, тоді як при контрольному зберіганні вже на 6 - ому місяці число бактерій перевищило показник, відмічений в стандарті, і процес зберігання за даним способом був припинений. Таким чином, розвиток популяцій мікрофлори на заморожених кубиках гарбуза при їх довготривалому зберіганні пригнічується суттєво сильніше, ніж при зберіганні гарбуза за традиційною технологією (у повітрі, при знижених додатних температурах).

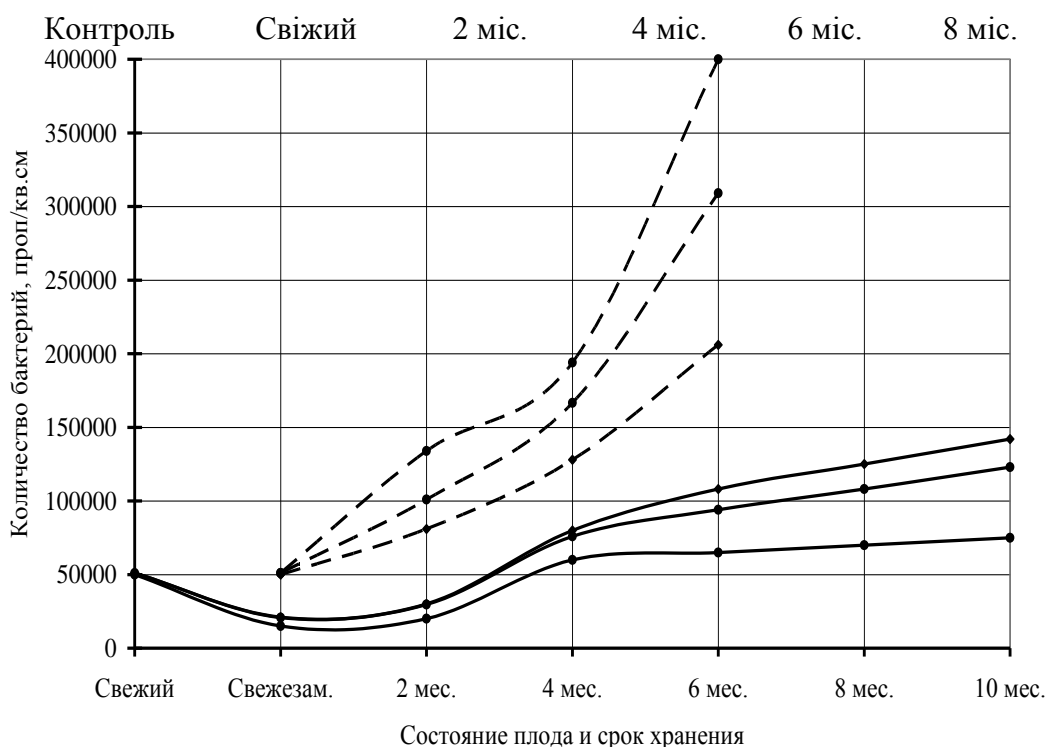


Рис. 8. Зміна кількості бактерій на гарбузі при зберіганні:
Зберігання: — у замороженому виді; - - - - - контрольне.
Сорт: 1 – „Мигдальний“; 2 – „Новинка“; 3 – „Український великоплідний“

Біохімічні характеристики та показники якості кабачків в процесі заморожування і зберігання в замороженому стані

Відносно показників харчової якості кабачків різних сортів важко виділити випукло якийсь один – тут і наявність різних вітамінів, і органічних кислот, і мікроелементів. Тому слід звернути увагу на динаміку втрат вітаміну С, як найбільш чутливого до змін стану овочів при їх зберіганні. Саме аскорбінова кислота активно реагує на дію низьких температур, окислюючись до дегідроаскорбінової кислоти, а потім і дікетогулонової кислоти. На рис. 9 представлено результати вимірювань вмісту аскорбінової кислоти в кабачках при їх заморожуванні і при наступному зберіганні в замороженому стані.

Видно, що основні втрати приходяться на сам процес заморожування, тут вони були значними і склали близько 40%.

У динаміці зберігання вміст цього вітаміну знижувався дуже слабо, за три місяці вміст аскорбінової кислоти знизився всього на 6%, і до кінця шостого місяця зберігання практично не зменшувався. З іншого боку, смакові якості овочів, зокрема кабачків, в значній мірі визначаються співвідношенням вмісту цукру і титрованих кислот. На даний час не існує єдиної думки про вплив низькотемпературного заморожування на вміст цих компонентів.

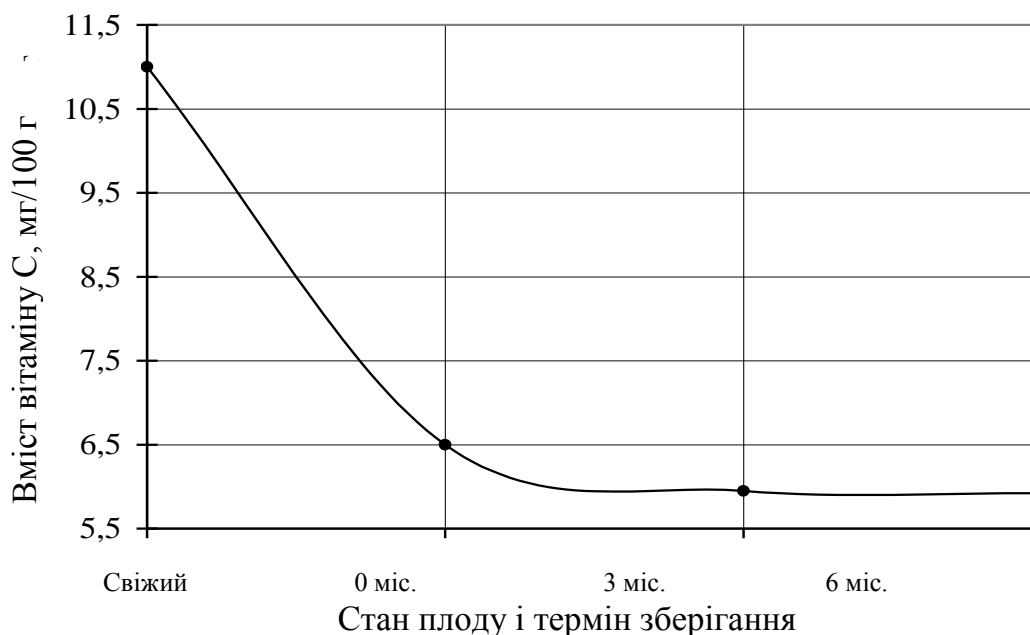


Рис. 9. Зміна вмісту аскорбінової кислоти в кабачках при їх заморожуванні і зберіганні

Наші результати дослідження зміни цих показників для кабачків представлені на рисунку 10.

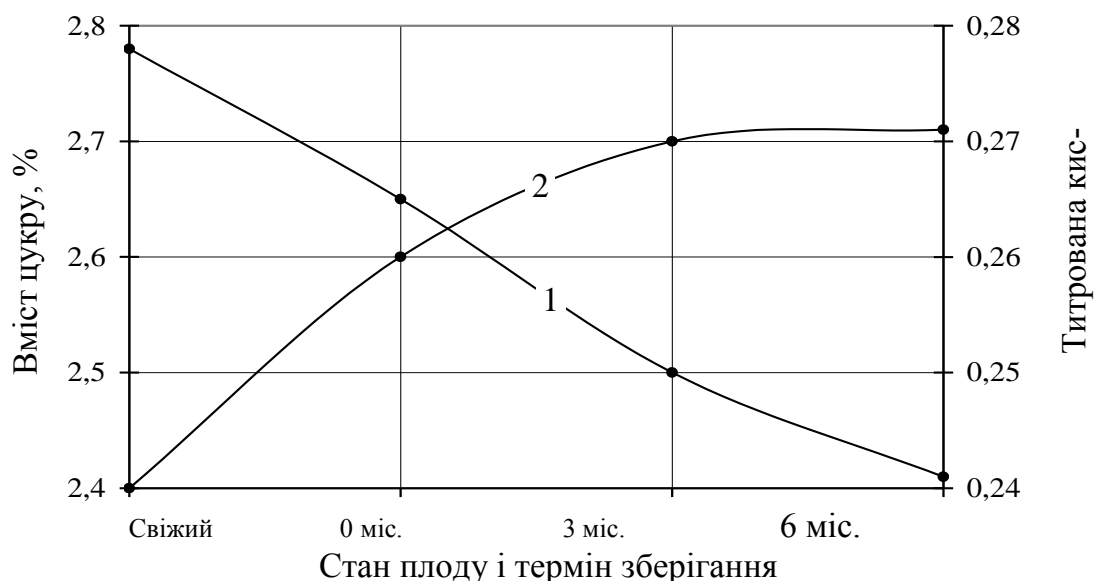


Рис. 10. Вміст цукру і титрованих кислот в кабачках при їх заморожуванні та в динаміці збереження в замороженому стані: 1 – вміст цукру; 2 – вміст титрованих кислот

Згідно нашим дослідженням в свіжих плодах кабачків вміст загального цукру був на рівні 2,8%; титрована кислотність спостерігалася на рівні 0,24 мг/100 г. Відразу після заморожування спостерігалось зниження вмісту загального цукру – до 2,65% ; на кінець третього місяця зберігання – до 2,5% і після 6 місяців зниження вмісту цукру досягало 2,4% (тобто близько 85% відносно свіжого продукту). Ці зміни можна пов'язати з окислювальними процесами, які відбуваються в замороженій продукції.

Титрована кислотність підвищилася відразу ж після заморожування на 8,3%. В динаміці збереження тенденції до підвищення зберігалися і до кінця третього місяця зберігання вона склала до 12,5% відносно свіжих кабачків. Між третім і шостим місяцем зберігання вміст титрованих кислот лишався незмінним.

Таким чином, заморожування та тривале зберігання кабачків в замороженому стані дозволяє зберегти біля половини вмісту в них вітаміну С та біля 85 % цукру. Вміст титрованих кислот при зберіганні в кабачках зростає на 12 – 15 % у перші місяці зберігання, після чого мало змінюється.

Зміни вмісту вітаміну С в ягодах винограду в процесі їх заморожування і зберігання в замороженому стані

Як відомо, ягоди винограду, зокрема, сорту Молдова в харчовому та медико-біологічному плані містять вітамін С, цукор поряд з флавоноїдами, а також мікроелементи, зокрема, важливі для функціонування серцево-судинної системи як натрій, калій. Ці компоненти ефективно зберігаються при зберіганні ягід винограду в сушеному стані, відносно ж їх зберігання в замороженому стані відповідна інформація ще в достатній кількості не накопичена. Тому необхідні дослідження динаміки змін вмісту цих компонент ха-

рчової цінності для обґрунтування доцільності зберігання ягід винограду в замороженому стані. Вимірювання можливо провести відносно тільки вмісту вітаміну С, з наступним пропорційним перенесенням одержаних результатів на інші компоненти винограду. Ці результати показують, що основні втрати вітаміну С формуються на стадії заморожування, після чого темп формування втрат суттєво зменшується. Сумарний і відносно значний рівень втрат за 9 місяців зберігання в замороженому стані становить біля 50%. Результати в динаміці зберігання протягом 9 місяців представлені на рис.11.

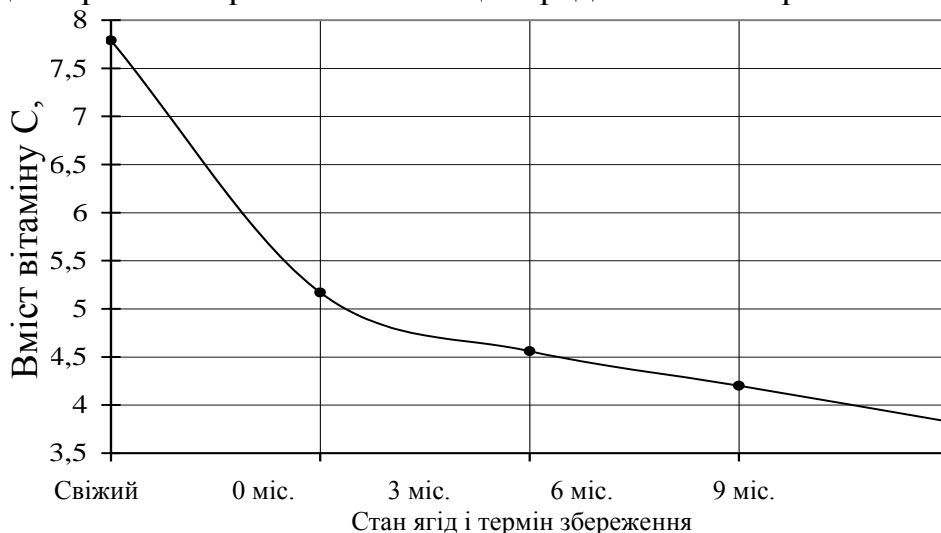


Рис. 11. Зміна вмісту вітаміну С у винограді сорту „Молдова“ при заморожуванні і при тривалому зберіганні в замороженому стані.

На жаль, ці результати необхідно було б порівняти з даними інших дослідників, в тому числі і відносно довгострокового зберігання винограду в регульованому газовому середовищі. Але таких даних вельми мало, зокрема, для винограду сорту Молдова.

З іншого боку, високий, помірний чи малий рівень вмісту вітаміну С та його ефективності як показника харчової цінності визначається наявністю в харчовій сировині флавоноїдів. Оскільки їх вміст (колір ягід) в замороженому винограді суттєво не змінюється, одержаний результат щодо змін вмісту вітаміну С можна вважати позитивним.

Висновки. Розроблена методика оцінки якості продуктів рослинного походження при їх заморожуванні і тривалому зберіганні за допомогою комплексного показника може бути застосована при розробці нових способів, а також відробітку технологічних процесів переробки і зберігання сільськогосподарської продукції.

Список опублікованих праць за темою досліджень

1. Ялпачик В.Ф., Стручаєв М.І., Верхоланцева В.О. Планування експериментальних досліджень процесу охолодження // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2015. Вип. 15. –Т.1. – С. 3 – 8.
2. Ялпачик В.Ф. Моделювання процесів заморожування плодоовочевої сировини, Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності : Міжнародна науково-практична конференція, 8-11 вересня 2015 р. : [тези доповідей.] / під заг. ред. Дейниченка Г.В. – Харків : ФАКТ, 2015. – с. 115-116.
3. Ялпачик В.Ф. Теплофізичні характеристики гарбузів, кабачків, кукурудзи молочної спілості і солодкого перцю та їх прогнозування // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2014. – Вип. 14, Т.2. – С. 54-60.
4. Ялпачик В.Ф., Ялпачик Ф.Ю., Стручаєв М.І. Нові методи контролю якості плодів при зберіганні холодом // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2013. – Вип. 13, Т.7. – С. 3-10.
– Х.: Харк. держ. аграр. ун-т ім. В.В. Докучаєва. – 2010. тез.доп. – С. 377 – 379.– 191
5. Ялпачик В.Ф. Розрахунок теплофізичних властивостей харчової сировини рослинного походження // Сучасні проблеми техніки та технології харчових виробництв, ресторанного бізнесу та торгівлі. Тези доповідей. – Харків .- 2010. – С. 160-161.
6. Ялпачик В. Ф. Змінення властивостей кукурудзи в процесі заморожування і тривалого зберігання / В. Ф. Ялпачик, С. Ф. Буденко, К. М. Стручаєв // Холодильна техніка і технологія. – 2005. – № 6. – С. 85–89.
7. Ялпачик В. Ф. Змінення властивостей плодів кабачків у процесі заморожування та тривалого зберігання / В. Ф. Ялпачик, С. Ф. Буденко, В. Г. Тарасенко // Праці Харківського державного університету харчування та торгівлі / ХДУХТ. – Харків : ХДУХТ, 2007. – Вип. 2. – С. 176–182.
8. Ялпачик В. Ф. Дослідження дефростації контактним методом під тиском /
В. Ф. Ялпачик, Н. П. Загорко, К. М. Стручаєв // Праці Таврійської державної агротехнічної академії / ТДАТА. – Мелітополь : ТДАТА, 2005. – Вип. 30.– С. 69–73.
9. Ялпачик В. Ф. Дослідження напруженого стану при заморожуванні-розморожуванні винограду / В. Ф. Ялпачик, Леонова А. В., Кюрчева Л. Н. // Праці Таврійської державної агротехнічної академії / ТДАТА. – Мелітополь : ТДАТА, 2005. – Вип. 26. – С. 54–60.

Розділ 1.6.3.2 Оптимізація параметрів процесу гомогенізації молока в роторно-пульсаційному апараті

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є показники ефективності гомогенізації молока в роторно-пульсаційному апараті.

Предмет дослідження – залежності, що пов'язують ефективність (ступінь диспергування та енерговитрати) пульсаційного апарату з вібруючим ротором з конструктивними та технологічними його параметрами.

Мета роботи – є оптимізація конструкції та режимів роботи пульсаційного апарату з вібруючим ротором для зниження енерговитрат та підвищення якості гомогенізації молока.

Методи досліджень – поставлені задачі вирішувалися з використанням теоретичних методів дослідження, що дозволили досягти основних результатів роботи і підтвердити їхню вірогідність методом активних експериментів. Використовувалися методи диференційного та інтегрального обчислення, основні положення теоретичної механіки і гідравліки, аналітичної геометрії, комп'ютерної технології, методами математичного аналізу і математичної статистики.

В результаті роботи для визначення ефективності гомогенізації молока в пульсаційному апараті з вібруючим ротором введений показник, який враховує ступінь подрібнення жирової фази та питомі енерговитрати. В результаті аналізу цього показника досліджено вплив основних факторів: діаметру ротора, частоти обертання, кількості отворів і амплітуди вібрації ротора на енергоефективність апарату. Ці параметри дозволяють розробити методику розрахунку пульсаційного гомогенізатора та забезпечити вихідні дані для розробки проектно-конструкторської документації гомогенізатора.

РОТОРНО-ПУЛЬСАЦІЙНИЙ АПАРАТ, ПУЛЬСАЦІЙНИЙ ГОМОГЕНІЗАТОР, ГОМОГЕНІЗАЦІЯ, ЕФЕКТИВНІСТЬ

ВСТУП

Роторний-пульсаційні апарати набувають широкого розповсюдження в сучасних апаратурних схемах у хімічній, фармацевтичній, харчовій, переробній і інших галузях промисловості. Вони призначені для інтенсифікації процесів змішування, емульгування та диспергування емульсій і суспензій завдяки створенню високих напруг зсуву, пульсуючих тисків, кавітаційному впливу, гідроударній дії та високій турбулентності [1]. Останні дослідження показують, що різновид роторно-пульсаційних апаратів - пульсаційні апарати з вібруючим ротором (ПА з ВР) здатні замінити клапанні гомогенізатори в технологічних лініях переробки молока [1]. ПА з ВР складається коаксіально розташованих статора і ротора з отворами, причому останній створює коливання вздовж вісі обертання з частотою до 50 Гц. Диспергування молочної емульсії в такому

апараті відбувається за рахунок створення різниці швидкості між жировими кульками та плазмою молока що їх оточує (швидкості ковзання жирової кульки), і оцінюється критерієм Вебера [2]. При обертанні ротора його отвори періодично збігаються з отворами статора, наслідок чого виникають пульсації продукту, який обробляється. Частота вібрацій ротора співпадає з частотою відкриття отворів, внаслідок чого виникає резонанс, який підвищує ефективність диспергування жирової емульсії молока.

Програма досліджень на 2015 р.

- 1 Розробка програми та методики досліджень
- 2 Теоретичне та експериментальне дослідження гомогенізації молока в пульсаційному апараті з вібруючим ротором
- 3 Обробка, аналіз одержаних результатів та оформлення звіту

1. Методика досліджень

Дослідження проводилися в 2015 році в лабораторії кафедри обладнання переробних і харчових виробництв Таврійського державного агротехнологічного університету. При проведенні досліджень використовувалась виробнича база ПП "Молокозавод-ОЛКОМ" Мелітопольського району Запорізької області. У процесі експериментальної роботи здійснювалися лабораторні дослідження згідно з діючими стандартами та нормативними документами по визначенню ступеня диспергування та стабільності жирової фази молока.

Гомогенізацію молока проводили у розробленій авторами експериментальній установці пульсаційного апарату з вібруючим ротором (Пат. №41129 UA Роторно-пульсаційний апарат / А.О., Івженко, О.В. Гвоздев, О.В. Івженко 12.05.2009, Бюл. № 9., Пат. 47806 UA Роторно-пульсаційний апарат / А.О., Івженко, О.В. Гвоздев, О.В. Івженко. 25.02.2010, Бюл. № 4. Пат. 63772 UA. Роторно-пульсаційний апарат / А.О., Івженко, О.В. Гвоздев, О.В. Івженко 25.10.2011, Бюл. № 20.).

Для проведення експериментальних досліджень була розроблена експериментальна установка, загальний вид якої і конструкція гомогенізуючого вузла показані на рис. 1 і 2.

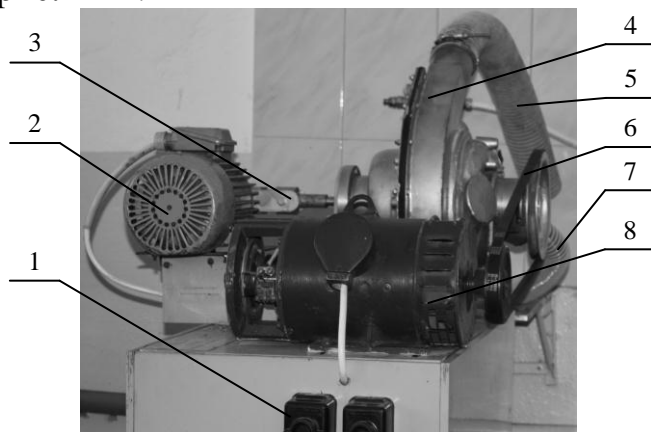


Рис. 1. Загальний вигляд експериментальної установки пульсаційного апарату з вібруючим ротором:

1 – пульт керування; 2 - електродвигун приводу вібрації ротора; 3 – кривошипний механізм; 4 – гомогенізуючий вузол; 5 – патрубок відведення продукту; 6 – клинопасова передача обертання ротора; 7 – патрубок подачі молока; 8 – електродвигун приводу обертання ротора.

Для можливості зміни частоти обертання використаний електродвигун постійного струму. Амплітуду вібрації ротора змінювали регулюванням ра-

діусом кривошипу у межах 0,5-1,5 мм. Лопатки, встановлені в порожнині ротора і розгонні пази дозволяють використовувати апарат без зовнішнього насосу, на відміну від типових РПА.

В якості об'єкта досліджень використовували молоко коров'яче жирністю 3,2-4,5% з середнім розміром жирових кульок 2,4–3,1 мкм. Розміри жирових кульок молока після гомогенізації підраховували за допомогою оптичного мікроскопа з приєднаною цифровою камерою з використанням мірного окуляра. Пробу молока розводили дистильованою водою у пропорції 1:10. Для підвищення точності з кожного зразка емульсії готували 3 розведення, а з кожного розведення – 2 препарати. Отримані цифрові зображення обробляли комп'ютерною програмою аналізу зображень для визначення кількості жирових кульок і їх розмірів. Кожен дослід повторювався 3 рази, після чого визначалося середнє арифметичне і здійснювалась перевірка на грубі похибки (методом оцінки максимальних розбіжностей результатів дослідів).

Визначення якості гомогенізації проводили методом аналізу мікрофотографій проб молока. Для отримання мікрофотографій використовували оптичний мікроскоп МИКМЕД-1 з пристосованою веб-камерою, під'єднану до персонального комп'ютера

Підготовку проб молока проводили у такій послідовності:

- пробу молока після гомогенізації ретельно перемішували, неодноразово переливаючи з судини у судину, уникаючи піноутворення;
- з центральної частини відбирали 1 мл. молока та розводили дистильованою водою у пропорції 1 до 40;
- з кожного зразка молока готували три розведення, а з кожного розведення – два препарати;
- краплю розбавленого молока наносили на предметне скло, закривали покривним та злегка придавлювали;
- пробу залишали стояти протягом 20...30 хв. для спливання жирових кульок;
- у кожному препараті фотографували 6...8 характерних полів зору.

Для отримання оптимального поля зору та найбільш якісного зображення, об'єкти камери прикріплювали до місця на мікроскопі, призначеного для приєднання фотонасадки. Кратність збільшення дорівнювала 640 разів при отриманні фотографії розмірами 10,8×8,1 см (при дозволяючій здатності камери 640×480 пікселів).

Критеріями оптимізації обрано питомі енерговитрати (відношення енерговитрат до продуктивності апарату) і середній розмір жирових часток емульсії.

Енерговитрати визначали вимірюванням потужності, що споживалась електродвигунами установки, продуктивність – відношенням об'єму обробленої емульсії до часу обробки.

2. Теоретичне та експериментальне дослідження гомогенізації молока в пульсаційному апараті з вібруючим ротором

Авторами розроблена математична модель гомогенізації молока в ПА з ВР, яка дає змогу визначити енерговитрати, продуктивність і якість диспергування. Встановлено, що на ці параметри впливають 10 конструктивно-технологічних незалежних факторів (рис. 1): D – діаметр ротора, м; n_p – частота обертання ротора, об/с; n_k – частота вібрації ротора (обертання кривошипу), об/с; $d_p=d_c=d$ – діаметр отворів ротора і статора, м; z – кількість отворів ротора (дорівнює кількості отворів статора для створення гармонійних однакових пульсацій); l_p, δ, l_c – довжина відповідно ротора, радіального зазору і статора, м; r – радіус кривошипу (визначає амплітуду вібрації ротора), м; h_p – товщина ротора, м.

Внаслідок такої кількості змінних визначити оптимальне їх поєднання для створення достатнього ступеня гомогенізації при мінімізації енерговитрат є складною задачею. Тому метою цієї роботи є визначити раціональні значення параметрів ПА з ВР для досягненні ступеня диспергування молочного жиру не нижче за клапанні гомогенізатори при мінімізації енерговитрат.

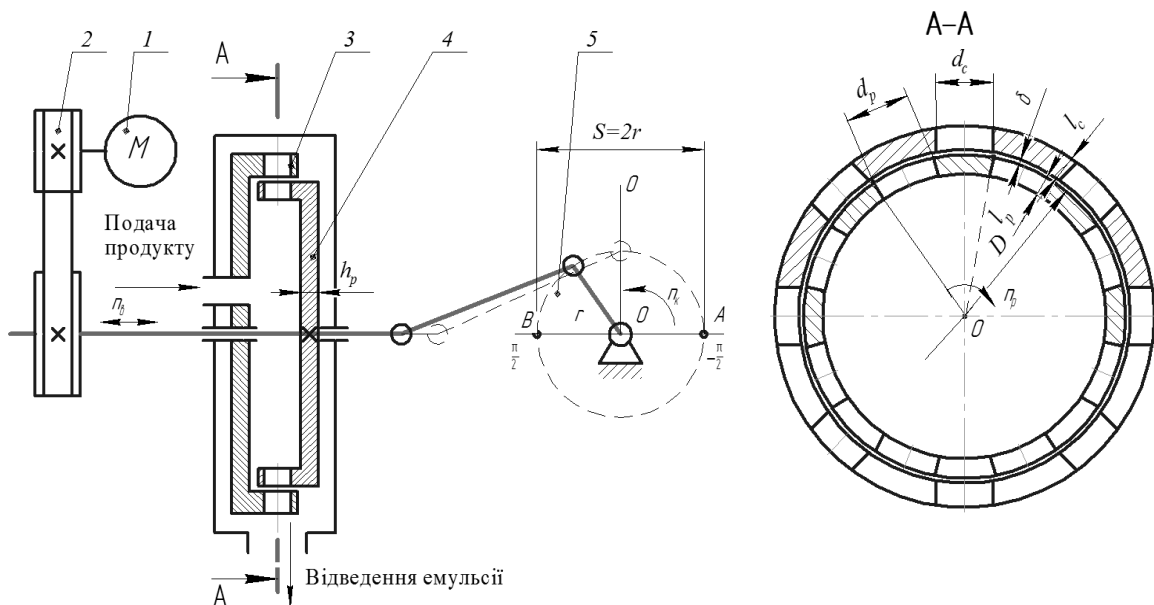


Рис. 1. Схема ПА з ВР: 1 – електродвигун приводу обертання ротора, 2 – гнучка передача приводу обертання ротора, 3 – статор, 4 – ротор, 5 – кривошипний механізм приводу вібрації ротора.

Основні матеріали досліджень. Мірою енерговитрат нового устаткування є питомі енерговитрати. Для ПА з ВР питомі енерговитрати знайдемо за відомою формулою

$$E_{num} = \frac{P_{\Sigma}}{Q_o}, \quad (1)$$

де P_{Σ} – сумарна потужність ПА з ВР, яка складається з потужності, що

витрачається на обертання ротора і на його вібрацію, Вт;

Q_o – продуктивність апарата, кг/с.

Сумарна потужність визначається за формулою [3]

$$P_{\Sigma} = \frac{D^3 n_p^2}{24z} \left(\frac{\rho_m D^3 n_p}{348z(l_p + \delta + l_c)} + \frac{\mu}{\delta} \right) + \frac{4,3 \cdot 10^{-4}}{k} n_k^3 r^2 D^2 (\pi h_p \rho_c + 1,52 \rho_m z^2 r). \quad (2)$$

де ρ_m – густина молока, кг/м³;

μ – динамічний коефіцієнт в'язкості емульсії, Па·с

k – коефіцієнт зменшення потужності при резонансі.

Про проведенні експериментальних досліджень визначено, що потужність вібрації на 20% менше за теоретично розраховану, тобто $k=0,8$.

Продуктивність, виражена у кг/год [4] визначається з виразу

$$Q_o = \frac{D^4 n_p \rho_m}{12,6 z^2 (l_p + \delta + l_c)}. \quad (3)$$

Таким чином питомі енерговитрати зростають при збільшенні радіусу кривошипу та товщини ротора, підвищенні частоти обертання ротора та частоти вібрації. Вплив кількості отворів та діаметру ротора є неявним, тому покажемо його графічно на рис.2.

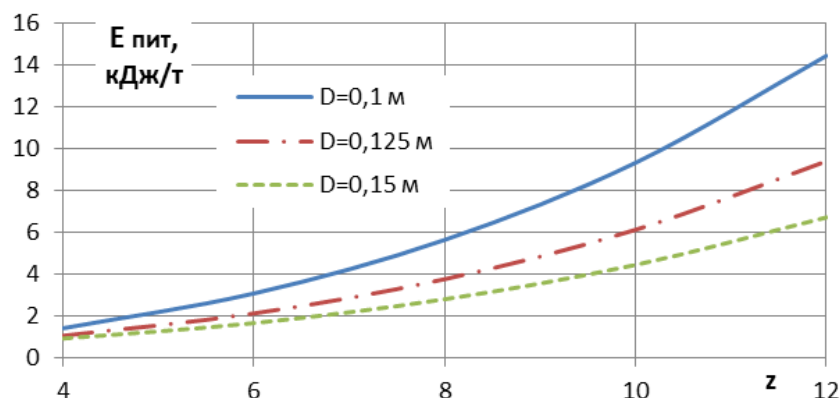


Рис. 2. Графік питомих енерговитрат ПА з ВР в залежності від діаметру ротора та кількості його отворів ($n_k=2880$ об/хв, $r=1$ мм).

Після проведення аналізу формули (1) з урахуванням (2) і (3) та графіку на рис. 2 можна зробити наступні висновки. З точки зору мінімізації питомих енерговитрат, вигідніше використовувати апарат з мінімальною кількістю отворів у роторі та більшим діаметром ротора.

При збільшенні радіусу кривошипу, внаслідок збільшення потужності ПА з ВР та незалежності продуктивності, питомі енерговитрати зростають, отже r необхідно зменшувати.

При збільшенні частоти обертання кривошипу та ротора питомі енерговитрати зростають. Тому необхідно намагатися зменшити частоту обертання ротора при підтриманні необхідного ступеня дисперсності жирової фази мо-

лока.

Зазор між ротором та статором, довжина ротора та статора при збільшенні підвищують питомі енерговитрати.

Визначальний вплив на ступінь диспергування молочного жиру справляє швидкість ковзання жирової кульки відносно оточуючої плазми. Визначити швидкість ковзання і перевірити на практиці достовірність отриманих значень практично неможливо. Швидкість ковзання виникає при різких змінах швидкості емульсії за рахунок сил інерції при відмінності густини жирової кульки та плазми. Зміна швидкості оцінюється прискоренням, тому висунута і підтверджена гіпотеза пропорційності швидкості ковзання (а отже і розмірів жирових кульок) до прискорення молочної емульсії [5]

$$d \sim a_c, \quad (4)$$

де a_c – середнє прискорення емульсії в отворах ПА з ВР, м/с²;

d – середній діаметр жирових кульок після гомогенізації, м.

$$a_c = \frac{\pi^3 n_k^2 D^2}{3600 z^2 (l_p + \delta + l_c)} + \frac{n_k^2 \pi^2 r D^2}{30 z \left(\frac{\pi D}{2z} + 8\delta \right)^2}. \quad (5)$$

3. Обробка, аналіз одержаних результатів та оформлення звіту

Для визначення оптимальних параметрів ПА з ВР введемо фактор, який характеризує збільшення прискорення емульсії на 1 кВт/т питомих енерговитрат процесу гомогенізації – ефективність гомогенізації E_ϕ

$$E_\phi = \frac{a}{E_{num}}. \quad (6)$$

При збільшенні цього фактору збільшується енергоефективність ПА з ВР. Крім того E_ϕ дає змогу визначити оптимальні параметри ПА з ВР. Частота обертання ротора пов'язана з частотою вібрації для забезпечення резонансу. Діаметр отворів ротора і статора пов'язаний з діаметром ротора та кількістю отворів. Тому основними факторами, вплив яких необхідно дослідити, це кількість отворів, діаметр ротора, частота обертання та радіус кривошипну (що визначає амплітуду вібрації ротора) (рис. 3 і 4).

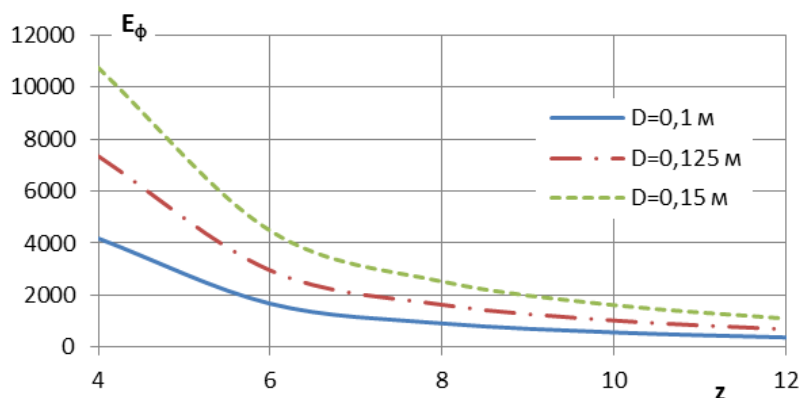


Рис. 3. Графік залежності E_ϕ від діаметру ротора та кількості отворів

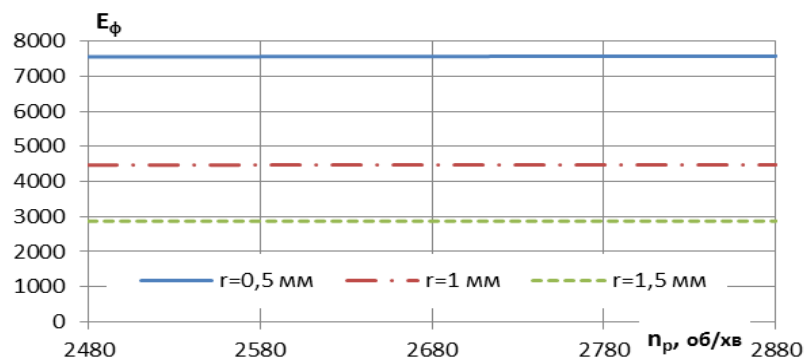


Рис. 4. Графік залежності E_ϕ від радіусу кривошипу та частоти обертання кривошипу.

Аналізуючи графіки, можна зробити висновок, що найбільш впливовим фактором на ефективність гомогенізації є кількість отворів в роторі і статорі. При збільшенні їх кількості з 4 до 12 ефективність використання енергії в апараті зменшується в 8–11 разів. Ефективність гомогенізації підвищується при збільшенні діаметра ротора, зменшенні кількості отворів та радіусу кривошипу і не залежить від частоти обертання кривошипу. Отже при проектуванні ПА з ВР для регулювання ступеня диспергування необхідно змінювати частоту вібрації, кількість отворів зробити мінімальним, а амплітуду вібрації і діаметр ротора зменшувати для отримання необхідної продуктивності.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Самойчук К.О. Методика розрахунку пульсаційного гомогенізатора з вібруючим ротором/К.О. Самойчук, А.О. Івженко//Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету: Вінниця – 2015. – Вип. 1 (89)– Том.2, №1. – С. 133 – 138.
2. Самойчук К.О. Рівняння зміни площі прохідного перетину модулятора в пульсаційному апараті з вібруючим ротором/К.О. Самойчук, А.О. Івженко// Наукові праці НУХТ: Київ – 2015. – Том.21, №4. – С. 164 – 170.
3. Дейниченко Г.В. Підвищення ефективності процесу гомогенізації молока в пульсаційному гомогенізаторі з вібруючим ротором/ Г.В. Дейниченко, К.О. Самойчук // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності» 8-11 вересня 2015 року – Мелітополь-Кирилівка, 2015, – с.384 – 386.
4. Самойчук К.О. Дослідження імпульсного гомогенізатора молока/ К.О.Самойчук, А.О. Івженко, В.О. Султанова // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності» 8-11 вересня 2015 року – Мелітополь-Кирилівка, 2015, – с.91 – 92.
5. Івженко А.О. Методи інтенсифікації процесів диспергування й гомогенізації в роторно-пульсаційних апаратах/ А.О. Івженко, О.В. Гвоздєв //Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції "Перспективна техніка і технологія" - 2008.: Миколаїв. –С. 166-167.
6. Івженко А.О. Исследование влияния рециркуляции на качество готового продукта на основе корреляционного анализа/ А.О. Івженко // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції "Сучасні проблеми техніки та технології харчових виробництв, ресторанного бізнесу та торгівлі" 18 листопада 2010 р.: Харків. – 2010. С. 268-269.
7. Самойчук К.О. Аналіз методів оцінювання якості гомогенізації молока/ К.О. Самойчук, О.О. Ковальов, А.О. Івженко// Праці ТДАТУ.: Мелітополь – 2012. – Вип.12, Т.4. – С. 222-229.
8. Самойчук К.О. Експериментальні дослідження диспергування жирової емульсії в пульсаційному апараті з вібруючим ротором / К.О. Самойчук, А.О. Івженко // Обладнання та технології харчових виробництв : Донецьк – 2013.– Вип. 30. – С. 155-161.
9. Самойчук К.О. Визначення резонансних режимів роботи пульсаційного апарата з вібруючим ротором / К.О. Самойчук, А.О. Івженко // Обладнання та технології харчових виробництв : Донецьк – 2013.– Вип. 31. – С. 74-82.
10. Самойчук К.О. Розрахунок енерговитрат пульсаційного апарата з вібруючим ротором / К.О. Самойчук, А.О. Івженко //Наукові праці Одеської національної академії харчових виробництв: Одеса – 2013.– Вип. 43. – Том 2 С. 133-137.

11. Пат. 94048, Україна, МКІ⁵ А01J 11/00. Спосіб гомогенізації та нормалізації молока /Самойчук К.О., Ковальов О.О., Ялпачик Ф.Ю.; заявник і патентовласник Таврійський державний агротехнологічний університет. – № u201405343 ; заявл. 19.05.2014; опубл. 27.10.2014. Бюл. № 20.

12. Самойчук К.О. Механізми диспергування жирової фази в пульсаційному апараті з вібруючим ротором / К.О. Самойчук, А.О. Івженко// Праці ТДАТУ.: Мелітополь – 2013. – Вип.13, Т.7. – С. 11-20.

13. Самойчук К.О. Визначення продуктивності пульсаційного апарату з вібруючим ротором// К.О. Самойчук, А.О. Івженко // Наукові праці ОНАХТ: Одеса – 2014. – Вип. 45, Т.3 – С. 25 – 30.

14. Самойчук К.О. Определение скорости в модуляторе пульсационного гомогенизатора с вибрирующим ротором// К.О. Самойчук, А.О. Івженко //Вестник Могилёвского государственного университета продовольствия: Могилёв – 2014. – №1 (16). – С. 87 – 99.

15. Самойчук К.О. Аналіз методів оцінювання якості гомогенізації молока/ К.О. Самойчук, О.О. Ковальов, А.О. Івженко// Праці ТДАТУ.: Мелітополь – 2012. – Вип.12, Т.4. – С. 222-229.

Розділ 1.6.3.3 Оптимізація параметрів процесу гомогенізації молока в струминному гомогенізаторі

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є показники ефективності гомогенізації молока в струминному гомогенізаторі молока з роздільним подаванням вершків.

Предмет дослідження – залежності, що пов'язують ефективність (ступінь диспергування або діаметр жирових кульок після подрібнення та енерговитрати) струминного гомогенізатору молока з роздільним подаванням жирової фази з його конструктивними та технологічними параметрами.

Мета роботи – є визначення шляхів зниження енерговитрат та підвищення якості гомогенізації молока.

Методи досліджень – поставлені задачі вирішувалися з використанням аналітичних методів дослідження, що дозволили досягти основних результатів роботи і підтвердити їхню вірогідність методом активних експериментів. Використовувалися методи засновані на основних положеннях теоретичної механіки і гідравліки, аналітичної геометрії, комп'ютерної технології, методами математичного аналізу і математичної статистики.

В результаті роботи для визначення ефективності гомогенізації молока в струминному гомогенізаторі молока з роздільним подаванням вершків оцінені головні фактори та параметри процесу, що впливають на ступінь подрібнення жирової фази та питомі енерговитрати. В результаті теоретичного аналізу досліджено вплив основних факторів: діаметру звуження центрального каналу, діаметру каналу подавання вершків і тиску подачі знежиреного молока на енергоефективність апарату та ступінь гомогенізації. Ці параметри дозволяють розробити методіку розрахунку струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків та забезпечити вихідні дані для розробки проектно-конструкторської документації гомогенізатора.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ, СТРУМИННА ГОМОГЕНІЗАЦІЯ, РОЗДІЛЬНА ГОМОГЕНІЗАЦІЯ, ДИСПЕРГУВАННЯ

ВСТУП

В сучасних економічних умовах підприємства з переробки харчової продукції України часто працюють на межі рентабельності. Для забезпечення конкурентної здатності виробникам необхідно вирішувати проблеми забезпечення якості продукції при максимальному зниженні енергетичних витрат. Одним з процесів переробки молока, що має високі енергетичні витрати є гомогенізація. Гомогенізація являє собою операцію з диспергування та рівномірного розподілу жирової фази в плазмі знежиреного молока, яка сприяє підвищенню якісно-смакових властивостей продукту. Незважаючи на більш ніж сторічну практику застосування гомогенізації, в промисловості найчастіше використовують клапанні машини, властивими рисами яких є високий ступінь диспергу-

вання при високих енергетичних витратах процесу. Дослідники гомогенізації до теперішнього часу не можуть достовірно пояснити загальні теоретичні основи процесу, враховуючи високі швидкості процесу та мікроскопічні розміри жирових кульок. Зараз існують біля 7 гіпотез гомогенізації та близько 12 різних за принципом дії конструкцій гомогенізаторів. Значна частина дослідників процесу вважає, що головною причиною руйнування жирових кульок при гомогенізації є різниця швидкостей дисперсійної (знежирене молоко) та дисперсної (вершки) фаз продукту.

Програма досліджень на 2015 р.

1. Розробка програми та методики досліджень
2. Теоретичне та експериментальне дослідження гомогенізації молока в струминному гомогенізаторі молока з роздільною подачею вершків
3. Обробка, аналіз одержаних результатів та оформлення звіту

1. Методика досліджень

Дослідження проводилися в 2015 році в лабораторії кафедри обладнання переробних і харчових виробництв Таврійського державного агротехнологічного університету. При проведенні досліджень використовувалась виробнича база ПП "Молокозавод-ОЛКОМ" Мелітопольського району Запорізької області. У процесі експериментальної роботи здійснювалися лабораторні дослідження згідно з діючими стандартами та нормативними документами по визначенню ступеня диспергування та стабільності жирової фази молока.

Гомогенізацію у струминному гомогенізаторі-нормалізаторі з роздільною подачею вершків проводили на розробленій установці (Пат. 94041, Україна, МКИ⁵ А01J 11/00. Струминний гомогенізатор молока з роздільною подачею вершків /Самойчук К.О., Ковальов О.О., Ялпачик Ф.Ю. ; Бюл. № 20., Пат. 94048, Україна, МКИ⁵ А01J 11/00. Спосіб гомогенізації та нормалізації молока /Самойчук К.О., Ковальов О.О., Ялпачик Ф.Ю.; Бюл. № 20.)

Для проведення експериментальних досліджень була розроблена експериментальна установка, загальний вид якої і конструкція гомогенізуючого вузла показані на рис. 1 і 2.

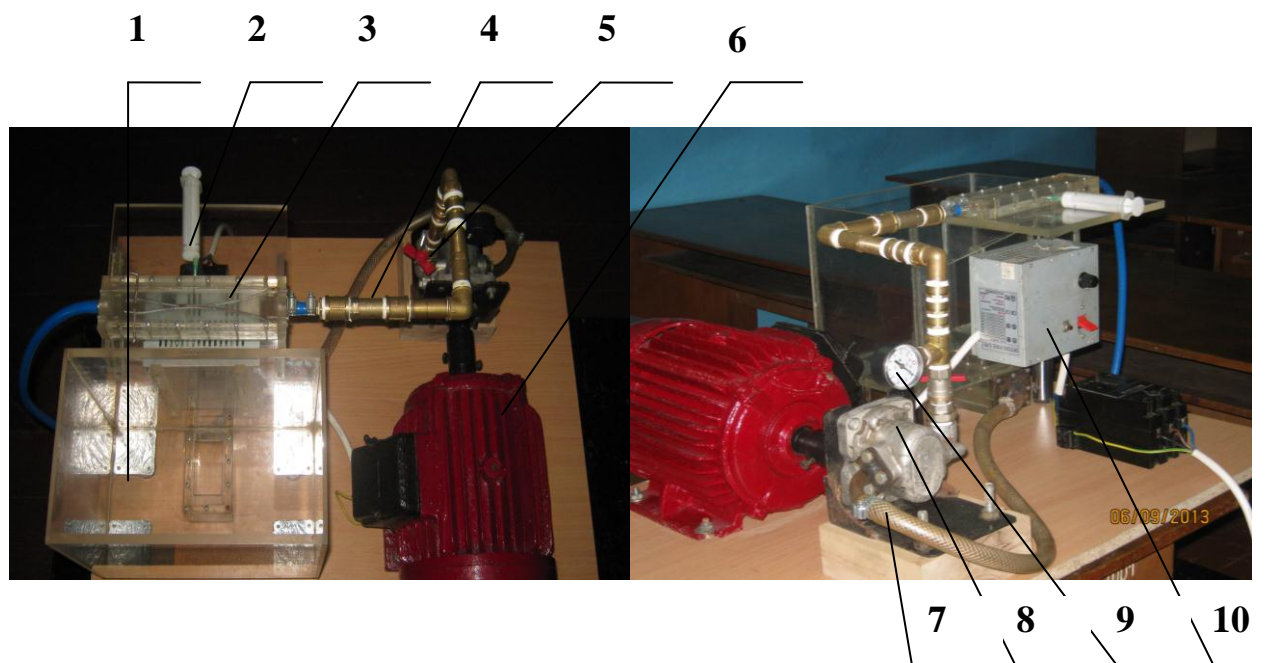


Рис. 1. Загальний вигляд струминного гомогенізатору молока з роздільним подаванням вершків:

1 – ємність для знежиреного молока, 2. – шприць для подачі жирової фа-

зи, 3. – камера гомогенізації, 4. – трубопровід,
5. – вентиль, 6. – двигун електричний, 7. – гнучкий трубопровід, 8. – насос для подачі знежиреного молока НШ – 6, 9. – манометр, 10. – електричний перетворювач частоти,

Одним з можливих шляхів підвищення ефективності процесу гомогенізації є використання роздільної гомогенізації молока. Роздільна гомогенізація молочних продуктів дозволяє регулювати вміст жиру в продукті, знижує небажаний вплив на молочний білок уникаючи процесів дестабілізації білкової фази при виробництві питного молока. Продуктивність при цьому зростає до 2 – 3 разів а енергетичні витрати знижуються на 50 – 70% за рахунок зниження об'єму продукту, що гомогенізується . Враховуючи ці принципи нами було запропоновано схему пристрою для струминної гомогенізації молока з роздільним подаванням вершків (рис. 1).

До подачі в пристрій для роздільної гомогенізації, молоко розділяється на знежирене молоко і вершки (рисунок 2). Знежирене молоко подається під тиском з певною швидкістю v_m , яка збільшується у центральній зоні пристрою за рахунок звуження потоку, величину якого можливо регулювати тягами. У місці найбільшого звуження подаються вершки по тонкому каналу. При взаємодії потоку та жирових кульок останні деформуються та подрібнюються.

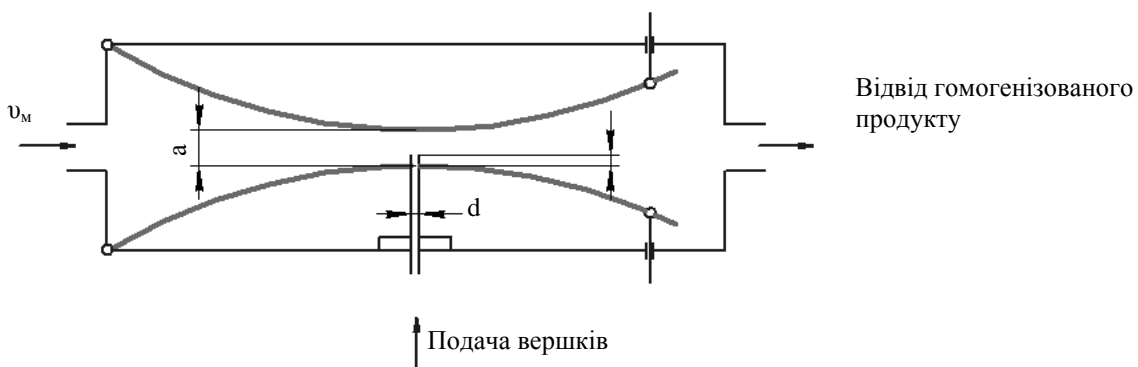


Рис. 2 – Схема струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків.

В якості об'єкта досліджень використовували молоко коров'яче жирністю 3,2-4,5% з середнім розміром жирових кульок 2,4–3,1 мкм. Розміри жирових кульок молока після гомогенізації підраховували за допомогою оптичного мікроскопа з приєднаною цифровою камерою з використанням мірного окуляра. Пробу молока розводили дистильованою водою у пропорції 1:10. Для підвищення точності з кожного зразка емульсії готували 3 розведення, а з кожного розведення – 2 препарати. Отримані цифрові зображення обробляли комп'ютерною програмою аналізу зображень для визначення кількості жирових кульок і їх розмірів. Кожен дослід повторювався 3 рази, після чого визначалося середнє арифметичне і здійснювалась перевірка на грубі похибки (методом оцінки максимальних розбіжностей результатів дослідів).

Визначення якості гомогенізації проводили методом аналізу мікрофотографій проб молока. Для отримання мікрофотографій використовували оптичний мікроскоп МИКМЕД-1 з пристосованою веб-камерою, під'єднану до персонального комп'ютера

Підготовку проб молока проводили у такій послідовності:

- пробу молока після гомогенізації ретельно перемішували, неодноразово переливаючи з судини у судину, уникаючи піноутворення;
- з центральної частини відбирали 1 мл. молока та розводили дистильованою водою у пропорції 1 до 40;
- з кожного зразка молока готували три розведення, а з кожного розведення – два препарати;
- краплю розбавленого молока наносили на предметне скло, закривали покривним та злегка придавлювали;
- пробу залишали стояти протягом 20...30 хв. для спливання жирових кульок;
- у кожному препараті фотографували 6...8 характерних полів зору.

Для отримання оптимального поля зору та найбільш якісного зображення, об'єктив камери прикріплювали до місця на мікроскопі, призначеного для приєднання фотонасадки. Кратність збільшення дорівнювала 640 разів при отриманні фотографії розмірами 10,8×8,1 см (при дозволяючій здатності камери 640×480 пікселів).

Критеріями оптимізації обрано питомі енерговитрати (відношення енерговитрат до продуктивності апарату) і середній розмір жирових часток емульсії.

Енерговитрати визначали вимірюванням потужності, що споживалась електродвигунами установки, продуктивність – відношенням об'єму обробленої емульсії до часу обробки.

2. Теоретичне та експериментальне дослідження гомогенізації молока в пульсаційному апараті з вібруючим ротором

Згідно проведених раніше аналітичних досліджень, процес гомогенізації у апараті що розглядається, відбувається наступним чином. При досягненні числа Рейнольдса більше 2300 встановлюється режим розвиненої турбулентності, в нашому випадку $Re=11500 - 25700$. Турбулентні пульсації емульсії викликають виникнення в ній дотичних напружень, які пов'язані з критерієм руйнування Вебера та при досягненні певної величини відбувається руйнування краплі жиру (жирової кульки). Механізм диспергування полягає в тому, що лобові сили сплющують краплю, інші витягують її з боків та в передній частині та утворюють дископодібне тіло, що згодом руйнується.

Згідно аналізу сил, що діють в процесі гомогенізації на жирову кульку визначними силами є сили приєднаної маси, турбофорезу, сили інерції та сили опору. Сили в'язкості, що перешкоджають подрібненню часток жиру частково нівелюються силами інерції, що збільшуються при зростанні числа Рейнольдса та поширенні збудження. Однак, для більш ефективного подріб-

нення треба зменшити сили в'язкості до мінімально можливих значень, що досягається правильно вибраним температурним режимом – максимальному підвищенні температури процесу, яку лімітують небажані органолептичні зміни молока.

При подачі вершків в зону локалізації максимальної швидкості, жирові кульки проходить три етапи: рух біля стінки центрального каналу, рух до вісі центрального каналу і подальший рух в оточенні плазми молока. Максимальна швидкість ковзання (різниця між швидкістю жирової кульки та оточуючою фазою молока), яка необхідна для руйнування за критерієм Вебера, виникає на перших двох етапах. На третьому етапі подрібненні жирові частки поступово вирівнюють свою швидкість зі швидкістю оточуючого потоку. Отже, для досягнення ефективного подрібнення жирових кульок треба прагнути до максимальних значень швидкості на другому етапі, для забезпечення максимальної різниці швидкостей фаз продукту.

Ньютон стверджував, що при русі шарів рідини між ними виникають дотичні напруження, які є пропорційними до градієнту зміни швидкості du/dy та зростають від стінки каналу до місця локалізації максимальної різниці швидкостей фаз. Великі значення цих напружень, згідно теорії гідродинаміки можуть виникати або у стінки де створюються великі градієнти швидкостей, але проходить незначна кількість продукту або поблизу зони контакту двох потоків рідини, що мають істотну різницю швидкостей.

Величину дотичних напружень можна приблизно розрахувати за формулами

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}, \quad (1)$$

$$\tau \sim \mu_{\text{пл}} \nu_{\text{пл}} \sqrt{\frac{\rho_{\text{пл}} \nu}{\mu_{\text{пл}} l}}, \quad (2)$$

де $\mu_{\text{пл}}$ – динамічна в'язкість плазми молока Па·с;

$\nu_{\text{пл}}$ – кінематична в'язкість плазми молока, Стокс;

$\rho_{\text{пл}}$ – густина плазми молока кг/м³;

ν – середня швидкість знежиреного молока, м/с;

l – відстань від стінки каналу, м.

Дотичні напруження при діаметрі звуження центрального каналу $a = 1 \dots 3$ мм та середній швидкості у каналі подачі 40 м/с складають відповідно $(0,8 \dots 2,6) \cdot 10^{-4}$ Па, тобто при збільшенні діаметру звуження центрального каналу дотичні напруження, що спричиняють руйнування жирових кульок, зменшуються. Цей висновок підтверджує результати комп'ютерного моделювання руху рідини в камері струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків, згідно якої при $a = 3$ мм відбувається зменшення площі зони локалізації максимальної різниці швидкостей фаз, тому ефективність подрібнення знижується.

Розглядаючи рух частки жиру в потоці знежиреного молока необхідно зупинитись на шляху змішування, терміні, що позначає відстань яку прохо-

дить частка в потоці до тієї миті коли її швидкість зрівняється зі швидкістю оточуючого середовища. Довжина шляху змішування визначається згідно емпіричної залежності запропонованої Прандтлем.

$$l_m = ky, \quad (3)$$

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

y – відстань від стінки каналу, м.

Отже, для відстані $a=1 \dots 3$ мм шлях змішування складатиме $0,39 - 1,17$ мм, що складає при $a=1$ мм весь шлях до місця подрібнення, а при збільшенні відстані до 3 мм – лише третину, що ще раз свідчить про необхідність забезпечення мінімальної відстані в центрі звуження центрального каналу. При зменшенні діаметру звуження центрального каналу, враховуючи умову нерозривності потоку, швидкість у точці введення жирової фази збільшується, що закономірно збільшує критерій Вебера та ступінь гомогенізації.

Діапазон критичних значень критерію Вебера (We) має істотні відмінності, так як для руйнування у потоці рідини його значення буде більшим внаслідок включення в потік сусідніх шарів рідини. Дані щодо цього критерію різняться за дослідженнями різних вчених на два порядки. Найближчим за механізмом гомогенізації до дослідної є протитечійно-струминна гомогенізація, для якої експериментально підтверджені значення We знаходяться в межах $40 - 120$. Ці значення критерію Вебера достатні для досягнення режиму за критичних деформацій з витяганням у купол, потім в тонкі стрічки.

$$We = \frac{\rho_{пл} u^2 d_{max}}{\sigma_{ж-п}}, \quad (4)$$

де $\rho_{пл}$ – густина плазми молока, $кг/м^3$;

u - швидкість жирової кульки відносно швидкості потоку молока (швидкість ковзання) м/с;

d_{max} – максимальний діаметр жирової кульки стабільної в даних гідродинамічних умовах, м;

$\sigma_{ж-п}$ – поверхневий натяг жирової кульки в оточенні плазми.

Відносна швидкість жирової кульки визначається з умови нерозривності потоку з урахуванням того, що при подаванні жирової фази перпендикулярно потоку знежиреного молока різниці швидкостей знежиреного молока в місці найбільшого звуження v_2 та жирової кульки $v_ж$ остання складова перетворюється на нуль. Отже, можна записати відносну швидкість як $u = v_2$.

Тоді швидкість в місці найбільшого звуження центрального каналу визначається як

$$v_2 = \frac{S_1 v_1}{S_2}. \quad (5)$$

Швидкість знежиреного молока в соплі подавання молока обчислюється за формулою

$$v_1 = \varphi \sqrt{\frac{2}{\rho_m} \Delta p_1} \quad (6)$$

Відносна швидкість з урахуванням (5) та (6) визначається як

$$u = \frac{d_1}{a} \varphi \sqrt{\frac{2}{\rho_m} \Delta p_1}, \quad (7)$$

де d_1 – діаметр сопла подавання знежиреного молока, м;

Δp_1 – надлишковий тиск подачі знежиреного молока, МПа;

φ – коефіцієнт швидкості, що залежить від конструкції сопла подавання знежиреного молока.

З виразу (4), враховуючи, що середній діаметр жирової кульки після гомогенізації пов'язаний з d_{\max} , отримуємо

$$d_k = 0,75 \frac{We \cdot \sigma_{ж-п}}{\rho_{пл} u^2} \quad (8)$$

Зменшення діаметру жирових кульок можливе шляхом зниження поверхневого натягу рідин, що суттєво впливатиме на якість процесу.

Необхідно дослідити вплив We на середній діаметр часток після гомогенізації d_k . При $d_1/a=2$, коефіцієнту поверхневого натягу $\sigma_{ж-п}=0,024$ Н/м, коефіцієнту швидкості $\varphi=0,8$ та надлишковому тиску подавання знежиреного молока 3 – 9 МПа отримуємо наступні залежності (рис.3).

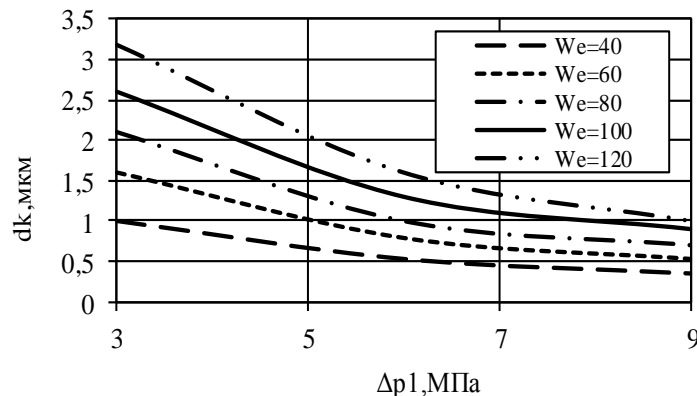


Рис. 3 – Графік залежності діаметру часток жирової фази d_k від надлишкового тиску гомогенізатору Δp_1 та критерію Вебера We .

Аналіз рисунку 3 показує, що при невеликих значеннях $We=40$ висока якість гомогенізації (1,0 мкм) досягається при $\Delta p_1=3$ МПа. При 6 МПа та $We=60$ досягається подрібнення до рівня клапанних (0,8 мкм), але обумовлюється більшими значеннями енергетичних витрат на створення більшого надлишкового тиску знежиреного молока. При збільшенні числа Вебера до 100 – 120 ступінь дисперсності жирової фази недостатня при значеннях надлишкових тисків до 7 – 8 МПа. З іншого боку при цих значеннях критерію подрібнення, якість диспергування на рівні клапанних гомогенізаторів досягається при витратах енергії на одну третину більших, порівняно з $We=40$ та $\Delta p_1=3$ МПа, що видно з подальшого аналізу енергетичних витрат гомогенізації. Отже, раціональними для використання за умови забезпечення високої

якості гомогенізації та мінімальних енергетичних витрат слід визнати діапазон чисел Вебера 40 – 80.

З формули (7) видно, що суттєво впливає на процес гомогенізації надлишковий тиск подачі знежиреного молока, тому треба розглянути можливості зниження його величини. Надлишковий тиск в каналі подавання знежиреного молока визначається як.

$$\Delta p_1 = \frac{\sigma We}{2\varphi^2 d_0} \quad (9)$$

де d_0 – середній діаметр жирової кульки до гомогенізації, для практичних розрахунків приймаємо $d_0 = 3 \cdot 10^{-6}$ м.

Знизити надлишковий тиск, як бачимо з формули (9) можна також підбором раціональних значень коефіцієнту швидкості φ та зниженням коефіцієнту поверхневого натягу.

Діаметр каналу подавання вершків розраховують за формулою

$$d_b = \sqrt{\frac{Q_r (J_{н.с} - J_{зн})}{900\pi\mu_2\rho_b (J_b - J_{н.с})}} \sqrt{\frac{\rho_b}{2\Delta p_2}} \quad (10)$$

де ρ_b – густина вершків, кг/м³;

Δp_2 – тиск подавання жирової фази, МПа;

μ_2 – коефіцієнт витрат каналу подачі жирової фази.

З попередніх аналітичних досліджень процесу струминної гомогенізації молока відомо, що для забезпечення якісних характеристик продукту необхідно використовувати мінімально можливі діаметри каналу подавання вершків при збільшенні тиску подавання жирової фази. При збільшенні діаметру каналу подавання вершків за однакової продуктивності буде необхідний більший тиск гомогенізації та зростати енергетичні витрати. Тому, єдиною можливістю впливати на зниження енерговитрат при подачі вершків є збільшення коефіцієнту витрат каналу подавання.

Суттєво впливає на енергетичні витрати процесу діаметр звуження центрального каналу, який обчислюється за формулою

$$a = \sqrt{\frac{Q_r (J_b - J_{н.с})}{900\mu_1\pi\rho_{пл} (J_b - J_{зн})}} \sqrt{\frac{\rho_{пл}}{2\Delta p_1}} \quad (11)$$

де μ_1 – коефіцієнт витрат каналу подавання знежиреного молока.

Значення надлишкового тиску знежиреного молока регламентується умовою створення критичного значення числа Вебера. Отже, зменшення діаметру звуження центрального каналу досягається збільшенням коефіцієнту витрат насадку каналу подавання знежиреного молока. Вплив діаметру звуження центрального каналу на показники якості гомогенізації планується дослідити в подальших експериментальних дослідженнях.

Питомі енергетичні витрати процесу гомогенізації визначаються як

$$E_{пит} = \frac{\sigma We}{2\varphi^2 d_k \rho_m} + \frac{8}{\rho_b} \left(\frac{Q_r (J_{н.с} - J_{зн})}{(J_b - J_{н.с}) 3600\mu_2\pi d_b^2} \right)^2 \quad (12)$$

де ρ_m - густина молока, кг/м³.

Питомі витрати гомогенізатора молока залежать від значення надлишкового тиску подавання знежиреного молока, але при зниженні цього показника буде зменшуватись і ступінь диспергування. Зниження питомих витрат енергії процесу при незмінній якості процесу можна досягти зниженням коефіцієнту поверхневого натягу на границі розділу вершки-плазма, або вибрати оптимальний температурний режим операції. Згідно досліджень процесу зазвичай температурний режим гомогенізації знаходиться у межах 55 – 63°C. Підвищення температури до 60 – 65°C суттєво знижує поверхневий натяг, що добре впливає на покращення подрібнення жирових кульок. Зниження питомих витрат енергії гомогенізації можна також досягти підвищенням коефіцієнту швидкості ц шляхом зміни форми патрубку подавання знежиреного молока. Наступним фактором, який буде впливатиме на $E_{\text{пит}}$ є збільшення коефіцієнту витрат каналу подавання жирової фази m_2 . Останнім шляхом зниження витрат енергії процесу є збільшення діаметру каналу подавання вершків d_v , однак для забезпечення якісного подрібнення цей показник має прагнути до мінімальних технологічно можливих значень. Вплив діаметру каналу подавання вершків на показники якості гомогенізації планується дослідити в подальшому.

В гідравліці насадками звать отвори, розміри яких дорівнює їх діаметру або перевищують його, або форма каналу суттєво впливає на форму струменю, що протікає по ньому. До найбільш відомих типів насадків відносять такі: зовнішні циліндричні ($\phi=0,82$; $\mu=0,82$), внутрішні циліндричні ($\phi=0,71$; $\mu=0,71$), конічні, що розходяться з кутом конусності (12 – 15) ($\phi=0,96$; $\mu=0,94$), та коноїдальні насадки з ($\phi=0,97$; $\mu=0,97$). Найбільш високі значення коефіцієнтів швидкості та витрат забезпечують останні два види насадків, які використовуються де необхідно отримувати великі швидкості витікання та високе значення імпульсу струменю.

Дані щодо енергетичних витрат процесу гомогенізації для продуктивності 1000 кг/год для критерію Вебера, що відповідає тиску подавання знежиреного молока при змінних діаметрах каналу подачі вершків та різних типах насадків наведені в табл. 1.

Табл. 1 – Енергетичні витрати гомогенізації

Критерій Вебера, We	Тиск подачі знежиреного молока, $\Delta p_1, \text{МПа}$	Питомі енерговитрати, $E_{\text{пит}}, \text{кВт/т}$			
		Діаметр каналу подачі вершків, $d_v, \text{мм}$		Тип насадки подачі знежиреного молока	
		0,5	0,8	конічний, що розходиться	коноїдальний
50	3	1,34	1,31	0,92	0,9
80	6	2,08	2,04	1,43	1,4
130	9	3,38	3,34	2,33	2,27

З табл.1 видно, що при збільшенні діаметру отвору подавання вершків d_b з 0,5 до 0,8мм енергетичні витрати процесу згідно проведених теоретичних досліджень будуть майже дорівнювати одне одному, з чого можна зробити висновок, що цей показник не має суттєвого впливу на показники енерговитрат гомогенізації. Але при більших значеннях d_b жирові частки будуть зазнавати меншого впливу потоку та мати менший ступінь дисперсності. Отже, головним показником при виборі значень діаметру каналу подавання вершків необхідно виходити з забезпечення якісного подрібнення продукту.

При застосуванні насадків конічного, що розходитья з кутом конусності 12 - 15° та коноїдального енергетичні витрати процесу диспергування знижуються майже на третину (див. табл. 1). Отже, застосування насадків обраних конструкцій, за рахунок зміни форми струменю та більш повного використання простору каналу подавання суттєво знижує енергетичні витрати гомогенізації.

3. Обробка, аналіз одержаних результатів та оформлення звіту

Основними факторами підвищення ефективності процесу струминної гомогенізації молока з роздільним подаванням вершків є: підбір раціональних параметрів насадків для каналів подавання знежиреного молока та вершків, підтримання оптимального діапазону значень критерію Вебера, забезпечення мінімально можливих значень діаметру центрального каналу та каналу подавання вершків і зниження поверхневого натягу на межі розділу фаз, завдяки оптимізації температурного режиму процесу.

Для мінімізації енерговитрат при якості гомогенізації на рівні клапанних аналітично визначений діапазон значень критерію Вебера – $We=40 - 80$. Визначення шляху змішування, який проходять жирові частки в потоці знежиреного молока, приводять до висновку, що діаметр звуження центрального каналу у місці локалізації максимальної різниці швидкостей фаз повинен складати 1мм та менше, виходячи з умови забезпечення високої якості продукту. Застосування коноїдального насадку для каналів подавання вершків та знежиреного молока в конструкції знизить енергетичні витрати до 30%. Збільшення діаметру каналу подавання вершків погіршує якість гомогенізації, тому його оптимальне значення становить 0,5мм та менше в межах технологічно виконуваних значень.

В подальшому, після експериментального уточнення конструктивно-технологічних параметрів струминного гомогенізатора з роздільним подаванням жирової фази, планується впровадження його у виробництво для гомогенізації молока з одночасною нормалізацією по жиру.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

- 1) Самойчук К.О. Розробка лабораторного зразка струминного гомогенізатору з роздільною подачею вершків/ К.О.Самойчук, О.О.Ковальов. Праці ТДАТУ – Мелітополь: 2011 – 77 – 84с.
- 2) Самойчук К.О. Експериментальні дослідження струминного гомогенізатора з роздільним подаванням жирової фази/К.О.Самойчук, О.О.Ковальов – Донецьк: ДонНУЕТ. – 2011. – Вип. 28. – С.42 – 47.
- 3) Самойчук.К.О Диспергатори заміників цільного молока/К.О.Самойчук, П.О.Серков,О.О.Ковальов// – Мелітополь Праці ТДАТУ, вип. 11 т2 стр 119 – 125
- 4) Самойчук.К.О Механізм руйнування жирових кульок у струминному гомогенізаторі з роздільним подаванням вершків /К.О.Самойчук, О.О.Ковальов// – Донецьк: ДонНУЕТ. – 2013. – Вип. 30. – С.148 – 155.
- 5) Самойчук.К.О Аналітичні параметри процесу струминної гомогенізації молока з роздільною подачею вершків /К.О.Самойчук, О.О.Ковальов// – Одеса: ОНАХТ. – 2013. – Вип.43. – С.77 – 81.
- 6) Самойчук.К.О Теоретичні основи диспергування в струминному гомогенізаторі молока Тези доповіді/К.О.Самойчук, О.О.Ковальов// – Харків: ХДУХТ. – 2013. – Вип.. – С. – .
- 7) Самойчук.К.О Аналіз методів оцінювання якості молока/К.О.Самойчук, О.О.Ковальов, А.О.Івженко//Праці ТДАТУ, Мелітополь 2012 вип. 12 т4 стр 222 – 230.
- 8) Самойчук.К.О Аналіз сил дроблення жирових кульок в струминному гомогенізаторі/К.О.Самойчук, О.О.Ковальов//Наукові праці півд. Філіалу НАУ біоресурсів та природокористування «Кримський аграрний університет»,Симферополь 2013 Технічні науки вип.153 стр26 – 34.
- 9) Самойчук.К.О Перспективи струминного гомогенізатора молока. Тези доповіді.»Проблеми якості,стандартизації,сертифікації та метрологічного забезпечення»/К.О.Самойчук, О.О.Ковальов//Херсон 2013. Стр71 – 72.
- 10) Самойчук.К.О Струминний гомогенізатор з роздільною подачею вершків. Тези доповіді Міжнародної науково-практичної конференції/К.О.Самойчук, О.О.Ковальов// – Донецьк – Святогірськ ,стр 172 – 175.
- 11)Пат. 94041, Україна, МКИ⁵ А01J 11/00. Струминний гомогенізатор молока з роздільною подачею вершків /Самойчук К.О., Ковальов О.О., Ялпачик Ф.Ю. ; заявник і патентовласник Таврійський державний агротехнологічний університет. – № u201405239 ; заявл. 19.05.2014; опубл. 27.10.2014. Бюл. № 20.
- 12)Пат. 94048, Україна, МКИ⁵ А01J 11/00. Спосіб гомогенізації та нормалізації молока /Самойчук К.О., Ковальов О.О., Ялпачик Ф.Ю.; заявник і патентовласник Таврійський державний агротехнологічний університет. – № u201405343 ; заявл. 19.05.2014; опубл. 27.10.2014. Бюл. № 20.
- 13)Самойчук К.О. Теоретичні основи диспергування в струминному гомогенізаторі молока/ К.О.Самойчук, О.О.Ковальов// Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 75-річчю з дня наро-

дження 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.382 – 384.

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

15)Самойчук К.О. Якість та енергетична ефективність процесу струминної гомогенізації молока з роздільною подачею вершків /К.О.Самойчук, О.О.Ковальов, В.О.Султанова // Праці ТДАТУ – Мелітополь: 2015. – Вип15. – Том1.С 241 – 249.

16) Самойчук К.О. Обґрунтування гідродинамічних параметрів процесу струминної гомогенізації молока з роздільною подачею вершків / К.О. Самойчук , О.О. Ковальов // Наукові праці ОНАХТ: Одеса – 2014. – Вип. 46, Т.2 – С. 314 – 319.

17)Самойчук К.О. Підвищення ефективності струминного гомогенізатору молока з роздільною подачею вершків / К.О.Самойчук , О.О. Ковальов //Збірник праць 5-ї науково – практичної конференції «Інноваційні енерготехнології»:Одеса – 2015. С 246 – 252.

18)Самойчук К.О. Обоснование основных параметров струйного гомогенизатора молока /К.О. Самойчук, А.А. Ковалев, Н.А. Палянычка // Международный научный институт «Educatio»: Новосибирск – 2015 №9, Ч1. С114 – 118.

19)Самойчук К.О. Струминний гомогенізатор – нормалізатор молока / К.О. Самойчук, О.О. Ковальов //Тези доповідей міжнародної конференції «Інноваційні аспекти в харчовій та готельній індустрії. Розвиток обладнання в сучасних умовах» 9 – 11 вересня 2015р Харків – Мелітополь – Кирилівка.

Тема 1.6.3.4. Оптимізація параметрів струминного змішування напоїв

Програма досліджень на 2015 р.

1. Методика досліджень
2. Теоретичне та експериментальне дослідження струминного змішування напоїв
3. Обробка, аналіз одержаних результатів

РЕФЕРАТ

Об'єкт дослідження – процес струминного змішування рідких харчових продуктів.

Предмет дослідження – вплив параметрів і режимів роботи струминного змішувача на ефективність та енерговитрати змішування.

Мета роботи – визначення оптимальних параметрів струминного змішувача води та сиропу для зниження енерговитрат та підвищення якості змішування рідких компонентів при виробництві солодких безалкогольних напоїв

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 багатofакторного експерименту. Теоретичні розрахунки і статистичну обробку експериментальних даних проводили із застосуванням пакетів прикладних програм на ПЕОМ.

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

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

ВСТУП

При виготовленні безалкогольних напоїв одним з основних процесів є процес перемішування купаного сиропу з підготовленою водою, тобто перемішування рідких компонентів. З огляду на зростаючі об'єми виробництва безалкогольних напоїв актуальними є розробка і впровадження у виробництво змішуючих апаратів, які забезпечать якісне перемішування рідких компонентів при мінімальних витратах енергії і часу.

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

В результаті аналізу різних способів перемішування рідких компонентів струминне перемішування було виділено як найбільш доцільний спосіб, адже для досягнення одного й того ж технологічного ефекту при використанні інших способів витрачається більше часу і енергії. Ступінь і ефективність перемішування в струминних апаратах дуже високі внаслідок підведення значних потужностей до невеликого об'єму. Висока надійність струминних апаратів зумовлена відсутністю в них рухомих механізмів. Перемішування здійснюється за рахунок кінетичної енергії потоків рідин. Процес перемішування відбувається у відповідній камері, завдяки турбулентності потоків підведених рідин.

1. Методика досліджень

Експериментальні дослідження проведені в Таврійському державному агротехнологічному університеті на кафедрі ОПХВ у 2015 році. Конструкція лабораторної установки захищена патентами України на корисну модель №№ 91740 і 90011.

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 проводилися за такою методикою: у якості основи виступає водопровідна вода ГОСТ 2874-82 температурою 20°C (290°K) і щільністю 1000 кг/м^3 . Вода подається в ежектор під тиском $0,2\text{МПа}$. При проходженні крізь ежектор кінетична енергія потоку води підвищується, а потенційна знижується до створення розрідження, що досягає максимального значення у місці найбільшого звуження потоку, тобто на виході з ежектора. В камеру вводу підмішуваного компоненту підводився купаажний сироп «Лимонад» температурою 20°C (290°K) і щільністю 1147кг/м^3 під атмосферним тиском. При проходженні струменя води крізь камеру вводу підмішуваного компоненту у потік води ежектуються купаажний сироп. При проходженні струменя крізь форсунку відбувається попереднє змішування води з сиропом, а при зіткненні струменів відбувається остаточне змішування рідких компонентів.

Для проведення експериментальних досліджень була виготовлена експериментальна установка, загальний вид якої показані на рис. 1.

Більш детально лабораторна установка показана на рис. 2. – на станині 1, встановлено камеру змішування 2, в якій співвісно встановлені дві ідентичні форсунки 5, через патрубки подачі основного компоненту 3 у форсунки 5 під тиском подається підготовлена вода, через патрубки подачі підмішуваного компоненту 4 подається купаажний сироп при атмосферному тиску подачі. Змішаний продукт через вихідний отвір 6 відводиться у збірник.

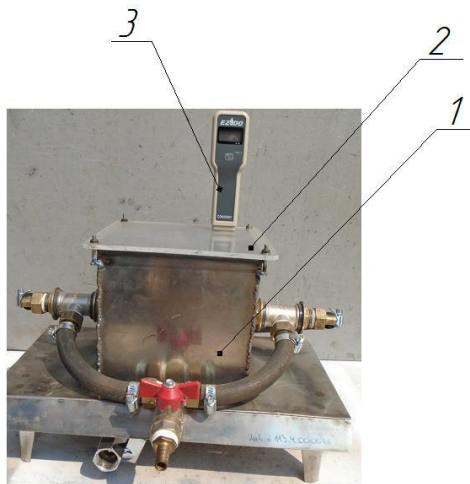


Рис. 1. Загальний вид лабораторної установки для дослідження процесу змішування. 1 – змішувач; 2 – прозора кришка; 3 – кондуктометр.

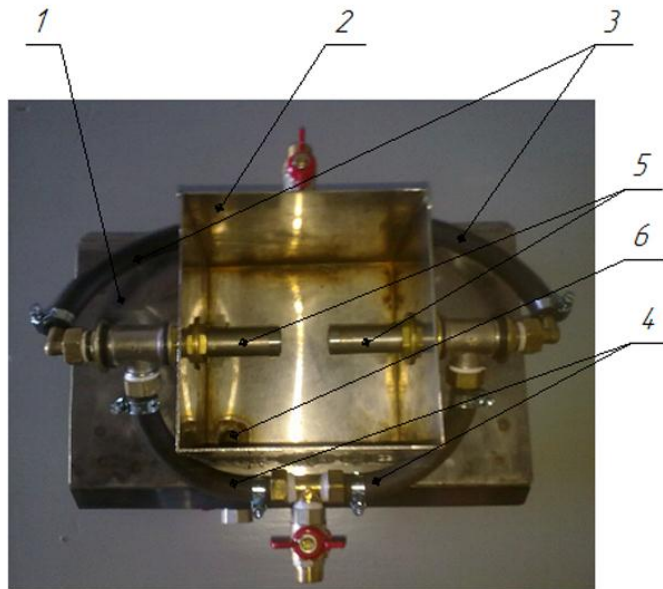
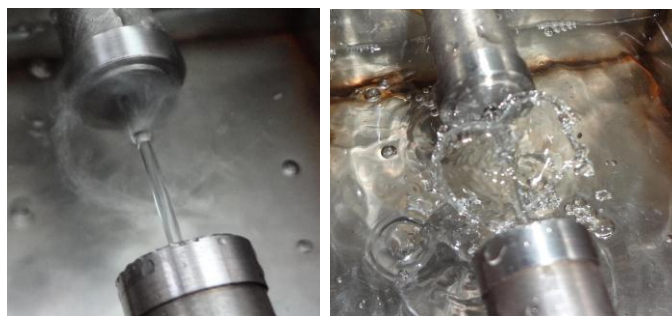


Рис. 2. Лабораторна установка для дослідження процесу змішування. 1 – станина; 2 – камера змішування; 3 – подача основного компонента; 4 – подача підмішуваного компонента; 5 – форсунка; 6 – вихідний отвір.

Візуальний контроль здійснюється крізь прозору кришку змішувача рис. 3.



При швидкості 14 м/с

При швидкості 8 м/с

Рис. 3. Процес змішування у протитечійному змішувачі.

Вивчення впливу технологічних й кінематичних параметрів на процес змішування, проводилося на описаній лабораторній установці.

Основними факторами, що визначають процес перемішування є швидкість руху потоків, турбулентність, кінетична енергія турбулентності і величина її дисипації.

Через те, що встановлення необхідних фізичних величин в лабораторних умовах є дуже проблематичним, а при отриманні деяких даних зовсім неможливим, ми застосували симуляцію процесу в програмному комплексі ANSYS.

Якість змішування залежить від таких факторів, як конструкція змішувача, інтенсивність змішування, якість перемішуваних рідин та інш. і визначає в подальшому якість вихідного продукту. Основними критеріями, які визначають процес перемішування, є число Рейнольдса, турбулентність, кінетична енергія турбулентності та величина її дисипації за площею зіткнення струменів [2].

2. Теоретичне та експериментальне дослідження струминного змішування напоїв

Процес перемішування підготовленої води з купажним сиропом при протитечійно-струменевому змішуванні відбувається у два етапи. На першому з них перемішування води з сиропом відбувається в змішуючому каналі (соплі) форсунки. Фактично, процес перемішування води з сиропом на цьому етапі можна представити як окремий випадок перемішування у струминному апараті (потік підготовленої води передає кінетичну енергію потоку купажного сиропу шляхом безпосереднього контакту (змішування); потоки основного і інжектowanego компонентів надходять до камери змішування де відбувається вирівнювання швидкостей), але основний процес змішування буде відбуватися при зіткненні струменів.

Вибір вихідних даних процесу (температура, щільність рідин, пропорції змішування, тиск на вході в апарат) обумовлений технологічними інструкціями виробництва безалкогольних напоїв.

У результаті моделювання процесу змішування в програмному комплексі ANSYS були створені поля кінетичної енергії турбулентності, її дисипації, швидкостей і тиску, у камері змішування.

При збільшенні відстані між форсунками зона максимальних значень кінетичної енергії турбулентності (рис. 4) зміщується від торців форсунок (при $a=0,5d_c$) до центру між форсунками (при $a=2d_c$). Максимальна кінетична енергія турбулентності і за величиною і за площею охоплення досягається при $a=2d_c$.

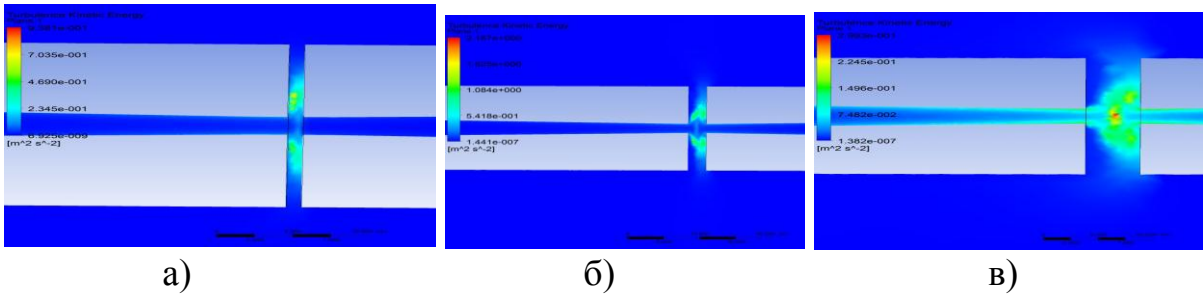


Рисунок 4. Поле кінетичної енергії турбулентності. а) при відстані між форсунками $a=0,5d_c$; б) при відстані між форсунками $a=d_c$; в) при відстані між форсунками $a=2d_c$.

Для одержання високої якості змішування необхідно добитися високої рівномірності розподілу енергії по площі зустрічі струменів. Таку характеристику можна одержати, розглядаючи дисипацію кінетичної енергії турбулентності (рис. 5).

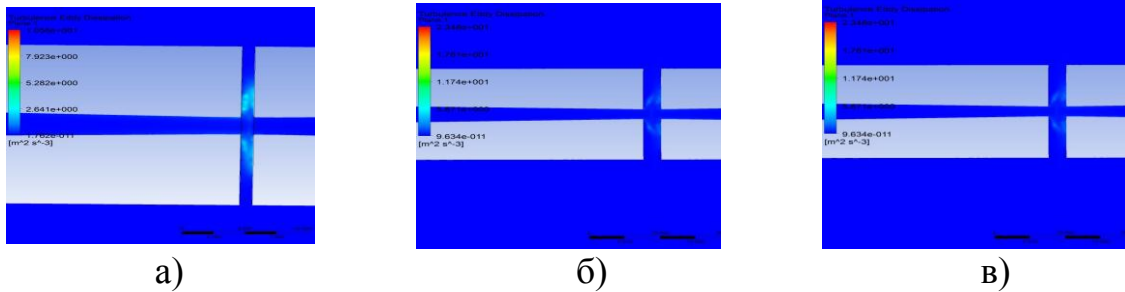


Рис. 5. Поле дисипації кінетичної енергії турбулентності. а) при відстані між форсунками $a=0,5d_c$; б) при відстані між форсунками $a=d_c$; в) при відстані між форсунками $a=2d_c$.

Максимальна площа зон високої дисипації кінетичної енергії турбулентності спостерігається при $a=0,5d_c$ і при збільшенні відстані ця зона зміщується в центр між форсунками. Збільшення значення дисипації кінетичної енергії турбулентності відбувається при збільшенні a , але розміри цих зон стають мікроскопічними й не охоплюють усю площу рідин, що змішуються.

Зі збільшенням відстані з'являється й збільшується торообразна ділянка з низьким тиском (рис.б), величина якого знижується. У цій ділянці могло б здійснюватися досить ефективно змішування, однак зона розташована не симетрично, і лише частина рідини проходить через цю зону, тому її впливом на процес змішування можна зневажити

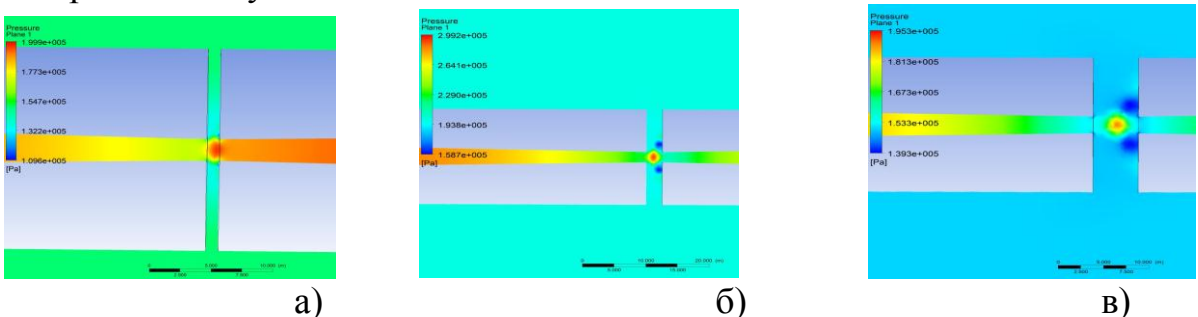


Рис. 6. Поле тисків а) при відстані між форсунками $a=0,5d_c$; б) при відстані між форсунками $a=d_c$; в) при відстані між форсунками $a=2d_c$.

Зона максимального тиску очікувано перебуває в центрі між форсунками, причому максимальне значення $3 \cdot 10^5$ Па досягається при $a=d_c$. Ця величина у 1,5 рази перевищує тиск на вході в форсунки. При збільшенні відстані a більше ніж діаметр сопла відбувається зменшення розміру зони високого тиску між форсунками, що свідчить про зменшення турбулентності потоку в зоні зустрічі струменів.

При відстані між форсунками $a=0,5d_c$ найбільшу швидкість потік рідини має після зіткнення струменів (рис.7), яка в 1,3...1,5 рази більше швидкості при виході рідини з форсунки. Максимальна швидкість у цьому випадку досягає значення 10 м/с. При відстані між форсунками $a=d_c$ максимальна швидкість однакова в зоні виходу рідини з форсунки й у зоні між торцевими поверхнями форсунок і досягає значення 14 м/с.

При відстані між форсунками $a=2d_c$ максимальну швидкість потік рідини має в зоні виходу з форсунки. Швидкість потоку в зоні між торцевими поверхнями форсунок а 1,7...1,9 рази менше швидкості при виході рідини з форсунки й досягає значення 9,5 м/с.

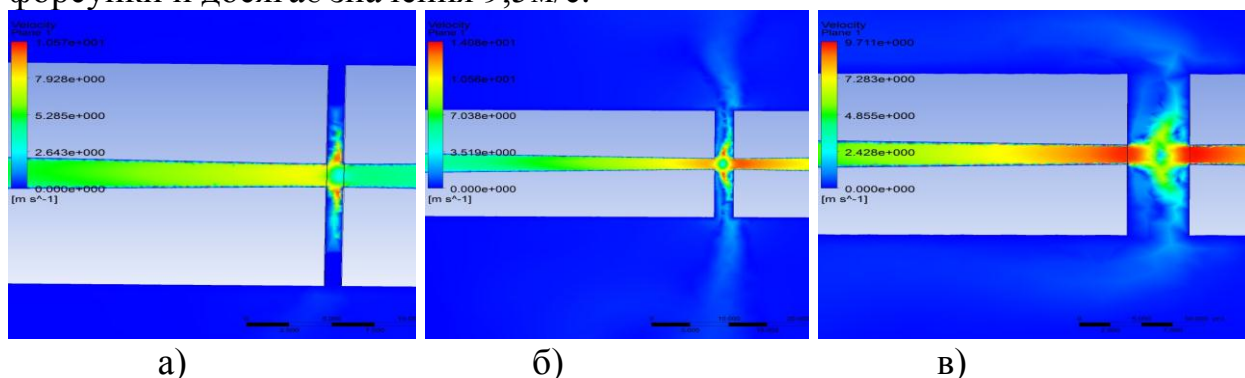


Рис. 7. Поле швидкостей: а) при відстані між форсунками $a=0,5d_c$; б) при відстані між форсунками $a=d_c$; в) при відстані між форсунками $a=2d_c$.

Завдяки моделюванню процесу змішування в програмному комплексі ANSYS були створені поля кінетичної енергії турбулентності, її дисипації, швидкостей і тиску у камері змішування при постійному значенні тиску подачі 0,2 МПа, щільності рідини 1035 kg/m^3 (рисунки 4–7).

При виготовленні безалкогольних напоїв відбувається процес змішування розчинних рідин. Якість змішування таких компонентів може бути визначена за кількісним критерієм, тобто, як досягнення заданого за умовами експерименту масового співвідношення змішуваних рідин. Під повним або завершеним змішуванням мається на увазі факт рівності співвідношення мас різнорідних рідин, при відборі проб їх суміші, заданому співвідношенню мас m_1/m_2 на вході в змішувальний пристрій (до змішування)

$$\frac{m_1}{m_2} = (K_{12})_{\text{експ}}, \quad (1)$$

де $(K_{12})_{\text{експ}}$ – концентрація першої рідини у другій.

Інструментальні методи аналізу засновані на залежності фізичних властивостей речовини від його природи, причому аналітичний сигнал являє со-

бою величину фізичної властивості, функціонально пов'язану з концентрацією або масою компонента, який визначається.

В якості інструментів застосовують аналітичні прилади різних типів, призначені для проведення основних процедур аналізу та реєстрації його результатів.

На відміну від «класичних» хімічних методів аналізу, де аналітичним сигналом слугує маса речовини або його об'єм, в інструментальному аналізі в якості аналітичного сигналу використовують силу струму, електропровідність, різницю потенціалів та ін.

У результаті проведеного аналізу методів визначення концентрації розчинів було виділено електрохімічні методи, до яких належать кондуктометричний, кулонометричний і потенціометричний методи. Вони мають високу точність і вже знайшли широке застосування у практиці. Серед електрохімічних методів аналізу вигідно вирізняється потенціометричний метод, оскільки він дає змогу аналізувати вміст відразу декількох компонентів у розчині без їх попереднього розділення, забезпечує високу точність отримання результатів і завдяки можливості автоматизації процесу дає можливість проводити неперервний контроль процесу змішування.

3. Обробка, аналіз одержаних результатів та оформлення звіту

Зі збільшенням відстані між форсунками, внаслідок зростання швидкості струменів у момент зіткнення, зростає кінетична енергія турбулентності, але її дисипація досягає максимального значення при відстані між форсунками $a=d_c$. Дисипація потужності стосовно до струминного змішування характеризує інтенсивність взаємодії потоків рідини, що приводить до поширення молекул однієї речовини між молекулами іншої. З умов одержання високого ступеня змішування рідких компонентів, крім високої турбулентності потоків, необхідна рівномірність розподілу кінетичної енергії, повне охоплення змішуваного потоку рідини зустрічним потоком, виключення вторинних завихрень, що лише частково охоплюють потік.

Виходячи із цих умов максимальна якість змішування досягається при $a=d_c$, що підтверджує припущення, висунуте на підставі аналізу математичних залежностей, про те, що виходячи з умов одержання найвищого ступеня змішування й максимальної продуктивності оптимальна відстань між соплами форсунок дорівнює діаметру сопла форсунки.

У результаті проведеного аналізу методів визначення концентрації розчинів виділено потенціометричний метод. Він є оптимальним для оцінювання якості змішування при виробництві нових конструкцій змішувачів для виробництва безалкогольних напоїв.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Самойчук К.О. Аналитические исследования противоточноструйного 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 протічно-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 І. – 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.

Розділ 1.6.3.5 Обґрунтування процесу підморожування кабачків і гарбузів при підготовці до заморожування

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є процес підготовки до довготривалого зберігання кабачків і гарбузів.

Предмет дослідження - технологічні, конструктивні параметри обладнання для заморожування та закономірності зміни біохімічних, теплофізичних і фізико-механічних параметрів кабачків і гарбузів за час зберігання.

Методи досліджень - фізико-математичне моделювання теплофізичних властивостей овочевої сировини; експериментальні методи аналізу фізико-механічних, біохімічних та мікробіологічних змін в овочевій сировині; методи статистичного аналізу експериментальних даних; методи обчислювальної математики, методи техніко-економічного аналізу ефективності промислових технологій. Для аналітичного дослідження використовувались програми: Excel, MathCad, Statistika.

Розроблено математичну модель процесу заморожування кабачків і гарбузів. Досліджено технологічний процес заморожування плодів кабачків і гарбузів.

ПІДМОРОЖУВАННЯ, ДОВГОТРИВАЛЕ ЗБЕРІГАННЯ, АДГЕЗІЯ, ПІДМОРОЖЕНИЙ ШАР, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ

ВСТУП

В останній час в економічно розвинених країнах швидке заморожування широко використовується через те, що забезпечує довготривале зберігання заморожених продуктів. Світовий досвід зберігання овочевої продукції у замороженому стані є перспективним напрямком холодильної технології, який сприяє зростанню виробництва замороженої продукції та її споживанню в несезонний період.

Консервування, як традиційний спосіб зберігання, призводить до втрат близько 50 % вітаміну С при термічній обробці та потребує істотних витрат матеріалів, є ресурсоємним і екологічно не вигідним. Швидке заморожування кабачків і гарбузів, які є одними з розповсюджених культур на території України - ефективний сучасний спосіб зберігання, який дає змогу максимально зберегти їх початкову якість та високі властивості і поживні речовини. Збільшення обсягів виробництва заморожених овочів є одним з найважливіших завдань забезпечення продовольчої безпеки країни.

Програма досліджень на 2015 р.

- 4 Розробка програми та методики досліджень
- 5 Теоретичне та експериментальне дослідження заморожування кабачків і гарбузів при підготовці до довготривалого зберігання
- 6 Обробка, аналіз одержаних результатів та оформлення звіту

1. Методика досліджень

Дослідження проводилися в 2015 році на базі кафедри ОПХВ Таврійського державного агротехнологічного університету.

Для досліджень були взяті три сорти кабачків, районуваних на півдні України, а також перспективних, внесених до Державного Реєстру рослин, в основному, ранньостиглі, світло-зеленого (Грибовський), зеленого (Скворушка) і жовтого (Золотінка) забарвлення та один сорт гарбуза Мускатний.

Для експериментальних досліджень проводився відбір середньої проби плодів в технічній стадії стиглості з типовими для кожного сорту розмірами, забарвленням згідно ДСТУ 318-91 „Кабачки свіжі. Технічні умови”, гарбуз – згідно ДСТУ 3190-95 „Гарбуз продовольчий свіжий. Технічні умови”. Середня проба відбиралася в кількостях, достатніх для п'ятикратного проведення досліджень оцінки якості.

Технологічна схема підготовки сировини включала наступні етапи: збирання, інспекцію - видалення сторонніх домішок, екземплярів з механічними та іншими пошкодженнями, а також перезрілих; миття чистою проточною водою до повного видалення забруднення, сушіння потоком повітря, створюваним вентилятором.

Заморожування овочів проводили повітряним і криогенним способами. Для повітряного заморожування застосовувалася стаціонарна промислова холодильна камера. Для криогенного заморожування об'єктів досліджень використовувався рідкий азот і його пари. У дослідженнях використовувалися повірені прилади.

Процес заморожування вважався завершеним, коли температура в центрі фрагментів сягала мінус $20 \pm 1^\circ\text{C}$. У такому вигляді продукція зберігалася в холодильній камері з температурою мінус $20 \pm 1^\circ\text{C}$ і відотною вологістю повітря 90 %.

На підставі результатів аналізу різних конструкцій пристроїв для заморожування і підморожування було розроблено схему пристрою для попереднього підморожування конструкцію якого представлено на рис.1.

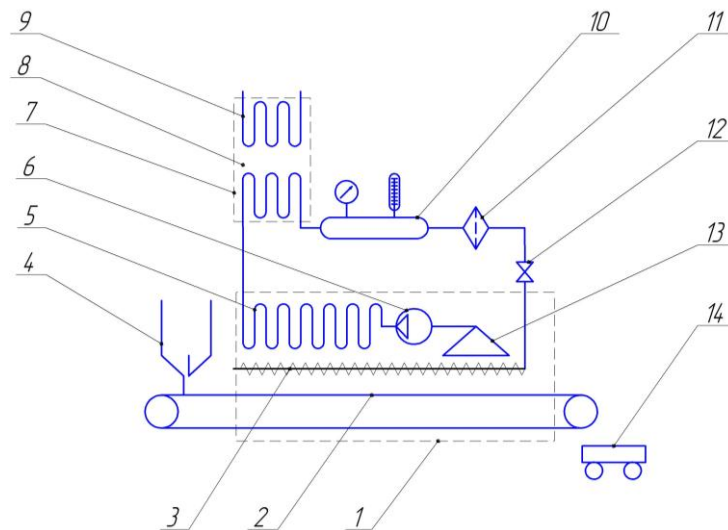


Рис.1. Загальний вигляд пристрою для попереднього підморожування
 1 - камера охолодження; 2 - транспортер; 3 - трубопровід з соплами;
 4 - завантажувальний бункер; 5 - рекупераційний радіатор; 6 – компресор;
 7 - теплообмінник; 8 - радіатор-охолоджувач; 9 - випарник холодильника;
 10 - ресивер; 11 - фільтр-вологівідокремлювач; 12 - вентиль;
 13 - вологовідокремлювач; 14 - візок для приймання готової продукції.

В робочій камері охолодження 1 розташовані транспортер 2, трубопровід з соплами для подачі переохолодженого повітря 3. Перед робочою камерою розташований завантажувальний бункер 4, а за нею візок для приймання готової продукції 14. Холодоагент, який відпрацював, приймається до приймального пристрою вологовідокремлювача 13, звідки надходить до компресора 6, який стискає сухе холодне повітря. За компресором 6 розташований рекупераційний радіатор 5. Після виходу з камери розташований теплообмінник 7, в якому розташований радіатор-охолоджувач 8 і випарник холодильника 9. Охолоджений стиснений холодоагент накопичується в ресивері 10, звідки через фільтр-вологівідокремлювач 11 надходить до регулюючого вентиля 12.

Для визначення умов заморожування, при яких буде відсутнє явище прилипання нарізаних кабачків і гарбузів, були досліджені адгезійні властивості рослинної сировини. Для цього використовувався експериментальний прилад для визначення адгезії (рис.2), в якому зусилля відриву вимірюється по деформації тензOMETричної балки із записом результату на стрічці осцилографа.

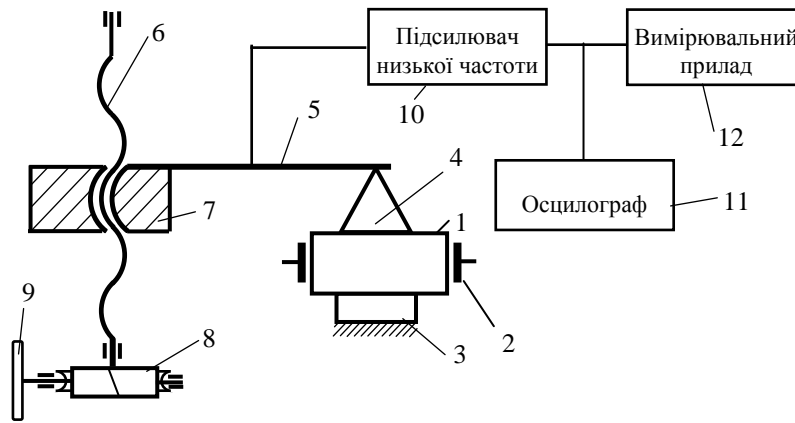


Рис. 2. Схема приладу для вимірювання адгезії: 1 – зразок; 2 – затискач; 3 – нерухома площадка; 4 – пластина; 5 – тензометрична балка; 6 – гвинт; 7 – гайка; 8 – черв'ячна пара; 9 – маховик; 10 – тензопідсилювач; 11 – осцилограф; 12 – вимірювальний прилад.

Прилад працює таким чином: зразок 1 закріплюють в затискачах 2. Гайка 7, на якій закріплена тензометрична балка 5, утворює з ходовим гвинтом різьбове з'єднання. При обертанні ходового гвинта гайка 7 з тензометричною балкою переміщається в залежності від напрямку обертання вгору або вниз. Обертання гвинта здійснюється через черв'ячну пару 8 вручну маховиком 9. До тензометричної балки 5 кріпиться пластина 4. Для створення попереднього контакту на пластину 4 встановлювали вантажі.

Для вимірювання температури по шарам об'єкта досліджень протягом процесу заморожування використовували п'ятиканальний потенціометр КВ-1, укомплектований хромель-копелевими термопарами, градуйованими в інтервалі температур $+50 \dots -50$ °С.

Дефростація заморожених об'єктів досліджень проводилася в повітряному середовищі при температурі 20 °С, до тих пір, поки температура шарів продукту не досягне 0 °С.

2. Теоретичне та експериментальне дослідження процесу заморожування кабачків і гарбузів при підготовці до довготривалого зберігання

Як відомо, найбільш простою та універсальною формулою для розрахунку тривалості процесу заморожування є відома формула Планка з урахуванням кінцевої теплоємності замороженої частини продукту та коефіцієнту форми

$$\tau_{зам} = \frac{L\rho R}{(t_{кр} - t_{ср})\Phi} \left(\frac{R}{2\lambda} + \frac{1}{\alpha} \right) + \frac{C\rho R}{2\Phi} \left[\frac{R}{2\lambda} + \frac{1}{\alpha} \left(1 - \frac{\ln(1 + Bi)}{Bi} \right) \right] \quad (1)$$

де $\tau_{зам}$ – час заморожування, с;

L – питома теплота льодоутворення, $3,35 \cdot 10^5$ Дж/кг;

ρ – щільність продукту, кг/м³;

C – питома теплоємність продукту, Дж/кг·К;

R – характерний розмір продукту, м;
 λ – коефіцієнт теплопровідності продукту, Вт/(м·К);
 α – коефіцієнт тепловіддачі від поверхні продукту до охолоджуючого повітря, Вт/(м²·К);
 t_{cp} – температура охолоджуючого середовища, °С;
 $t_{кр}$ – криоскопічна температура продукту, °С;
 Bi - число Біо, $Bi = \frac{\alpha R}{\lambda}$;
 Φ – коефіцієнт форми, краще визначати за співвідношенням

$$\Phi = 1 + \left(\frac{R_x}{R_y} \right)^2 + \left(\frac{R_x}{R_z} \right)^2, \quad (2)$$

де, R_x, R_y, R_z - розміри тіла вздовж осей x, y, z прямокутної системи координат (розташованої у геометричному центрі тіла), вісь Oz поєднує найбільш віддалені точки тіла на його поверхні, вісь Ox - найбільш наближені точки тіла (рис. 4). Характерним розміром для процесу теплоперенесення є розмір R_x . Коефіцієнт форми згідно (2) змінюється в межах від 1 до 3, $\Phi=1$ відповідає найменш упакованим тілам (нескінчена пластина), $\Phi=3$ відповідає сфері (найбільш упаковане тіло).

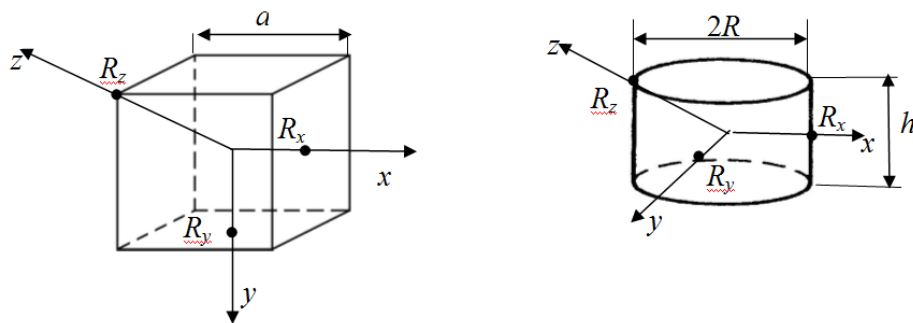


Рис. 4. Визначення коефіцієнтів форми для куба та циліндра

Коефіцієнт форми для куба зі стороною a та характерними розмірами $R_x=R_y=R_z=a/2$ дорівнює

$$\Phi_{\text{куб}} = 1 + \left(\frac{a/2}{a/2} \right)^2 + \left(\frac{a/2}{a/2\sqrt{2}} \right)^2 = 2.5, \quad (3)$$

Для циліндра коефіцієнт форми залежить від його радіуса R та висоти h ,

а саме, $R_y=R$; $R_x = \frac{h\sqrt{R_y^2 + (h/2)^2}}{2R_y}$; $R_z = h\sqrt{R_y^2 + (h/2)^2}$, то

$$\Phi_{\text{цил}} = 1 + \left(\frac{h\sqrt{R^2 + (h/2)^2}}{2R^2} \right)^2 + \left(\frac{h}{2R} \right)^2, \quad (4)$$

Коефіцієнт форми циліндра змінюється в межах 1...2,6. Найменше значення відповідає нескінченно тонкому циліндру ($R_x \ll R_z$; $R_y \ll R_z$), найбільше циліндру для якого $R_x=R_y$, висота такого циліндра згідно рівняння (4) дорівнює $h=1,57R$.

Середню лінійну швидкість заморожування визначили з урахуванням

(1) - (2):

$$\omega_{зам} = \frac{R_x}{\tau_{зам}} = \frac{\Phi}{\left(\frac{L\rho}{(t_{кр} - t_x)} \left(\frac{R_x}{2\lambda} + \frac{1}{\alpha} \right) + \frac{C\rho}{2} \left[\frac{R_x}{2\lambda} + \frac{1}{\alpha} \left(1 - \frac{\ln(1 + Bi)}{Bi} \right) \right] \right)} \quad (5)$$

де $\omega_{зам}$ - середня лінійна швидкість заморожування, м/с.

Для визначення умов, за яких відбуватиметься швидке заморожування, було побудовано залежність середньої швидкості заморожування (5) для шматочків гарбуза у формі кубиків та кабачків у формі низького циліндру з оптимальною висотою $h=1,57R$.

Коефіцієнт тепловіддачі розраховувався за рівнянням (6)

$$Nu = 0.39 Pr^{\frac{1}{3}} Re^{0.64}, \quad (6)$$

де $Nu = \frac{\alpha R}{\lambda_{cp}}$ число Нусельта, λ_{cp} - коефіцієнт теплопровідності охолоджуючого середовища, Вт/(м·К).

Результати розрахунків наведено на рис. 5. Як видно з наведених даних, існує максимальне значення радіусу кружечка плоду за даного коефіцієнту тепловіддачі при якому виконуються умови швидкого заморожування ($\omega_{зам} \geq 5$ см/год). Для радіусів плоду більших ніж R_{max} швидкість заморожування буде менше ніж рекомендовано для швидкого заморожування.

Згідно наведених розрахунків умовам швидкого заморожування для кабачків з радіусом плоду від 1 до 3,7 см відповідає заморожування з коефіцієнтом тепловіддачі $\alpha=300$ Вт/(м²·К) або з радіусом плоду від 1 до 2,6 см з коефіцієнтом тепловіддачі $\alpha=150$ Вт/(м²·К).

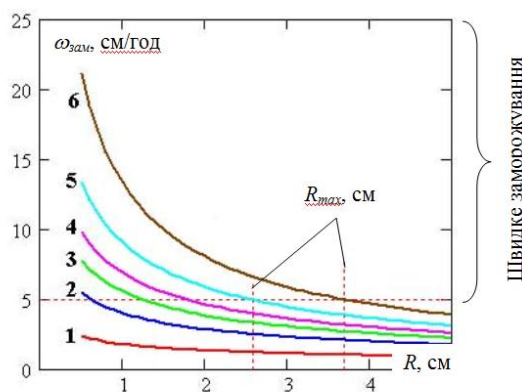


Рис. 5. Лінійна швидкість заморожування кабачка, залежно від радіуса плоду та коефіцієнту тепловіддачі: 1- 20 Вт/(м²·К); 2- 50 Вт/(м²·К); 3- 75 Вт/(м²·К); 4- 100 Вт/(м²·К); 5- 150 Вт/(м²·К); 6- 300 Вт/(м²·К).

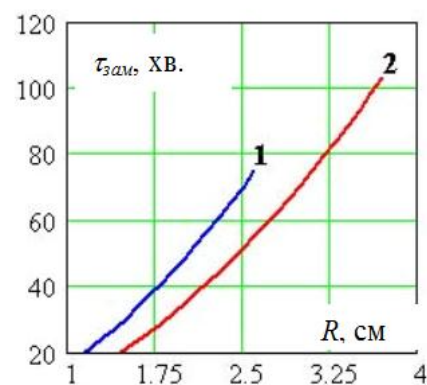


Рис. 6. Розрахункова тривалість швидкого заморожування кабачків з радіусом плоду від 1 до 3,7 см залежно від коефіцієнтом тепловіддачі у апараті: 1 - $\alpha=150$ Вт/(м²·К); 2 - $\alpha=300$ Вт/(м²·К).

На рис. 6 наведено розрахункову тривалість заморожування за рівнян-

ням (1) для кабачків з радіусом плоду від 1 до 3,7 см (коефіцієнт форми $\Phi=2,6$) у апараті з коефіцієнтом тепловіддачі $\alpha=150$ Вт/(м²·К) та $\alpha=300$ Вт/(м²·К).

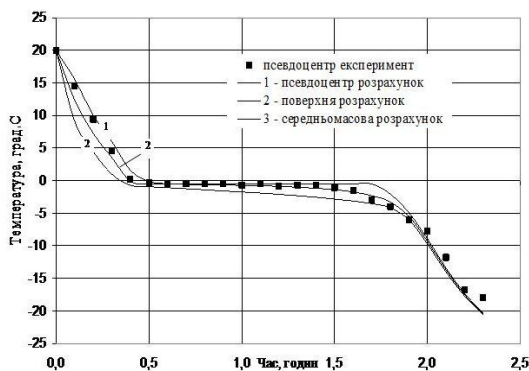
Здійснено математичне моделювання процесів заморожування кабачків і гарбузів за різних умов теплообміну. Відмічено, що при аналізі процесів тільки охолодження сировини достатньо було б провести необхідне моделювання в рамках лінійних крайових задач теплопровідності. В області негативних температур лінійні постановки не можуть використовуватись. Математична модель записана в наступному вигляді (з використанням загальноприйнятих позначень):

$$\begin{cases} C_e(T)\rho(T)\frac{\partial T(x,\tau)}{\partial \tau} = \frac{1}{x^r} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(T)x^r \frac{\partial T(x,\tau)}{\partial x} \right]; & \tau > 0, \\ T(x,0) = f(x), \\ \lambda[T(\tau)]\frac{\partial T(\tau)}{\partial x} + \alpha_1(\tau)[T_{c1}(\tau) - T(\tau)]\frac{F_1}{F_2} = 0, \\ -\lambda[T(\tau)]\frac{\partial T(\tau)}{\partial x} + \alpha_2(\tau)[T_{c2}(\tau) - T(\tau)] = 0 \end{cases} \quad (7)$$

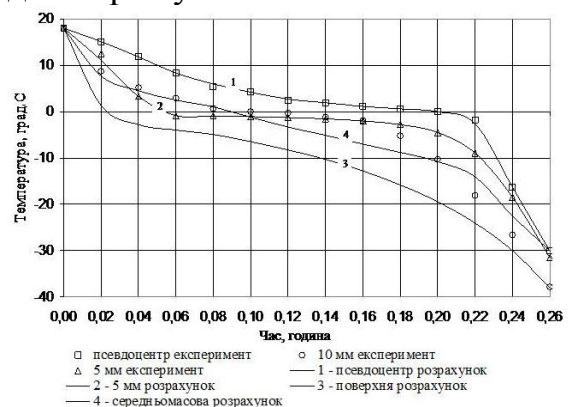
Тут моделюючою функцією виступає температурне нестационарне і одномірне поле $T(x, \tau)$, $C_e(T)$ - ефективна питома теплоємність продукту, $\rho(T)$ - густина продукту, $\lambda(T)$ - ефективна теплопровідність (перколяція теплоти) продукту, $\alpha_1(\tau)$, $\alpha_2(\tau)$ - змінні в часі коефіцієнти тепловіддачі відповідно з внутрішньої та зовнішньої поверхні теплообміну, $T_{c1}(\tau)$, $T_{c2}(\tau)$ - температури охолоджуючого середовища, що омиває відповідно внутрішню та зовнішню поверхні.

На рисунку 7 представлені приклади графіків побудованих за результатами досліджень для кабачків і гарбузів при різних способах їх заморожування.

За результатами апробації розходження між розрахованими та експериментальними значеннями температур у характерних точках об'єктів заморожування не перевищує похибки експериментальних даних ($\pm 1...2^\circ\text{C}$). Узгодженість даних лежить в границях похибки експериментальних даних, яка складає не більше $1,5...2,0^\circ\text{C}$ за весь період заморожування.



а)



б)

Рис. 7. Порівняння розрахункових і експериментальних значень температур при

різних способах заморожування: а) - кружечка кабачка; б) - кубика гарбуза в насиченій парі азоту

Для обґрунтування режиму заморожування визначали адгезійні властивості. При дослідженні використовували прилад, зображений на рис.3 Для оцінки впливу різних факторів на адгезію кабачків були проведені серії дослідів: залежно від часу, тиску попереднього контакту і від температури підморожування. На рис.8 представлений графік залежності адгезії від часу попереднього контакту. Представлена на рис.9 крива відображає залежність адгезії кабачків від тиску попереднього контакту

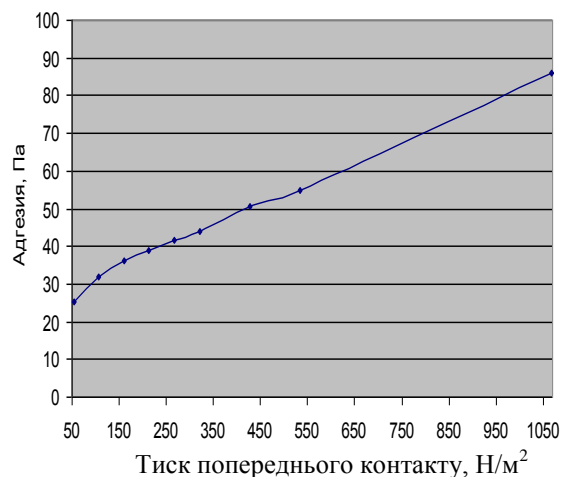
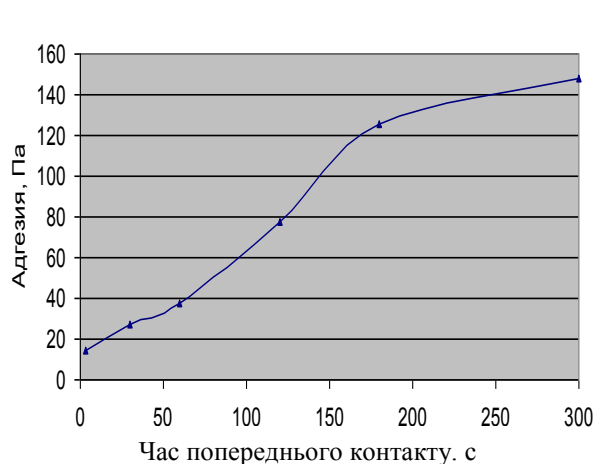


Рис. 8. Залежність адгезії від часу попереднього контакту

Рис. 9. Залежність адгезії від тиску попереднього контакту

Збільшення часу і тиску попереднього контакту супроводжується зростанням дійсної площі контакту і кількості осередків, які мають максимальне зчеплення з пластиною, що визначає змочування матеріалу пластини.

Питання про зміну адгезії при зміні температури на поверхні продукту становить значний практичний інтерес. Результати наведені на рис. 10.

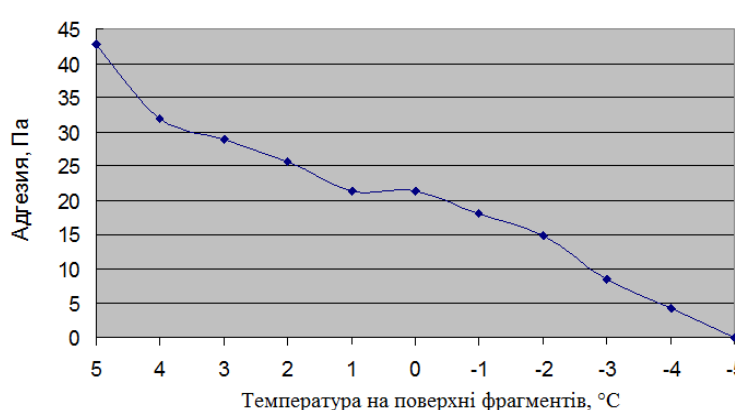


Рис. 10. Залежність адгезії від температури на поверхні фрагментів

При зниженні температури на поверхні продукту адгезія зменшується, це пояснюється тим, що утворюється на поверхні кружечків крижана кірка перешкоджає злипанню кабачків між собою. Отже, адгезія визначається умовами вимірювання і залежить від характеру прикладення зовнішнього зусилля і від структурно-механічних властивостей продукту.

3. Обробка, аналіз одержаних результатів та оформлення звіту

Проведено теоретичне обґрунтування форми і розмірів кружечків кабачків і кубиків гарбуза на основі досягнення умов швидкого заморожування (середня лінійна швидкість заморожування $\omega_{зам} \geq 5$ см/год). Встановлено, що ці умови виконуються за коефіцієнта тепловіддачі у апараті $\alpha \geq 300$ Вт/(м²·К) для максимального розміру кубиків гарбузу до 42 мм, для кружечків кабачка радіусом до 37 мм (висота кружечка кабачку $h = 1,57R$).

Розроблено математичну модель процесу заморожування кабачків і гарбузів і встановлено її адекватність в експерименті.

Запропоновано конструктивну схему пристрою для підморожування матеріалів, який дозволить проводити попереднє підморожування до утворення на поверхні нарізаних овочів крижаного шару, що попереджує їх злипання при зберіганні у замороженому вигляді.

На основі дослідження адгезійних властивостей доведено, що температура підморожування кабачків і гарбузів дорівнює мінус 4 мінус 5°C.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Ялпачик, В.Ф. Исследование адгезионных свойств кабачков [Текст] / В.Ф. Ялпачик, С.Ф. Буденко, В.Г. Тарасенко // Холодильна техніка і технологія. – 2007. – № 4 (108). – С. 58-60.
2. Ялпачик, В.Ф. Підготовка гарбуза до заморожування [Текст] / В.Ф. Ялпачик, В.Г. Тарасенко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ. – 2008. – Вип. 8, том 1.– С. 166-169.
3. Ялпачик, В.Ф. Характеристика кабачків як перспективного об'єкта на ринку швидкозамороженої продукції [Текст] / В.Ф. Ялпачик, В.Г. Тарасенко // Вісник харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУ. – 2007. – Вип. 58 “Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв”. – С.262-266.
4. Тарасенко, В.Г. Змінення властивостей плодів кабачків у процесі заморожування і тривалого зберігання [Текст] / В.Г. Тарасенко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Вип. 10 Т.3 Мелітополь: ТДАТУ, 2010. с. 106-112.
5. Тарасенко, В.Г. Зміни біохімічного складу та мікробіологічних показників кабачків за умов низькотемпературного зберігання [Текст] / В.Г. Тарасенко // Обладнання та технології харчових виробництв тематичний збірник наукових праць. – Донецьк: ДонНУЕТ ім. Михайла Туган – Барановського. Вип. 26 – 2011.- С. 255-259
6. Ялпачик, В.Ф. Моделювання процесу заморожування гарбузових овочів [Текст] / В.Ф. Ялпачик, С.В. Кюрчев, В.Г. Тарасенко // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, вип. 43, ч. II. – Кіровоград: КНТУ, 2013. – С.297-303.19.
7. Тарасенко, В.Г. Технология хранения кабачков и тыквы при помощи замораживания [Текст] / В.Г. Тарасенко // Сб. материалов V международного форума молодежи «Молодежь и сельскохозяйственная техника в XXI веке» / ХНТУСХ. – Харьков: ХНУТСХ, 2009. – С.79.
8. Тарасенко, В.Г. Зберігання плодів кабачків у замороженому стані [Текст] / В.Г. Тарасенко // Зб. матеріалів 7-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології» / Одеська держ. академія холоду. – Одеса : ОДАХ, 2011. – С.52.
9. Тарасенко В.Г. Оптимізація процесу заморожування кабачків і гарбузів [Текст] / В.Г. Тарасенко, С.В. Кюрчев // Збірник тез всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів [„Інноваційні технології розвитку у сфері харчових виробництв, готельно-ресторанного бізнесу, економіки та підприємництва: наукові пошуки молоді”], (26 березня 2014 р.) / редкол. О.І. Черевко [та ін.]. – Харків: ХДУХТ, 2014. – Ч.1. – С.348.
10. Патент на корисну модель №26205 Україна, МПК А23В7/04 Спосіб підготовки кабачків до зберігання / В.Г Тарасенко, В.Ф.Ялпачик: Заявл.

23.04.2007, Опубл. 10.09.2007 Бюл. №14 – 2с.

11. Патент на корисну модель №27716 Україна, МПК А23В7/00 Спосіб виготовлення консервованої овочевої ікри / В.Г. Тарасенко, Н.П. Загорко, В.Ф. Ялпачик: Заявл. 09.07.2007, Опубл. 12.11.2007 Бюл. №18 – 2с.

12. Патент на корисну модель №44109 Україна, МПК А23В7/00 Спосіб консервування кабачків / В.Г. Тарасенко, Н.П. Загорко, В.Ф. Ялпачик: Заявл. 29.12.2008, Опубл. 25.09.2009 Бюл. №18 – 2с.

13. Патент на корисну модель № 100658 Україна, МПК F25D 3/11 (2006.01) Пристрій для попереднього підморожування харчових продуктів / В.Г. Тарасенко, В.О. Петров, С.В. Кюрчев: Заявл. 03.11.2014, Опубл. 10.08.2015, Бюл. № 15 - 2с.

Розділ 1.6.3.6 Виробничі випробування вакуумного способу охолодження плодів черешні та тимчасового їх зберігання

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Програма досліджень на 2015 р.

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

1. Методика досліджень

Дослідження протягом 2011-2015 років проводилися в лабораторії кафедри обладнання переробних і харчових виробництв Таврійського державного агротехнологічного університету. При проведенні виробничих випробувань використовувалась виробнича база ВАТ "Мелітопольська черешня" Мелітопольського району Запорізької області. У процесі випробувань здійснювалися досліді згідно з "Методичними вказівками по зберігання плодів, овочів та винограду".

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

Охолодження плодів черешні під вакуумом проводили у установці для вакуумного охолодження рослинної сировини. Для зберігання використовувалась холодильна камера КХР-6 при температурі 0–7°C.

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

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

Під час проведення випробувань змінними параметрами були:

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

Управління системою вакуумного охолодження: психрометричний термограф/терморегулятор вимірює температуру змоченого термометра в

камері і забезпечує зупинку процесу при заданій температурі. Загалом, температура змоченого термометра близька до температури продукту, яка також реєструється.

Для проведення випробувань процесу вакуумного охолодження плодів черешні на основі існуючих аналогів іноземного виробництва та літературних джерел було вдосконалено установку для вакуумного охолодження рослинної сировини, яка дозволяє в широких межах змінювати і автоматично підтримувати температуру та тиск всередині камери. Конструкція установки для вакуумного охолодження рослинної сировини дозволяє підтримувати необхідну температуру у камері (0–7 °С) та тиск, який можна встановлювати в діапазоні від 101 325 Па (атмосферний тиск) до 1 325Па.

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

1. вміст вітаміну С, мг/100г;
2. вміст цукрів, %
3. інтенсивність дихання, $\text{CO}_2/\text{кг год}$;
4. загальна кислотність, %;
5. втрата маси, %;
6. оцінка товарної якості плодів черешні, %;

Всі заміри робляться у трьохкратній повторності для кожного дослід.

За контроль приймали плоди, що не піддавалися вакуумному охолодженню.

Визначення показників виконували за стандартними методиками.

Відбір і підготовка проб до аналізів проводилися згідно з методичними рекомендаціями зі зберігання та переробки продукції рослинництва.

В ході дослідження згідно плану робіт була вивчена залежність використання різних режимів вакуумного охолодження плодів черешні від зміни товарних якостей, біохімічного складу та фізіологічного стану плодів при короткостроковому зберіганні:

- товарний аналіз відповідно до методичних рекомендацій по зберіганню плодів, овочів і винограду;

- природна втрата маси відповідно до методичних рекомендацій по зберіганню плодів, овочів і винограду.

2. Дослідження змін товарних, фізіологічних та хімічних характеристик плодів при зберіганні з використанням вакуумного охолодження

Охолодження плодів черешні проводили за трьома варіантами режимів:

1. Охолодження до +2 °С при тиску - 0,1 $\text{кг}/\text{см}^2$;
2. Охолодження до +2 °С при тиску - 0,2 $\text{кг}/\text{см}^2$;
3. Охолодження до +2 °С при тиску - 0,3 $\text{кг}/\text{см}^2$;

За контроль приймали плоди, що не піддавалися вакуумному охолодженню.

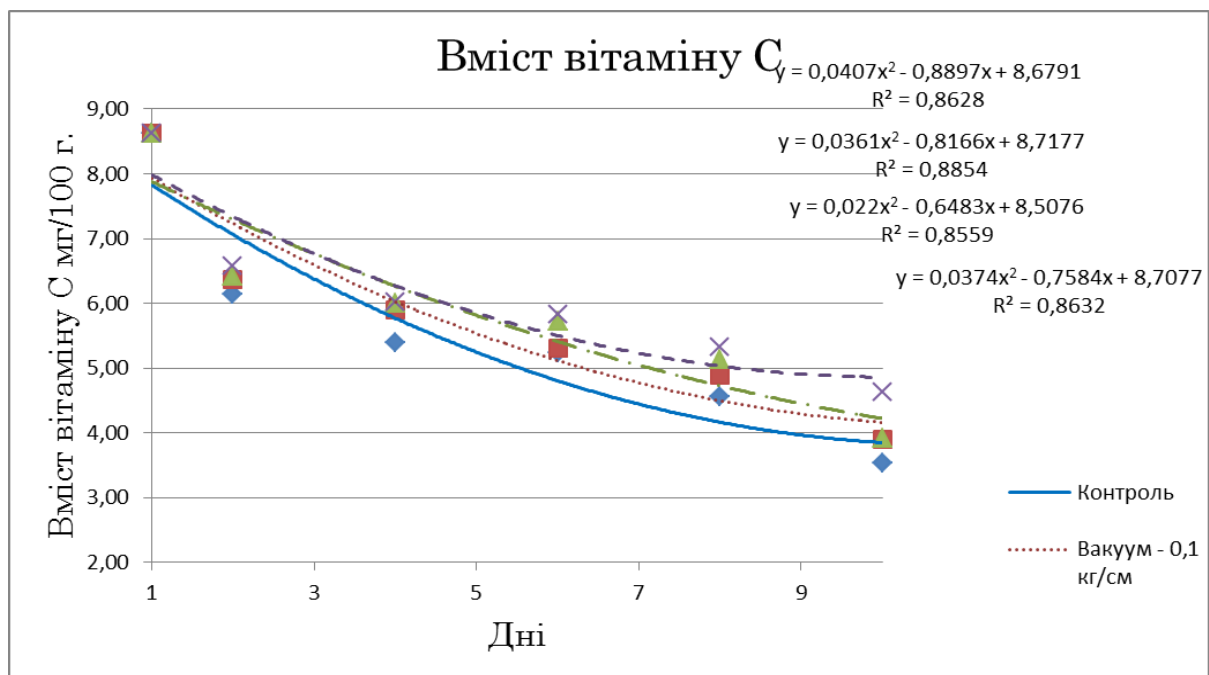
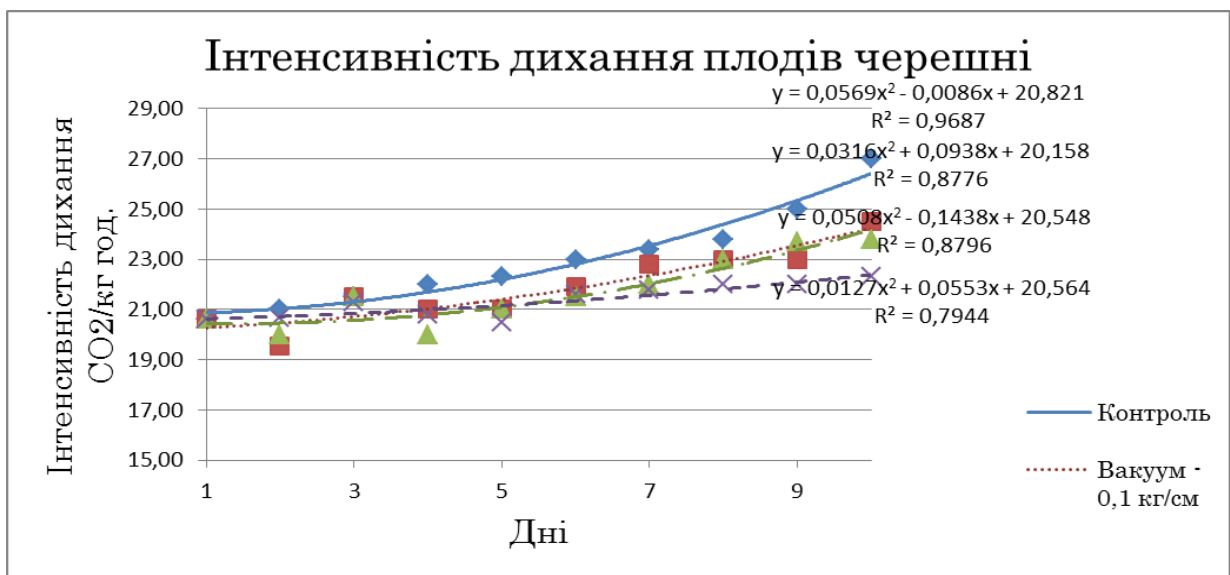
В ході випробувань згідно плану робіт була вивчена залежність вико-

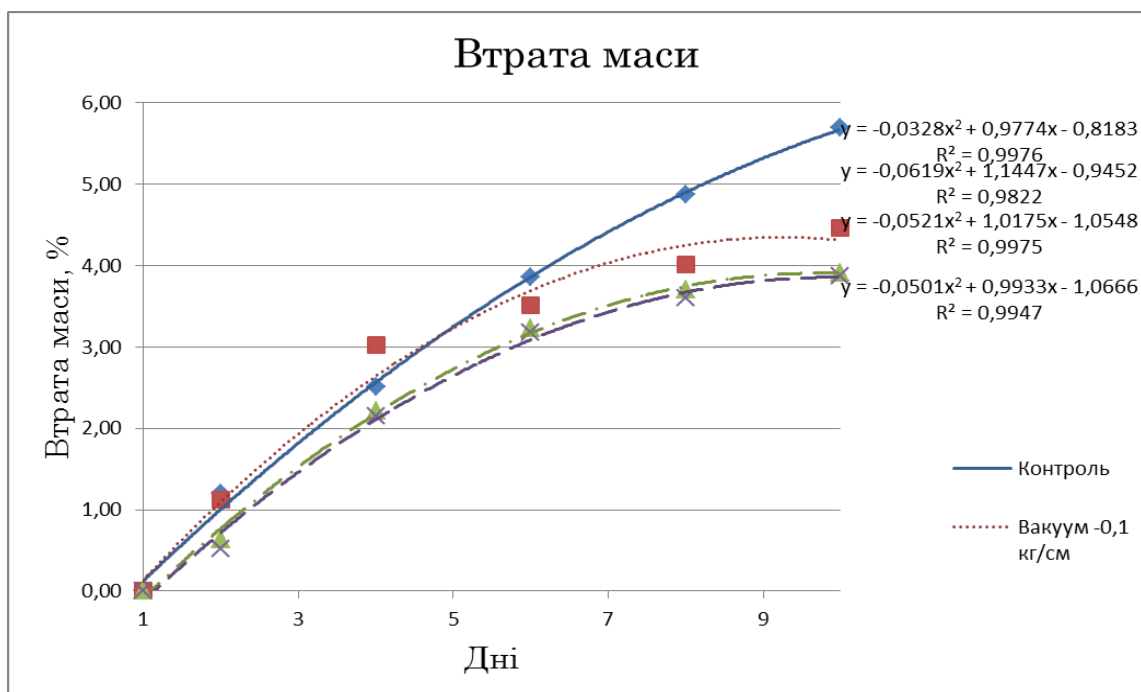
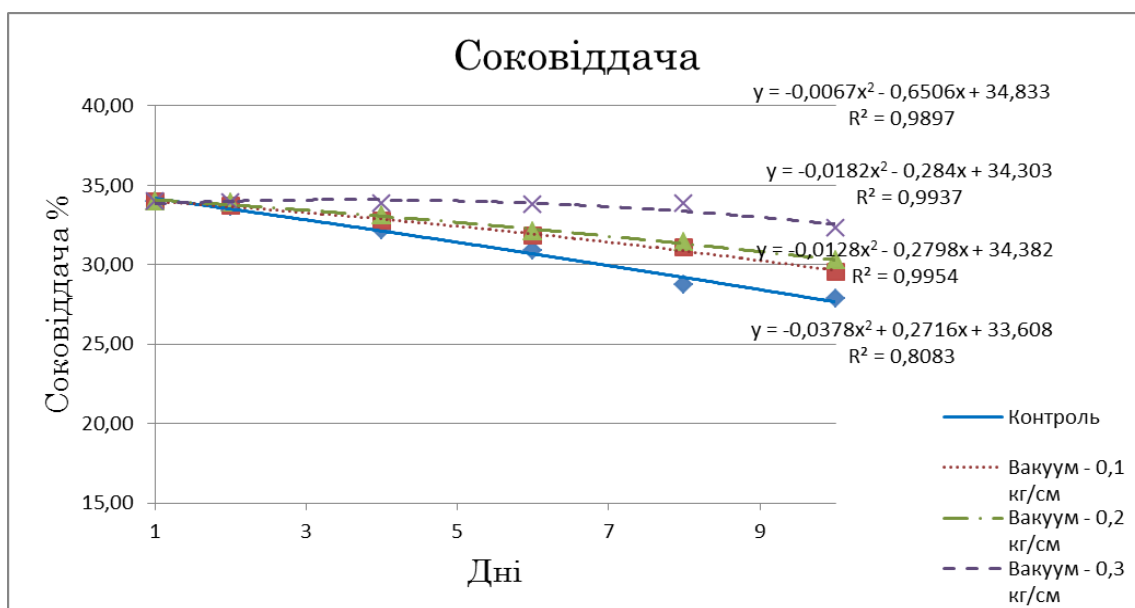
ристання різних режимів вакуумного охолодження плодів черешні від зміни товарних якостей, біохімічного складу та фізіологічного стану плодів при короткостроковому зберіганні:

- товарний аналіз відповідно до методичних рекомендацій по зберіганню плодів, овочів і винограду;

- природна втрата маси відповідно до методичних рекомендацій по зберіганню плодів, овочів і винограду.

Математичну обробку результатів досліджень проводили за Б.А. Доспеховим і комп'ютерною програмою "Excel".





3. Обробка, аналіз одержаних результатів та оформлення звіту

Варіант обробки	Вихід стандартної продукції, %	Відходи, %	
		Технічний брак	Абсолютний відхід
2015 рік			
К	65,25	21,86	12,89
1 (91,3 кПа)	68,65	25,80	5,55
2 (81,3 кПа)	72,31	21,30	6,39
3 (71,3 кПа)	77,95	15,10	6,95

ВИСНОВКИ

В результаті проведених в 2015 році виробничих випробувань було встановлено, що найбільш придатним до вакуумного охолодження є сорт черешні Мелітопольська чорна. Аналіз результатів вакуумного охолодження при різних режимах, а саме: охолодження до $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ при тиску - $0,1\text{ кг/см}^2$, охолодження до $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ при тиску - $0,2\text{ кг/см}^2$ та охолодження до $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ при тиску - $0,1\text{ кг/см}^2$ показав, що найкращі результати якості досягаються при використанні тиску - $0,3\text{ кг/см}^2$, що вказує на доцільність впровадження результатів у виробництво.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Ломейко О.П., Арестов А.Ю. Обґрунтування досліджень вакуумного охолоджувача рослинної сировини: Новый научно-производственный журнал "Пищевая наука и технология - 2010". Одеса: Одеська національна академія харчових технологій, 2010.
2. Ломейко О.П., Арестов А.Ю. Обґрунтування необхідності використання вакуумного охолодження рослинної сировини: Всеукраїнська науково-практична конференція "Сучасні проблеми техніки та технології харчових виробництв, ресторанного бізнесу та торгівлі". Харків: ХДУХТ, 2010.
3. Ломейко О.П., Арестов А.Ю. Вплив режимів вакуумного охолодження на збереженість та якість плодів черешні: Журнал "Холодильная техника и технология". Одеса: ОГАХ, 2010.
4. Ломейко О.П., Арестов А.Ю. Вплив режимів вакуумного охолодження на збереженість та якість плодів черешні: Наукові праці. Випуск 39. Том 1. Одеса: Одеська національна академія харчових технологій, 2011. с. 187-190.
5. Ломейко О.П., Арестов А.Ю. Вплив режимів вакуумного охолодження на збереженість та якість плодів черешні. Международная научно-техническая конференция "Современные проблемы холодильной техники и технологии" Одеса: Одеська національна академія харчових технологій, 2011. с. 120-122.
6. Ломейко О.П., Арестов А.Ю. Вплив режимів вакуумного охолодження збереженість та якість плодів черешні: Журнал "Харчова наука і технологія". Одеса: Одеська національна академія харчових технологій, 2011.

Розділ 1.6.3.7 Оптимізація параметрів процесу гомогенізації молока

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є процес імпульсної гомогенізації молока.

Предмет дослідження – технологічні, конструктивні та гідравлічні параметри імпульсного гомогенізатора молока у взаємозв'язку з енергетичними та якісними показниками..

Мета роботи – зниження енергоємності процесу гомогенізації молока за рахунок використання процесу імпульсної гомогенізації молока та пристрою для його реалізації.

Методи досліджень – поставлені задачі визначалися за допомогою класичних залежностей гідродинаміки та прикладного програмування AnsysWorkbench. Фізико-хімічні методи використовувались при визначенні жирності молока. Експериментальні дані оброблювались за допомогою методів математичної статистики при використанні мікроскопу з веб-камерою та персонального комп'ютера з використанням табличного процесора Microsoft Excel та програмного забезпечення Mathcad.

В результаті роботи здійснено аналіз досліджень процесу гомогенізації та встановлено закономірності руйнування жирових кульок молока; розроблено новий метод комп'ютерного розрахунку швидкості потоку молока і тиску під час імпульсної гомогенізації.

ІМПУЛЬСНИЙ ГОМОГЕНІЗАТОР, ГОМОГЕНІЗАЦІЯ МОЛОКА, ПОРШЕНЬ-УДАРНИК, АМПЛІТУДА КОЛИВАННЯ, ЧАСТОТА КОЛИВАННЯ, ГРАДІЄНТ ШВИДКОСТІ, ANSYS WORKBENCH

ВСТУП

Одним із важливих технологічних процесів в молочній промисловості є гомогенізація молока. Гомогенізоване молоко має безліч переваг в порівнянні з негомогенізованим: поліпшення смакових та сенсорних якостей молока, підвищена стійкість при зберіганні та транспортуванні, відсутність залишків жиру на стінках тари при виливанні молока. Якість продуктів з використанням гомогенізованого молока набагато вища. Тому гомогенізація стала нормативним процесом у більшості сучасних технологічних схем виробництва питного стерилізованого та пастеризованого молока, кисломолочних продуктів, морозива, молочних консервів, виготовлення сиру тощо. У зв'язку з розвитком технологій до гомогенізованих компонентів, що застосовують, висувуються підвищені вимоги до дисперсності кінцевого продукту.

Дослідженням процесу гомогенізації молока з метою підвищення якості кінцевого продукту займалися такі вчені, як Орешина М. М., Фіалкова Є. О., Самойчук К. О., Гвоздев О. В. Основною технічною проблемою одержання тонкодисперсних емульсій є обмеженість можливостей гомогенізаторів. Тому створення пристроїв і способів одержання тонкодисперсних емульсій з можливістю варіювання дисперсності і високою продуктивністю має підвищену актуальність.

Для гомогенізації молока і молочних продуктів в основному використовують клапанні гомогенізатори. Але аналіз конструкцій клапанних гомогенізаторів показав, що вони мають істотні недоліки: значні габаритні розміри і масу, високу металоємність, високі енерговитрати, швидкий знос робочих поверхонь клапана і досить високу вартість обладнання (близько 30 тис. грн. при продуктивності 5000 л/год.). А інші види гомогенізаторів не дозволяють досягти такого ступеня дисперсності жирової фази. Тому необхідним є подальше дослідження механізмів подрібнення жирової фази молока для розробки нових, більш ефективних способів гомогенізації або вдосконалення вже існуючих з метою зменшення енергоємності процесу гомогенізації та збільшення ступеня диспергування молочного жиру. На нашу думку перспективною в цьому сенсі є імпульсна гомогенізація, що дозволяє отримати ступінь диспергування не нижче клапанних гомогенізаторів зі значно меншими енерговитратами.

Програма досліджень на 2015 р.

1. Розробка програми та методики досліджень
2. Теоретичне та експериментальне дослідження гомогенізації молока в пульсаційному апараті з вібруючим ротором
3. Обробка, аналіз одержаних результатів та оформлення звіту

1. Методика досліджень

Дослідження проводилися в 2015 році в лабораторії кафедри обладнання переробних і харчових виробництв Таврійського державного агротехнологічного університету. При проведенні досліджень використовувалась виробнича база ПП "Молокозавод-ОЛКОМ" Мелітопольського району Запорізької області. У процесі експериментальної роботи здійснювалися лабораторні дослідження згідно з діючими стандартами та нормативними документами по визначенню ступеня диспергування та стабільності жирової фази молока.

Гомогенізацію молока проводили у розробленій авторами експериментальній установці імпульсного гомогенізатора (Пат. на корисну модель 31092 Україна, МПК⁶ B01F 7/00, B01F 5/00. Гомогенізатор для рідких продуктів / О.В. Гвоздєв, Н.О. Паляничка, Т.О. Шпиганович, І.В. Ляшок; ТДАТУ (Україна). – № 200713188; заявл. 27.11.2007; опубл. 25.03.2008; Бюл.№6.; Пат. на корисну модель 37355 Україна, МПК⁶ B01F 7/00, B01F 5/00. Гомогенізатор для рідких продуктів / О.В. Гвоздєв, Н.О. Паляничка, А.О. Івженко; ТДАТУ (Україна). – № 200807808; заявл. 09.06.2008; опубл. 25.11.2008; Бюл.№22.;

Пат. на корисну модель 66085 Україна, МПК⁶ B01F 7/00, B01F 5/00. Гомогенізатор для рідких продуктів / О.В. Гвоздєв, Н.О. Паляничка, К.О. Самойчук, А.О. Бездітний, В.В. Кучеренко; ТДАТУ (Україна). – № 201106224; заявл. 18.05.2011; опубл. 26.12.2011; Бюл.№24).

Було розроблено структурно-логічну схему етапів досліджень для досягнення поставленої мети дисертаційної роботи (рис. 1).

Проаналізовано існуючі способи оцінки якості молока та обґрунтовано вибір найбільш оптимальних методів оцінювання. Приведена методика планування повнофакторного експерименту.

Для вивчення процесу імпульсної гомогенізації молока розроблено установку, представлена на рис. 2.

Стабільність жирової емульсії після гомогенізації визначали за показником відстоювання молочного жиру χ . Методами математичної статистики із застосуванням комп'ютерних програм Microsoft Office Excel та Mathcad здійснювався статистичний аналіз характеристик жирових кульок, перевірка на грубі помилки вимірювання, перевірка достовірності теоретичних залежностей. Результати вважали достовірними при значенні коефіцієнта детермінації більше 0,95. З метою визначення впливу часу обробки і кратності на ступінь гомогенізації, а також взаємного впливу цих факторів використовували ротатабельне центральне композиційне планування повнофакторного експерименту, результати якого обробляли за допомогою комп'ютерної програми Mathcad

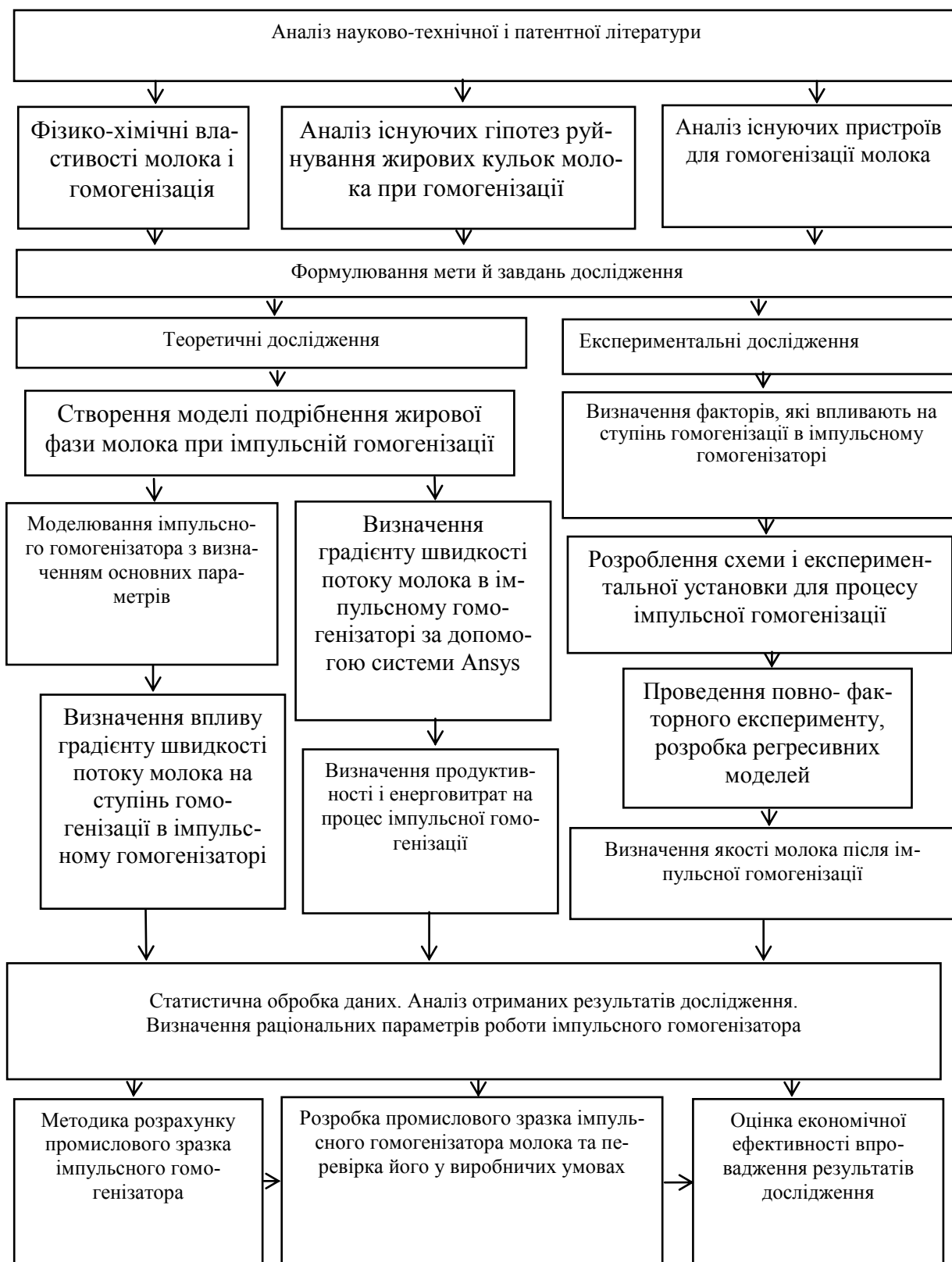


Рис. 1. Структурно-логічна схема етапів дослідження дисертаційної роботи

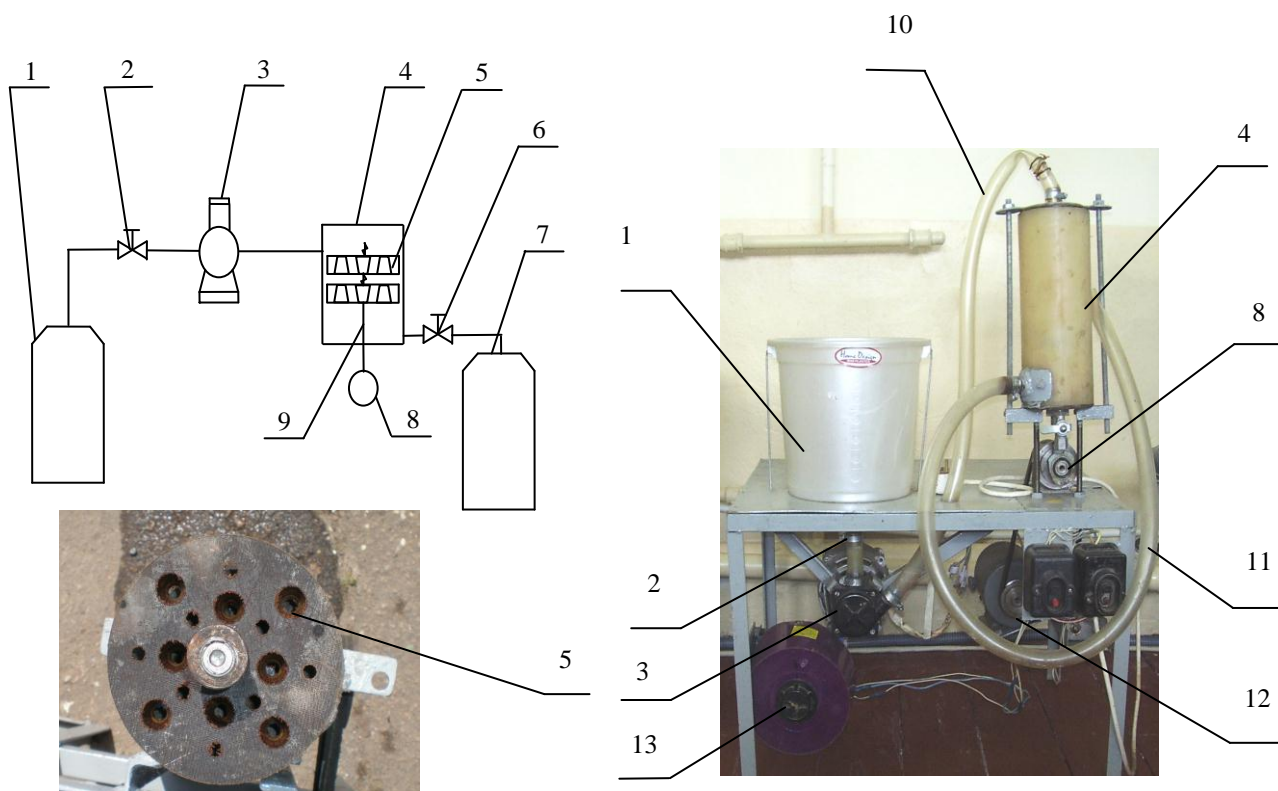


Рис. 2. Принципова схема та загальний вигляд пристрою для дослідження імпульсної гомогенізації молока:

1, 7 – технологічні ємності; 2, 6 – перепускні крани; 3 – насос; 4 – робоча камера; 5 – поршні-ударники; 8 – імпульсний привід; 9 – шток, 10, 11 – труби для підведення вихідного і відведення гомогенізованого молока; 12 – електродвигун постійного струму; 13 – лабораторний трансформатор.

2. Теоретичне дослідження імпульсної гомогенізації молока.

Проведено аналітичні дослідження процесу імпульсної гомогенізації і встановлено залежності між параметрами процесу та його якісними і енергетичними характеристиками. В результаті аналізу сил, що здатні зруйнувати жирову кульку, визначено, що основною є сила інерції, яка в свою чергу сприяє виникненню градієнту швидкості потоку молока. Для інтенсифікації сили інерції запропонована конструкція імпульсного гомогенізатора з основним і додатковим поршнем-ударником з наскрізними отворами, які з'єднані між собою пружиною.

Визначено, що одним із важливих факторів, які впливають на ступінь диспергування, є геометрична форма отворів поршня-ударника. Оскільки найважливішим показником для диспергування в імпульсному гомогенізаторі є швидкість потоку молока, оптимальною є конічна форма отворів з кутом конусності 45° , що забезпечує максимальну швидкість струменя і максимальну продуктивність. Діаметр отворів поршня-ударника та ширина зазору між поршнем і внутрішнім діаметром робочої камери приймається рівною 2 мм.

В результаті аналітичних досліджень для імпульсної гомогенізації молока

визнано доцільним характеризувати процес подрібнення жирової фази модифікованим критерієм Вебера, We^i , в основу якого покладено градієнт швидкості потоку молока

$$We^i = \frac{\rho_{nl} \cdot \left(\frac{dv}{dx}\right)^2 \cdot d_k}{\sigma_{ж-л}}, \quad (1)$$

де ρ_{nl} – густина плазми молока, кг/м³;
 $\frac{dv}{dx}$ – градієнт швидкості потоку, м/с;
 d_k – критичний діаметр частки, м;
 $\sigma_{ж-л}$ – поверхневий натяг краплі, Н/м.

При досягненні критичного значення критерію We^i відбувається руйнування жирових кульок. Визначальна роль при цьому належить градієнту швидкості.

Оскільки цей параметр досить важко визначити, було вирішено розрахувати швидкість потоку молока, а також тиск, що утворюється під час імпульсної гомогенізації за допомогою комп'ютерного моделювання із застосуванням універсальної програмної системи кінцево-елементного аналізу **Ansys Workbench**.

В результаті проведеного розрахунку були отримані лінії токів розподілу тиску та швидкостей по довжині робочої камери в залежності від зміни факторів, що впливають на імпульсну гомогенізацію (рис. 3).

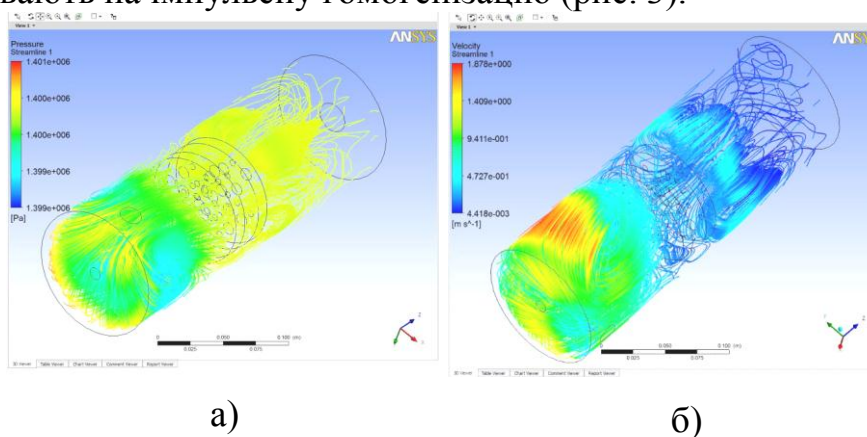


Рис. 3. Тривимірні графіки ліній розподілу виконані в Ansys Workbench: а) тиску; б) швидкостей по об'єму робочої камери.

Для того, щоб визначити, де буде утворюватися максимальний градієнт швидкості потоку молока, а, отже, і ступінь гомогенізації, розраховуємо градієнт швидкості на виході з першого поршня-ударника $\frac{dv_1}{dx}$, другого $\frac{dv_2}{dx}$, між поршнями $\frac{dv_3}{dx}$ та за поршнями $\frac{dv_4}{dx}$.

Рівняння апроксимації відповідно матимуть вигляд:

$$\frac{dv_1}{dx} = 0,0025x^4 - 0,0648x^3 + 0,5859x^2 - 2,0208x + 2,2607 ; \quad (2)$$

$$\frac{dv_2}{dx} = 0,001x^4 - 0,0236x^3 + 0,245x^2 - 0,981x + 1,4537 ; \quad (3)$$

$$\frac{dv_3}{dx} = 0,003x^4 - 0,07x^3 + 0,5133x^2 - 1,2852x + 0,9575 ; \quad (4)$$

$$\frac{dv_4}{dx} = 0,0482x + 0,0631 \quad (5)$$

Залежності (2), (3), (4) та (5) представлені графічно на рис. 4.

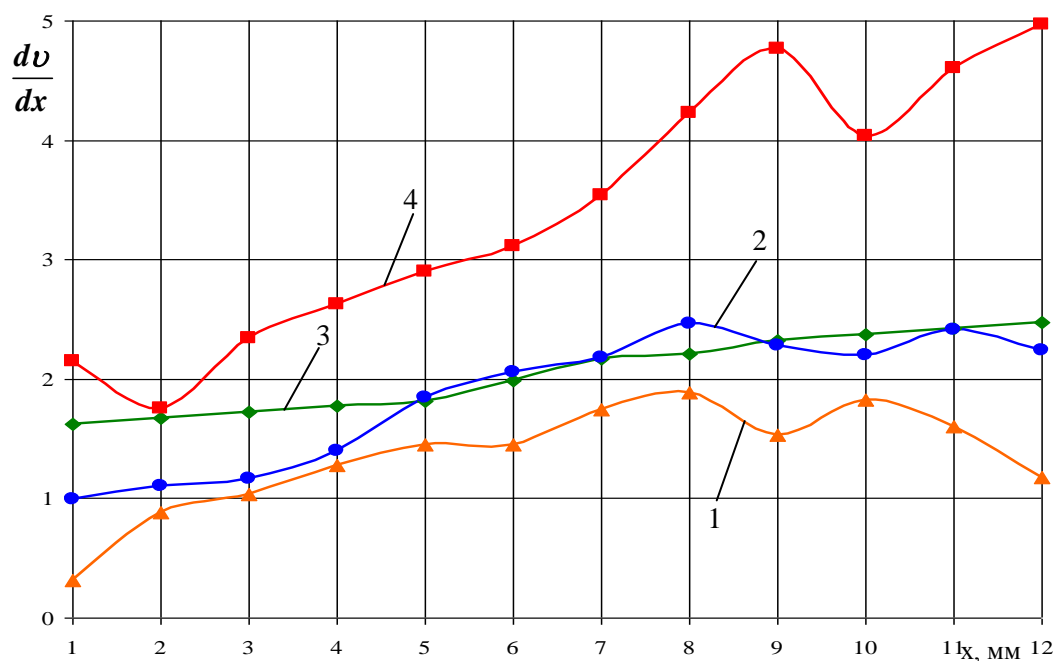


Рис. 4. Графік залежності градієнтів швидкості від довжини робочої камери імпульсного гомогенізатора:

1 – на виході з першого поршня-ударника; 2 – між поршнями; 3 – за поршнями; 4 – на виході з другого поршня-ударника.

Отже, як видно з графіка, найбільший градієнт швидкості (2,2...5 м/с) буде виникати на виході з кінцевих отворів другого поршня-ударника. Логічно припустити, що і ступінь гомогенізації в цьому випадку буде найвищий.

Ступінь гомогенізації визначаємо за формулою

$$Nm = \frac{d_0}{d_k}, \quad (6)$$

де d_0 – середній діаметр жирових кульок до гомогенізації, м;

d_k – критичний діаметр жирових кульок після гомогенізації, м.

Оскільки було визначено, що критичний критерій Вебера для рідини в потоці складає близько 14, то, так як умови практично однакові, припустимо, що в нашому випадку він також складає близько 14. Тоді критичний діаметр жирових кульок буде визначатися як

$$d_k = \frac{We_{кр}^i \cdot \sigma_{ж-п}}{\left(\frac{dv}{dx}\right)^2 \cdot \rho_{пл}} \quad (7)$$

Ступінь гомогенізації в імпульсному гомогенізаторі в загальному вигляді визначається залежністю:

$$Hm = f(h, f, Q), \quad (8)$$

де h – амплітуда коливань поршня-ударника.

f – частота коливань поршня-ударника.

Q – подача молока в імпульсний гомогенізатор.

Рівняння апроксимації залежності ступеня гомогенізації від амплітуди коливань поршня-ударника має такий вигляд

$$Hm = -0,0435h^2 + 1,0653h - 1,63 \quad (9)$$

Залежність ступеня гомогенізації від частоти коливань поршня-ударника апроксимується рівнянням

$$Hm = -0,0085f^2 + 1,0869f - 29,724 \quad (10)$$

Рівняння апроксимації залежності ступеня гомогенізації від подачі молока в імпульсний гомогенізатор має такий вигляд

$$Hm = -10,012Q^2 + 38,363Q - 31,814 \quad (11)$$

Для отримання високого ступеня гомогенізації $Hm = 4 \dots 5$ в імпульсному гомогенізаторі необхідно створити певні умови: амплітуда коливання поршня-ударника 10...12 мм, частота коливань 55...65 Гц, подача молока в імпульсний гомогенізатор 1800...2000 кг/год.

Значна частина жирових кульок знаходиться в стані конгломератів. Тому варто було б визначити, чи можливе в імпульсному гомогенізаторі руйнування конгломератів. Проведені розрахунки показали, руйнування конгломератів жирових кульок в імпульсному гомогенізаторі буде відбуватись навіть при найменшій швидкості потоку молока, близько 2 м/с, тому в подальших розрахунках конгломерати жирових кульок не враховувалися.

Продуктивність імпульсного гомогенізатора визначається за формулою

$$Q = Q_{\delta} + Q_k, \quad (12)$$

де Q_{δ} – подача молока крізь зазор між робочою камерою і поршнем-ударником;

Q_k – подача молока крізь конусні отвори поршня-ударника.

$$Q_{\delta} = \pi \cdot D \cdot \delta \cdot v_{\delta} \cdot \varepsilon_1 \cdot \varphi_1, \quad (13)$$

де D – діаметр робочої камери, м;

δ – зазор між робочою камерою і поршнем-ударником, м;

v_{δ} – швидкість руху гомогенізуючого продукту у зазорі між робочою камерою і поршнем-ударником, м/с;

ε_1, φ_1 – коефіцієнти відповідно звуження і швидкості для плоскої щі-

лини.

$$Q_k = \varepsilon_2 \cdot \varphi_2 \cdot n \cdot \frac{\pi d_{отв}^2}{4} \sqrt{\frac{2}{\rho_c} \cdot \Delta p}, \quad (14)$$

де ε_2, φ_2 – коефіцієнти відповідно звуження і швидкості для отворів в поршні;

n – кількість отворів в поршні;

$d_{отв}$ – діаметр отворів, м;

ρ_c – густина дисперсного середовища, кг/м³;

Δp – перепад тиску до та після поршня, Па.

Враховуючи коливальні рухи поршня-ударника продуктивність імпульсного гомогенізатора визначається

$$Q = \left[(\mu_{2н} - \mu_{2зв}) \cdot K_s \frac{D}{4} + (\mu_{1н} - \mu_{1зв}) \cdot \delta \right] \cdot \pi D \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \Delta p}, \quad (15)$$

де $\mu_{1н}, \mu_{1зв}$ – коефіцієнти подачі молока для щілини між робочою камерою і поршнем-ударником відповідно при коливальному русі поршня ввєрх та вниз;

$\mu_{2н}, \mu_{2зв}$ – коефіцієнти подачі молока для отворів поршня-ударника відповідно при коливальному русі поршня ввєрх та вниз;

K_s – коефіцієнт кількості отворів.

Питомі витрати енергії на процес імпульсної гомогенізації визначаються з виразу

$$E_{num} = \frac{c \cdot \rho_c \cdot v^3 \cdot S}{2Q}, \quad (16)$$

де c – коефіцієнт опору, для круглої пластини, $c=1,1\dots1,15$;

v – швидкість руху поршня-ударника, м/с;

S – площа поршня, м².

Внаслідок проведених розрахунків було визначено, що продуктивність імпульсного гомогенізатора становить 1800...2000 кг/год, питомі енерговитрати на процес гомогенізації – 0,82 Дж/кг.

3. Експериментальні дослідження процесу імпульсної гомогенізації молока.

Шляхом проведення повнофакторного експерименту встановлено залежність між ступенем гомогенізації (Y), амплітудою коливань поршня-ударника (X_1), частотою коливань (X_2) та подачею молока в імпульсний гомогенізатор (X_3).

В результаті реалізації повнофакторного експерименту було отримано рівняння регресії в кодованому вигляді

$$Y = 4,88 + 0,694X_1 + 0,602X_2 - 0,588X_3 + 0,2X_1X_2 + 0,426X_1^2 - 0,663X_2^2 - 0,459X_3^2. \quad (17)$$

Для аналізу результатів повнофакторного експерименту, представлених у вигляді рівняння регресії (17), що адекватно описує процес імпульсної гомогенізації молока, пропонується номограмний метод, який дає можливість побачити одночасно вплив на параметр оптимізації всіх змінних незалежних факторів, що беруть участь у рівнянні регресії, тобто як вони впливають на реальний технологічний процес.

За допомогою комп'ютерної програми Mathcad і розробленої методики, побудовано номограму (рис.5) для аналізу й дослідження рівняння регресії (17).

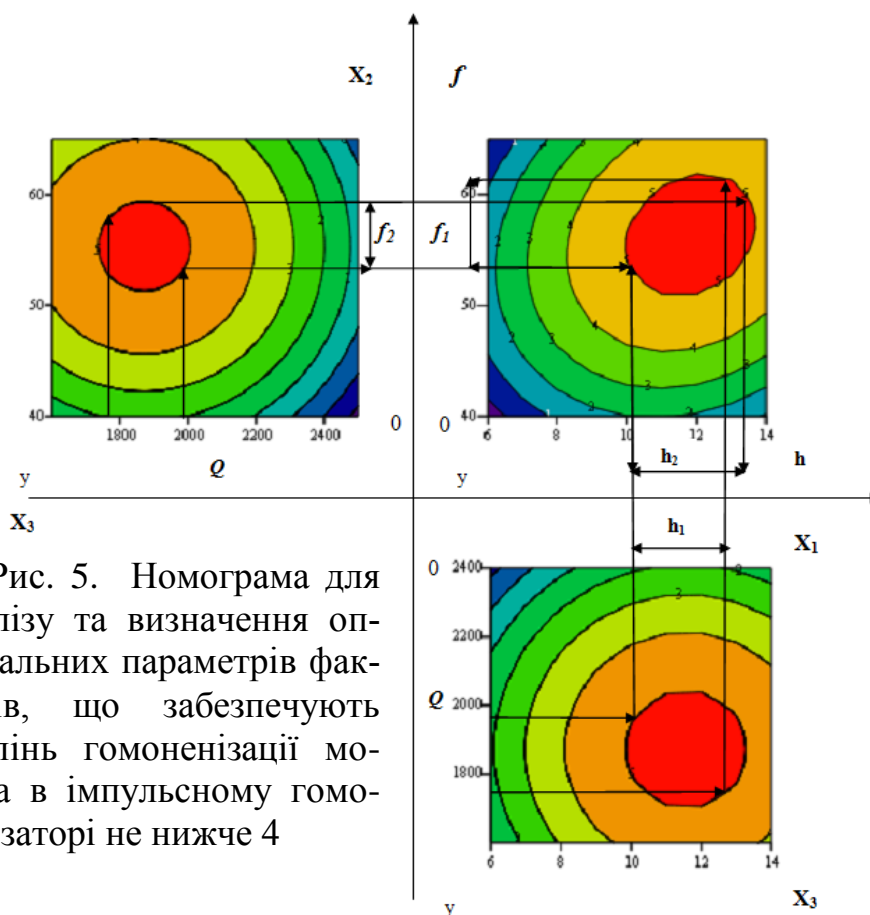


Рис. 5. Номограма для аналізу та визначення оптимальних параметрів факторів, що забезпечують ступінь гомогенізації молока в імпульсному гомогенізаторі не нижче 4

Таким чином, поєднуючи отримані інтервали варіювання факторів, одержуємо, що для імпульсного гомогенізатора з подачею молока $Q = 1800 \dots 2000 \text{ кг/год}$ і ступенем гомогенізації 5 необхідно забезпечувати наступні технологічні параметри процесу гомогенізації: $h = 10 \dots 13 \text{ мм}$ та $f = 53 \dots 62 \text{ Гц}$.

Відхилення теоретичних значень h та f від експериментальних у всьому діапазоні зміни параметрів знаходиться в межах 11%, що підтверджує адекватність отриманих даних.

З метою визначення питомої енергоємності процесу гомогенізації молока в імпульсному гомогенізаторі було проведено повнофакторний експеримент, за допомогою якого було встановлено залежність між енерговитратами на процес імпульсної гомогенізації (Y), амплітудою коливань поршня-ударника (X_1), час-

тотою коливань (X_2) та подачею молока в імпульсний гомогенізатор.

Отримано рівняння регресії в кодованому вигляді

$$Y = 1,045 + 0,038X_1 + 0,032X_2 - 0,025X_3 + 0,19X_1^2 - 0,2X_2^2 - 0,2X_3^2. \quad (18)$$

За допомогою комп'ютерної програми Mathcad побудовано номограму (рис.6) для аналізу й дослідження рівняння регресії (18).

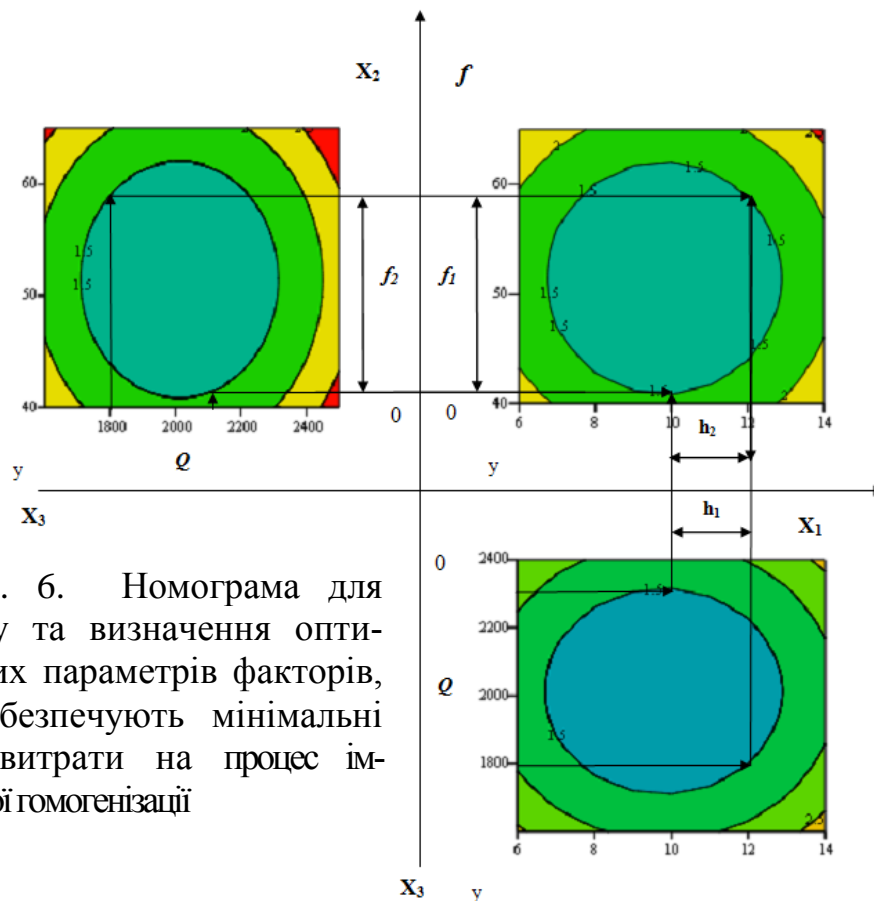


Рис. 6. Номограма для аналізу та визначення оптимальних параметрів факторів, що забезпечують мінімальні енерговитрати на процес імпульсної гомогенізації

Шляхом поєднання інтервалів варіювання факторів було отримано, що для імпульсного гомогенізатора з подачею молока $Q = 1800 \dots 2250$ кг/год і $h = 10 \dots 12$ мм та $f = 43 \dots 59$ Гц енерговитрати на процес гомогенізації становлять 1,5 кВт, а питомі енерговитрати – 0,83 Дж/кг.

У результаті суміщення оптимумів двох номограм можна зробити висновок, що для одержання максимального ступеня гомогенізації $N_m = 5$ при мінімальних питомих енергозатрат $E_{\text{пит}} = 0,83$ Дж/кг необхідно створити наступні умови: амплітуду коливань поршня-ударника $h = 10 \dots 12$ мм, частоту коливань $f = 55 \dots 59$ Гц та подачу молока в імпульсному гомогенізаторі $Q = 1800 \dots 2000$ кг/год.

Відхилення теоретичних значень h та f від експериментальних у всьому діапазоні зміни параметрів менше 9%, що підтверджує адекватність отриманих даних.

Для визначення оптимальної температури молока для процесу імпульсної гомогенізації було проведено експериментальні дослідження залежності амплітуди коливань поршня-ударника, частоти коливань поршня, подачі молока в імпульсний гомогенізатор та температури на ступінь гомогенізації. Графічно

залежності представлені на рис. 7, 8 та 9.

Таким чином було визначено, що температура молока для імпульсної гомогенізації складає 65...70 °С, оскільки перевищення даної температури буде впливати на складові частини молока, зокрема, на стабілізацію жирової емульсії, тим більше, що дана температура найбільше наближена до виробничих умов.

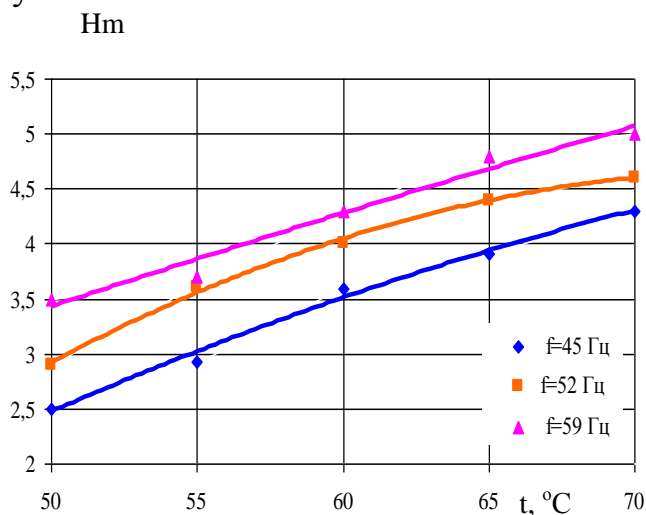


Рис. 7. Залежність ступеня гомогенізації від температури молока при частоті коливань поршня-ударника $f = 45...59$ Гц, амплітуді коливань $h = 10$ мм та подачі молока в імпульсний гомогенізатор $Q = 1800...2200$ кг/год

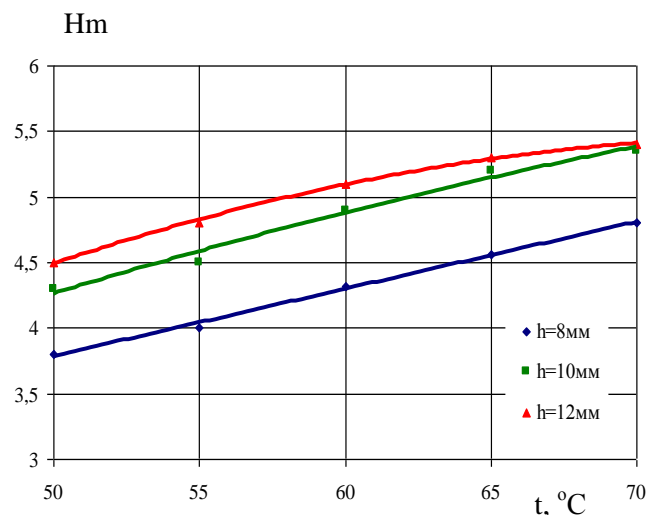


Рис. 8. Залежність ступеня гомогенізації від температури молока при амплітуді коливань поршня-ударника $h = 8...12$ мм, частоті коливань $f = 55$ Гц та подачі молока в імпульсний гомогенізатор $Q = 1800...2200$ кг/год

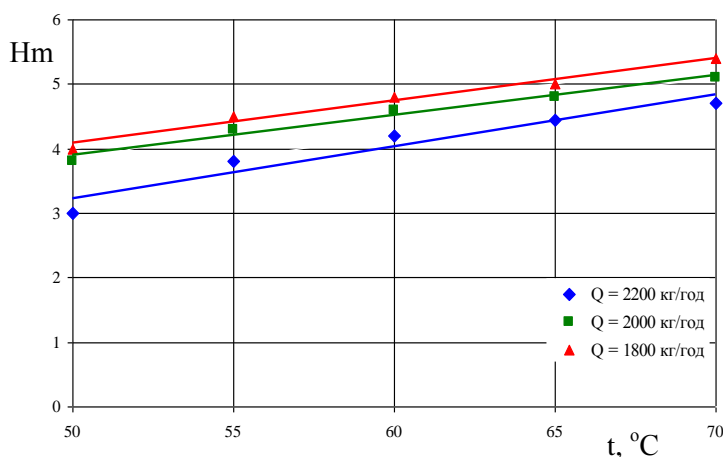


Рис. 9. Залежність ступеня гомогенізації від температури молока при подачі молока в імпульсний гомогенізатор $Q = 1800...2200$ кг/год, амплітуді коливань $h = 10$ мм та частоті коливань поршня-ударника $f = 55$ Гц

Якість гомогенізації молока визначається показником відстоювання молочного жиру χ . Якісною вважається гомогенізація, коли $\chi < 10\%$. На рис. 10 представлено залежність показника відстоювання молочного жиру від температури молока гомогенізованого при $h = 10$ мм, $f = 55$ Гц, $Q = 1800$ кг/год.

Аналізуючи даний графік (рис.10), можна зробити висновок, що при температурі молока від 55 до 70 °С показник відстоювання молочного жиру $\chi < 10\%$. Посилаючись на попередні дослідження, можна вважати, що якість

гомогенізації в імпульсному гомогенізаторі достатня за умови дотримання рекомендованих параметрів.

На рис. 11 показано зміни у фракційному складі жирових кульок після гомогенізації в імпульсному гомогенізаторі у порівнянні з клапанною гомогенізацією.

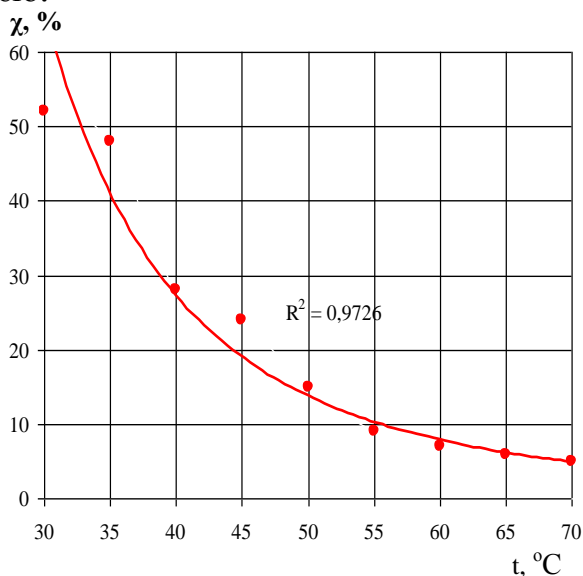


Рис. 10. Залежність показника відстоювання молочного жиру молока від температури гомогенізації в імпульсному гомогенізаторі

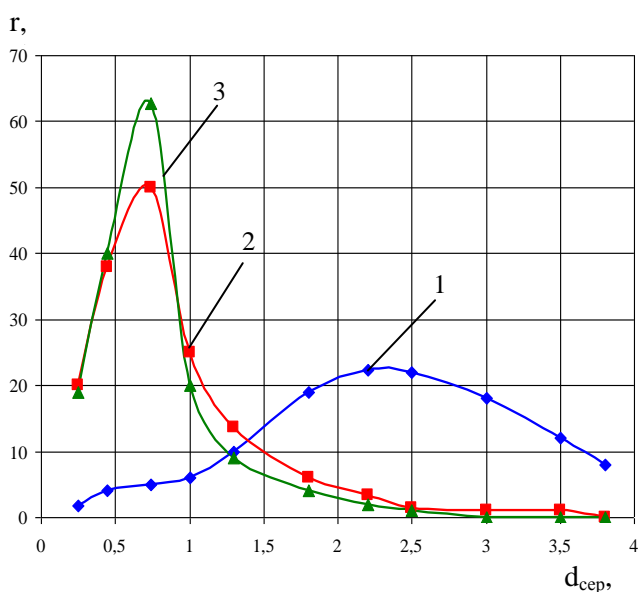


Рис. 11. Диференційні розподілення жирових кульок: 1 – необроблене молоко; 2 – після гомогенізації в клапанному гомогенізаторі при тиску 16 МПа та $t = 65^{\circ}\text{C}$; 3 – після гомогенізації в імпульсному гомогенізаторі при тиску 1,5 МПа та $t = 65^{\circ}\text{C}$.

До гомогенізації молоко (жирністю 2,5%) характеризується такими параметрами: середній діаметр жирових кульок $d_{сеп} = 2,48$ мкм, дисперсія $\sigma = 1,66$, коефіцієнт варіації (частка розсіювання признаку відносно середнього) $V = 67\%$. Після клапанної гомогенізації і відповідно імпульсної гомогенізації ці показники становлять: $d_{сеп} = 0,98$ мкм та $0,80$ мкм, $\sigma = 0,50$ та $0,46$, $V = 51$ та 56% .

Середній діаметр жирових кульок при обробці імпульсним гомогенізатором зменшився на 19 % у порівнянні з клапанним, також зменшилося значення дисперсії, що в свою чергу свідчить про те, що обрані параметри і режими імпульсної гомогенізації забезпечують стабільність жирової фази молока після гомогенізації.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Гвоздев О.В. Проектування імпульсного гомогенізатора молока / О. В. Гвоздев, Н.О. Паляничка, І.В. Ляшок // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь: ТДАТА. Вип.7, Т.5. – 2007. – С. 85 – 92.
2. Гвоздев О.В. Лабораторно – експериментальні дослідження імпульсного гомогенізатора молока / О.В. Гвоздев, Н.О. Паляничка, І.В. Ляшок // Вісник Харківського Національного Технічного Університету імені Петра Василенка. Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв. – Харків: ХНТУСГ. Вип. 74. – 2008. – С.98 – 104.
3. Гвоздев О.В. Пошук конструктивного рішення імпульсного гомогенізатора молока / О.В. Гвоздев, Н.О. Паляничка, В.М. Яворницький // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ. Вип.8, Т.7. – 2008. – С. 28 – 32.
4. Паляничка Н.О. Аналіз існуючих гіпотез руйнування жирових кульок / Н. О. Паляничка, О.В. Гвоздев // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ. Вип.10, Т.3. – 2010. – С. 48 – 54.
5. Гвоздев О.В. Обґрунтування параметрів імпульсного гомогенізатора молока / О.В. Гвоздев, Н.О. Паляничка // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ. Вип.11, Т.6. – 2011. – С. 191 – 197.
6. Паляничка Н.О. Експериментальне обґрунтування параметрів імпульсного гомогенізатора молока / Н.О. Паляничка, О.В. Гвоздев // Збірник наукових праць Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса: ОНАХТ. Вип.39., Т.2. – 2011. – С. 177 – 181.
7. Гвоздев О.В. Комп'ютерне моделювання імпульсного гомогенізатора молока з використанням програмного забезпечення Ansys Workbench / О.В. Гвоздев, К.О. Самойчук, Н.О. Паляничка // Обладнання та технології харчових виробництв: тематичний збірник наукових праць. – Донецьк: ДонНУЕТ. Вип. 28. – 2012. – С. 294 – 300.
8. Паляничка Н.О. Визначення градієнту швидкості потоку молока при імпульсній гомогенізації / Н.О. Паляничка // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ. Вип.12, Т.4. – 2012. – С. 56 – 62.
9. Паляничка Н.О. Результати експериментальних досліджень процесу імпульсної гомогенізації молока / Н.О. Паляничка // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ. Вип.13, Т.1. – 2013. – С. 212 – 217.
10. Паляничка Н.О. Імпульсний спосіб гомогенізації молока / Н.О. Паляничка, О.В. Гвоздев // Матеріали ІV міжнародної науково-практичної конференції студентів і молодих вчених “Перспективна техніка і технології – 2008”. – Миколаїв: МДАУ. – 2008. – С. 52 – 54.
11. Паляничка Н.О. Модель подрібнення жирових часток кавітаційними збурюваннями імпульсного гомогенізатора / Н.О. Паляничка, О.В. Гвоздев // Матеріали V міжнародної науково-практичної конференції студентів і молодих вчених “Перспективна техніка і технології - 2009”. – Миколаїв: МДАУ. – 2009. – С. 58 – 61.

12. Паляничка Н.О. Обґрунтування форми отворів у поршні-ударнику імпульсного гомогенізатора молока / Н.О. Паляничка, О.В. Гвоздєв // Тези доповідей всеукраїнської науково-практичної конференції "Сучасні проблеми техніки та технології харчових виробництв, ресторанного бізнесу та торгівлі". – Харків: ХДУХТ. – 2010. – С. 110 – 111.

13. Паляничка Н.О. Експериментальне обґрунтування ефективності використання імпульсної гомогенізації молока / Н.О. Паляничка, О.В. Гвоздєв, К. О. Самойчук // Тези доповідей VII міжнародної науково-практичної конференції "Проблеми харчових технологій і харчування. Сучасні виклики і перспективи розвитку". – Донецьк: ДонНУЕТ. – 2011. – С. 163 – 166.

14. Паляничка Н. О. Визначення енерговитрат на процес імпульсної гомогенізації молока / Н. О. Паляничка, О. В. Гвоздєв, К. О. Самойчук // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції "Состояние, достижения и перспективы переработки, стандартизации и сертификации лубоволокнистых материалов". – Херсон: ХНТУ. – 2012. – С. 47 – 48.

15. Гвоздєв О.В. Визначення ефективності використання імпульсної гомогенізації молока / О.В. Гвоздєв, Н.О. Паляничка // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції "Прогресивна техніка та технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств та торгівлі. Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг". – Харків: ХДУХТ. – 2012. – С. 317 – 318.

Розділ 1.6.3.8. Обґрунтування параметрів та вибір режимних параметрів зберігання зерна в охолодженому стані

Програма досліджень на 2015 р.

1. Методика досліджень
2. Теоретичне та експериментальне дослідження зберігання зерна в охолодженому стані
3. Обробка, аналіз одержаних результатів

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є технологічний процес охолодження зерна у зерносховищах.

Предмет дослідження – закономірності, що описують технологічний процес охолодження зерна у зерносховищі.

Метою роботи є у підвищенні вихідних показників якостей зерна при зберіганні, шляхом використання процесу охолодження за рахунок вдосконалення зерносховища.

Методи досліджень – теоретичні дослідження базуються на основних положеннях фізики, методах диференціальних обчислень та теорії імовірності, математичного моделювання, прикладного програмування. Теоретичні розрахунки і статистичну обробку експериментальних даних проводили із застосуванням пакетів прикладних програм на ПЕОМ.

Розроблені та досліджені зерносховища для зберігання пшениці. Досліджено технологічний процес охолодження зерна у зерносховищі.

ОХОЛОДЖЕННЯ, ЗЕРНО, ЗЕРНОСХОВИЩЕ, ПАРАМЕТРИ, КЛЕЙКОВИНА, ВОЛОГІСТЬ, ЗБЕРІГАННЯ.

ВСТУП

У сфері переробної галузі агропромислового комплексу (АПК) формується до 70 % загального товарообігу країни. Переробній галузі АПК належить друге місце за обсягом валової продукції. Тільки за рахунок скорочення витрат і поглиблення переробки харчової сировини можна збільшити виробництво продуктів харчування на 25...30 %.. Важливою умовою поліпшення забезпечення населення України продовольчими товарами є розвиток технічної бази зберігання і переробки сільськогосподарської продукції.

На жаль, виробники зерна через ситуації, що склалася в області ринкових відносин інколи вимушені скорочувати посівні площі зернових, організовувати зберігання зерна до його реалізації на токах, майданчиках і в інших малоприспособованих для цієї мети місцях. Відсутність пріоритетності зерна і насіння для ринкової сфери на підприємствах хлібопродуктів веде, як правило, до невиправданих втрат продукції, додатковим інвестиціям, в кінцевому рахунку, до зниження продовольчої безпеки України.

1. Методика досліджень

Дослідження проводилися в 2015 році в лабораторії кафедри «Обладнання переробних харчових виробництв» Таврійського державного агротехнологічного університету.

Конструкція лабораторної установки захищена патентами України на корисну модель за номером 72101, 72178, 72541. Дослідження проводили в лабораторних умовах за традиційними та розробленими методиками. Теоретичні розрахунки і статистичну обробку експериментальних даних проводили із застосуванням пакетів прикладних програм на ПЕОМ.

Для дослідження була взята пшениця сорт Одеський, районірованого на Півдні.

При закладці на зберігання використовували ДСТУ 3768: 2010. «Пшениця. Технічні умови». Зерно на зберігання поставлялося в день збору.

Зерно, використовуване у дослідженнях, було вирощене у Мелітопольському районі, який відноситься до півдня Степової зони України.

На основі проведеного аналізу було розроблено сховище для зберігання сільськогосподарської продукції (рис.1), що містить повітропідвідні канали 1, прошарки 2 зовнішніх стін 3, прошарок горища 4, приміщення сховища над продукцією 5 й продукцію 6. Над каналами 1 встановлені перфоровані ґрати 7, які можуть перекриватися поворотними заслінками 8, що встановлені на осях 9. Зовнішні стінки 3 у нижній частині мають жалюзійні отвори 10 для регулювання подачі повітря або крізь прошарки 2 зовнішніх стін і горища 4, або крізь продукцію.

Спочатку повітря подають в повітропідвідні канали й прошарки 2 зовнішніх стін 3, починаючи з зовнішнього прошарку, забезпечуючи тим самим поступовий перепад температур без утворення конденсату. При цьому жалюзійні отвори 10 зовнішніх стін закриті. Після проходження повітря крізь прошарки 2 зовнішніх стін 3, він поступає в прошарок горища 4 й приміщення сховища над продукцією 5.

Після вирівнювання температур стінок повітропроводів, прошарків зовнішніх стін, горища й повітря, поворотні заслінки 8 опускають на днище повітропідвідного каналу 1 і повітря подають крізь перфоровані ґрати 7 в продукцію 6 у зворотному напрямку.

Тепер повітря, що пройшло крізь продукцію 6, вертається у зворотному напрямку крізь прошарок горища 4, прошарки 2 зовнішніх стін 3 та виходить в жалюзійні отвори 10, забезпечує тим самим стабільність температур по всьому простору сховища та продукції.

Таким чином, створення спрямованих потоків повітря, спочатку крізь прошарки зовнішніх стін 5 послідовно, починаючи від зовнішнього прошарку, з подальшою подачею повітря в прошарок горища й у приміщення сховища над продукцією забезпечує поступовий перепад температур без утворення конденсату, а після вирівнювання температур стінок повітропроводів, прошарків зовнішніх стін, горища й повітря, подача повітря у зворотному напрямку крізь продукцію забезпечує інтенсифікацію процесу вентиляції сільськогоспо-

дарської продукції в сховище, що дозволяє раціонально організувати робочий процес вентилявання та підвищити якість продукції.

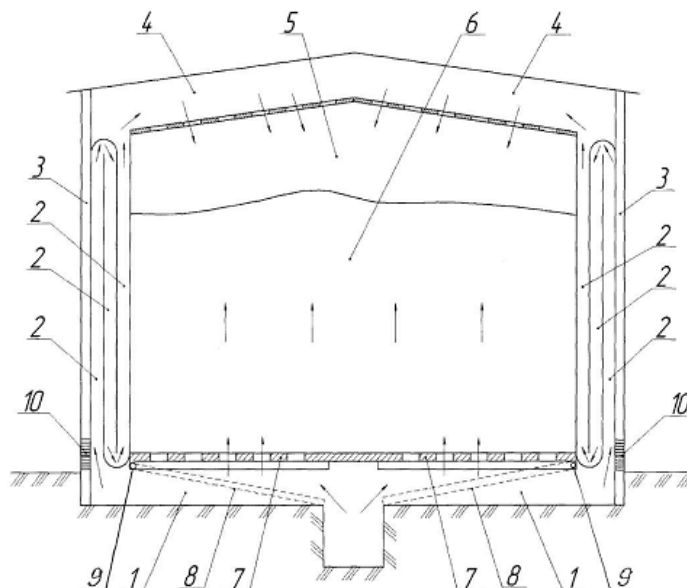


Рис. 1. Сховище для зберігання сільськогосподарської продукції:
1 – повітропідвідні канали; 2 – прошарки; 3 – зовнішні стіни; 4 – прошарок го-рища; 5 – приміщення сховища над продукцією; 6 – продукція; 7 – перфоровані ґрати; 8 – поворотні заслінки; 9 – осі; 10 – жалюзійні отвори.

Дана конструкція дозволяє уникнути значних втрат зерна, зберегти якість зерна, а також знизити витрати на зберігання. Потік повітря, який проходить крізь зернову масу, справляє різнобічний технологічний вплив на зерно. Під його дією змінюються газовий склад повітря у міжзернових проміжках, температура і вологість зерна та інтенсивність фізіологічних і мікробіологічних процесів у зерновій масі.

2. Теоретичне та експериментальне дослідження зберігання зерна в охолодженому стані

Програма лабораторних досліджень передбачала перевірку і уточнення наступних положень.

Алгоритм проведення експериментальних досліджень процесу низькотемпературного зберігання зерна представлено у блок-схемі (рис. 2).

Нами було запропоновано та виготовлено на кафедрі «Обладнання переробних і харчових виробництв» ТДАТУ експериментальні зерносховища для дослідження процесу охолодження пшениці з використанням різних режимів зберігання та встановлення показників якості пшениці, що зберігається.

Експериментальна установка для дослідження процесу охолодження зерна (рис. 3) складається з міні-зерносховищ, охолоджувальних пристроїв, датчиків включення та фіксування температурних режимів, термометра та ноутбуку .



Рис. 2. Блок-схема підготовки та експериментальних досліджень процесу низькотемпературного зберігання зерна

Для кожного із зерносховищ був вибраний температурний діапазон, завдяки якому можливо спостерігати зміну показників якостей пшениці.

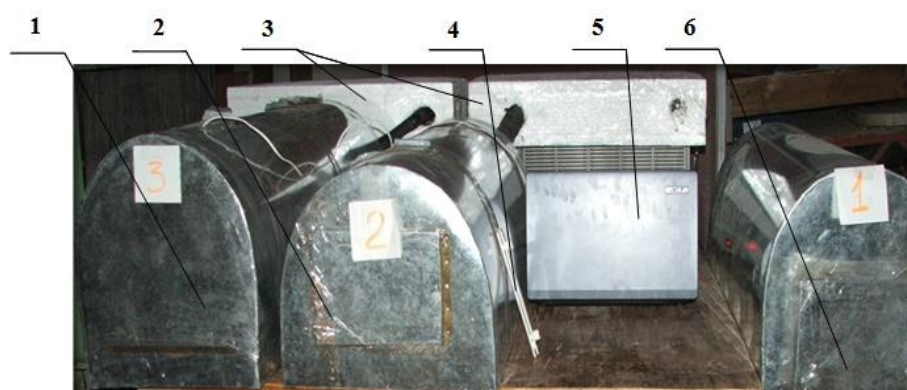


Рис. 3. Загальний вигляд експериментальної установки:

1; 2 – склад (зерносховище) з охолодженням; 3 – охолоджувачі; 4 – термометр; 5 – ноутбук; 6 – склад (зерносховище) без охолодження.

На рис.4 можливо спостерігати датчики, які фіксують температуру.

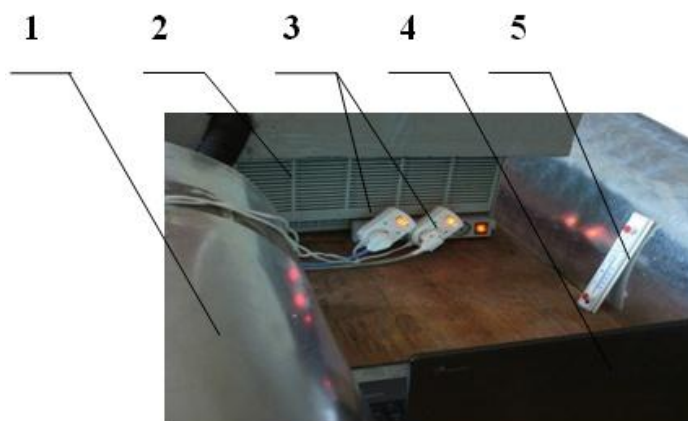


Рис. 4. Блок керування та фіксування температури у зерносховищі:
1 – склад (зерносховище) з охолодженням; 2 – охолоджувач; 3 – датчики;
4 – термометр; 5 – ноутбук

У процесі охолодження використовували однаковий вхідний матеріал, тобто пшениця на початку експерименту була закладена з однаковими показниками.

У багатьох технологічних процесах, а також у техніці й побуті, при сушінні і зволоженні матеріалу, опаленні приміщень, при пневматичному приводі механізмів як робоче тіло застосовується повітря. При розрахунку вказаних процесів необхідно знати властивості і параметри атмосферного повітря, яке завжди містить деяку кількість вологи.

Таким чином, атмосферне повітря являє собою суміш сухого повітря і водяної пари, будучи так званим вологим повітрям. При охолодженні повітря нижче температури точки роси відбувається конденсація водяної пари. В природних умовах прикладом подібного явища є утворення туману.

Виходячи з самої природи зерна та можливих втрат врожаю виникає необхідність у захисті його від активного впливу факторів абіотичного середовища, а також у створенні таких умов протягом зберігання, які б попереджували інтенсивний обмін речовин у клітинах зерна. Проблемою зберігання зерна займалися багато вітчизняних і зарубіжні дослідники. Аналіз розроблених ними способів зберігання, в тому числі застосування рециркуляції зернових сумішей з різним співвідношенням сухого і вологого зерна, показує широку спрямованість виконаних досліджень, але потребує більш детальнішого дослідження, тому проблема залишається актуальною і в даний час. Вирішити це завдання успішно можна тільки із застосуванням відповідних методів підготовки продукту та закладання і збереження їх у необхідних умовах. Зокрема, при наявності необхідної технічної бази, а саме сховищ для зберігання із необхідним устаткуванням, збудованих з урахуванням особливих властивостей зерна.

Системний аналіз передбачає, перш за все, спрощення процесу з метою виділення найбільш суттєвих особливостей об'єкту. При моделюванні техно-

логічного процесу його показують різними схемами: функціональними, параметричними та операторними. Найбільш інформативною є параметрична схема, що дає уяву про всі фактори, які характеризують технологічний процес охолодження (рис.5) .

Через шар зерна пропускають охолоджене атмосферне повітря.

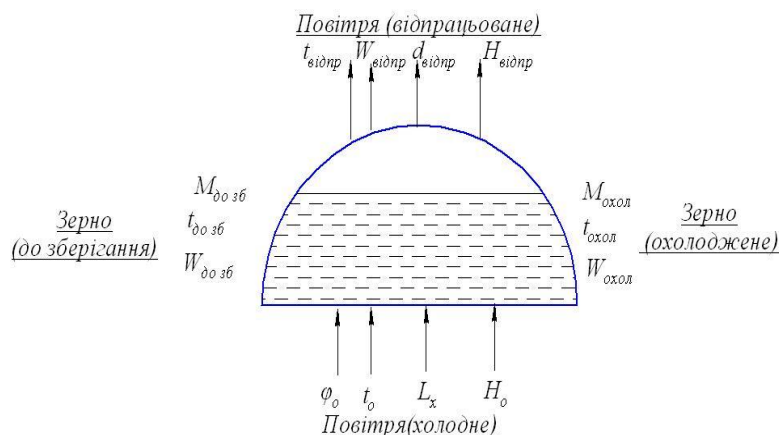


Рис. 5 – Функціонально – параметрична схема

В процесі охолодження зерна з нього випаровується частина вологи. Витрата вологи (кг / с) ,що видаляється при охолодженні

$$W_{ох} = M_{охол} \frac{(W_{до зб} - W_{охол})}{(1 - W_{до зб})}, \quad (2.1)$$

де $M_{охол}$ - маса охолодженого зерна, кг;

$W_{охол}$ - вологість охолодженого зерна, $\frac{\text{кг(вологи)}}{\text{кг(зерна)}}$

$W_{до зб}$ - вологість до зберігання зерна, $\frac{\text{кг(вологи)}}{\text{кг(зерна)}}$

Витрата повітря для охолодження зерна.

$$L_x = \frac{W_x}{\varphi_{відпр} - \varphi_о}, \quad (2.2)$$

де L_x - витрата холодного повітря, кг/с;

W_x - вологість холодного повітря;

$\varphi_{відпр}$ - вологомісткість відпрацьованого повітря з камери, $\frac{\text{кг(пара)}}{\text{кг(сухого повітря)}}$;

$\varphi_о$ - вологомісткість повітря на вході в камеру, $\frac{\text{кг(пара)}}{\text{кг(повітря)}}$;

Тепловий баланс охолоджувача зерна.

$$L(H_{\text{відпр}} - H_{\text{дозб}}) = Q_{\text{доп.теп.}} + W \cdot C_v \cdot t_{\text{хол.пов.}} + M_{\text{дозб}} \cdot C_{\text{дозб}} \cdot (t_{\text{дозб}} - t_{\text{охол}}), \quad (2.3)$$

де L_x - витрата холодного повітря, кг/с;

$H_{\text{відпр}}$ - ентальпія відпрацьованого повітря, кДж/кг;

$H_{\text{дозб}}$ - ентальпія повітря до зберігання, кДж/кг;

$Q_{\text{доп.теп.}}$ - додатковий теплоприток (через стіни, підлогу, стелю, обладнання), кДж/с;

W - кількість вологи, що випаровується із зерна, кг/с;

C_v - теплоємність води, кДж/(кг·°C);

$t_{\text{охол.пов.}}$ - температура холодного повітря, °C;

$M_{\text{дозб}}$ - маса холодного зерна, кг;

$C_{\text{дозб}}$ - теплоємність холодного зерна, кДж/(кг·°C);

$t_{\text{дозб}}$ - температура зерна до зберігання, °C;

$t_{\text{охл}}$ - температура охолодженого зерна, °C;

Коефіцієнт тепло- і вологообміну в охолоджуваному зерноскладі.

$$\Delta_x = C_v \cdot t_{\text{дозб}} + q_{\text{м.х.}} - q_{\text{доп.теп.}}, \quad (2.4)$$

де Δ_x - коефіцієнт тепло- і вологообміну в охолоджуваному зерноскладі;

C_v - теплоємність води, кДж/(кг·°C);

$t_{\text{дозб}}$ - температура зерна до зберігання, °C;

$q_{\text{м.х.}}$ - питома кількість теплоти, що віддається охолоджуваному зерном, кДж/кг;

$q_{\text{доп.теп.}}$ - питома притоки теплоти (через стіни, підлогу, стелю, устаткування, інфільтрація), кДж/кг;

$$q_{\text{м.х.}} = M_{\text{відпр}} \cdot C_z (t_{\text{відпр}} - t_{\text{охол}}) \quad (2.5)$$

де $M_{\text{відпр}}$ - маса зерна, кг;

C_z - теплоємність зерна, кДж/(кг·°C);

Рівняння тепло- і вологообміну, яке описує зміни параметрів охолоджуваного вологого повітря

$$H = H_{\text{дозб}} + \Delta_x \cdot (\varphi - \varphi_{\text{відпр}}), \quad (2.6)$$

де H - поточне значення ентальпій вихідного повітря, кДж/кг;

$H_{\text{дозб}}$ - ентальпія повітря на вході, кДж/кг;

Δ_x - коефіцієнт тепло- і вологообміну в охолоджуваному зерноскладі.

ще, кДж/(кг вологи);

φ - поточне значення вологомiсткiсть повітря, $\frac{\text{кг(вод.пара)}}{\text{кг(повітря)}}$;

$\varphi_{\text{відпр}}$ - вологомiсткiсть відпрацьованого повітря, $\frac{\text{кг(вод.пара)}}{\text{кг(повітря)}}$;

Підставимо (2.4) і (2.5) в рівняння (2.6),

$$H = H_{\text{дозб}} + [C_{\text{в}} \cdot t_{\text{дозб}} + M_{\text{дозб}} \cdot C_{\text{з}} (t_{\text{дозб}} - t_{\text{охол}}) - q_{\text{доп.тепл.}}] \cdot (\varphi - \varphi_{\text{відпр}}) \quad (2.7)$$

Питома кiлькiсть теплоти, яка відводиться від охолоджуваного матеріалу, висловимо через рівняння конвективного теплообміну Ньютона-Рихмана

$$q_{\text{м.х.}} = \alpha \cdot (t_{\text{дозб}} - t_{\text{охол}}), \quad (2.8)$$

α - коефіцієнт тепловiддачі, Вт/м²·с ;

Висловимо α через критерії подiбності G_r (критерій Грасгофа), P_r (критерій Прандтля), N_u (критерій Нуссельта), R_e (критерій Рейнольдса).

Критерій Грасгофа

$$G_r = \frac{\beta \cdot g \cdot d^3 \cdot \Delta t}{\nu^2}, \quad (2.9)$$

де $\beta = \frac{1}{T}$ - об'ємний коефіцієнт теплового розширення, 1/°С ;

g - прискорення вільного падіння, м/с²;

d - діаметр зерна, м ;

Δt - різницю температур, °С ;

ν - кінематичний коефіцієнт в'язкості повітря, м²/с .

Критерій Прандтля

$$P_r = \frac{\nu}{a}, \quad (2.10)$$

де a - коефіцієнт температуропровiдності, м²/с .

Критерій Нуссельта

$$N_u = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}, \quad (2.11)$$

λ - коефіцієнт теплопровiдності повітря, Вт/м·°С .

Критерій Рейнольдса.

$$R_e = \frac{w \cdot d}{\nu}, \quad (2.12)$$

w - швидкість повітря, м/с .

Критеріальне рівняння

$$N_u = 0,15 R_e^{0,33} \cdot P_r^{0,43} \cdot G_r^{0,1} \left(\frac{P_r}{P_{r3}} \right)^{0,25}, \quad (2.13)$$

Звідки

$$\alpha = \frac{N_u \cdot \lambda}{d} = \frac{\left[0,15 \cdot R_e^{0,33} \cdot P_r^{0,43} \cdot G_r^{0,1} \left(\frac{P_r}{P_{r3}} \right)^{0,25} \right] \cdot \lambda}{d}, \quad (2.14)$$

Внаслідок проведеного аналізу було складено рівняння тепло – і вологообміну, завдяки якому можливо розрахувати зміни, які відбуваються під час зберігання.

Остаточне рівняння тепло- і вологообміну, яке описує зміни параметрів охолоджуючого вологого повітря приймає вигляд:

$$H = H_{\text{дозб}} + \left\{ C_v \cdot t_{\text{дозб}} + \frac{\left[0,15 \cdot R_e^{0,33} \cdot P_r^{0,43} \cdot G_r^{0,1} \left(\frac{P_r}{P_{r3}} \right)^{0,25} \right] \cdot \lambda}{d} \cdot (t_{\text{дозб}} - t_{\text{выднр}}) - g_{\text{доп.т.ел.}} \right\} \cdot (\varphi - \varphi_{\text{выднр}}), \quad (2.15)$$

3. Обробка, аналіз одержаних результатів та оформлення звіту

Відповідно до складеного плану був проведений повнофакторний експеримент по визначенню клейковини, індексу деформації клейковини і вологості зерна із застосуванням охолодження в зернохосовище. А також зроблено аналіз з зараженості шкідниками.

Якість зерна контролюють як у процесі післязбіральної обробки (застосовують внутрішньогосподарській контроль якості), так і на стадії зберігання (здійснюють державний контроль готової продукції). Зерно продовольчо-кормове і технічне контролюють за показники, встановлення для зберігання кожної культури стандартами ДСТУ. На кожен зернову культуру є стандарти, що обумовлюють якісні показники зерна відповідно з подальшим його використанням. Для характеристики якості зерна застосовують загальні показники, що відносяться до зерна всіх культур, і спеціальні, що застосовуються лише для зерна окремих культур.

При зберіганні повинно зберігатися якість і кількість зерна. Це означає захист зерна від несприятливих погодних умов, цвілевих грибів та інших мікроорганізмів, зволоження, високих температур, гризунів, птахів, сторонніх запахів і забруднень.

Показники якості зерна необхідні для введення торгівлі. Від якості зерна залежить якість продукту, одержуваного при його переробці, і втрати під час зберігання.

Підвищення вологості заготовлюваного зерна в результаті комбайнового збирання вимагає застосування нових методів для забезпечення його збереження.

Одним з таких методів є зберігання зерна в охолодженому стані[90].

Найбільшу небезпеку для зерна, що зберігається представляє теплової нагрів. Ця проблема ставати особливо гострою у зв'язку зі збільшенням місткості зерносховища. Навіть при хорошій теплоізоляції зерносховищ підвищення температури зерна відбувається в процесі дихання[8,72,73,74] .

Для експерименту ми використовували два зерносховища (склад №1, склад №2), де застосовували охолодження, і третій склад (№3) без охолодження. У зерносховищі №1 підтримували температуру зерна в межах від 0°C - 7°C , а в зерносховищі №2 температуру зерна перебувала в діапазоні від 7°C - 14°C .

При дослідженні брали за основу національний стандарт України про технічні умови пшениці ДСТУ 3768: 2010 , завдяки якому визначенні необхідні показники, які впливають на якість пшениці після зберігання, і для хлібопекарських виробів, тобто на якість хліба.

Головними технологічними показниками, що визначають хлібопекарські властивості зерна пшениці, є масова частка білка і сирогої клейковини, а також якість клейковини .

Дослідження пов'язані з охолодженням зерна і визначенням впливу обраних режимів зберігання на якість клейковини у відомих роботах не було.

Спираючись на відомості, отримані з літературних джерел, і результати проведених досліджень, нами була зроблена спроба встановити залежність між клейковиною пшениці (фактор y) і термінами зберігання (фактор x_1), середня температура в зерносховищі (фактор x_2). Визначення зв'язку проводили за допомогою теорії кореляції, методи якої найбільш повно і з достатнім ступенем точності відображають наявність або відсутність математичної залежності .

Була розглянута множинна лінійна і нелінійна кореляція і складена розрахункова таблиця даних, отриманих в результаті експерименту, а для зручності обчислень - розрахункова таблиця.

Вихідні дані, отримані в результаті експерименту, задовольняють вимогам проведення статистичного аналізу.

У таблиці 1 надані експериментальні значення, які отримано при зберіганні у першому зерносховищі.

Значення клейковини пшениці при зберіганні в першому зерносховищі із застосуванням охолодження.

Термін зберігання, (x_1) місяць	Середня температура зерна в зерносховищі, t_{cp} , (x_2) $^{\circ}C$	Клейковина, (Y) %
1	7	27,5
2	5	27,7
3	4	27,8
4	3	27,8
5	0	27,9
6	0	27,9

За допомогою матриці можна проаналізувати результати дослідження та побудувати поверхні лінійної та криволінійної залежності математичної моделі клейковини пшениці для двох зерносховищ і ліній рівнів криволінійної залежності. А також прогнозувати подальше зберігання зерна в сховищі за клейковиною.

Матриця коефіцієнтів кореляції для факторів представлена в таблиці 2.

Для даних першого зерносховища на підставі кореляційної матриці можна зробити висновок, згідно отриманих числових характеристик: клейковина пшениці (Y) - коливається: $27,62 \pm 0,19$, тобто 27,43 - 27,81%. При цьому спостерігається сильний зростаючий зв'язок від терміну зберігання (фактором x_1), і сильний спадний зв'язок від середньої температурою зберігання зерна в зерносховищі (фактором x_2).

Таблиця 2

Матриця коефіцієнтів кореляції між факторами і результуючим ознакою.

Фактори	Результуючі ознаки		
	Терміни зберігання, (x_1)	Середня температура зерна в зерносховищі (x_2)	Клейковина (Y)
Терміни зберігання, місяць – x_1	1,00	-0,98	0,96
Середня температура зерна в зерносховищі, t_{cp} – x_2	-0,98	1,00	-0,97
Клейковина, % Y	0,96	-0,97	1,00
Середнє	3,50	3,17	27,62
Стандартне відхилення	1,87	2,79	0,19

Для побудови множинної лінійної і нелінійної моделі коефіцієнтів визначені за допомогою пакету MathCad .

Рівняння моделі лінійної та нелінійної залежності для клейковини мають вигляд:

Лінійна

$$Y = -12,9 + 7,25x_1 + 4,76x_2$$

Криволінійна

$$Y = -44,86 + 26,63x_1 + 1,69x_2 - 2,42x_1^2 - 3,1x_1x_2 - 0,99x_2^2$$

де Y – клейковина, %; x_1 – терміни зберігання, місяць; x_2 – середня температура зерна в зернохосовищі, $^{\circ}\text{C}$.

Математична модель лінійної та криволінійної залежностей дає можливість отримати теоретичні значення для конкретних умов зберігання зерна. Порівнявши теоретичні та експериментальні значення дослідів можна зробити висновок, що відхилення величини незначні, тобто отримана математична модель адекватна і дає можливість з достатнім ступенем точності прогнозувати вихід зерна першого класу залежно від температури зберігання

На підставі отриманих залежностей (рис.6 і рис.7) можна здійснити прогноз зберігання зерна в зернохосовищі із застосуванням охолодження, тобто з пониженням температури до 0°C показник клейковини зріс порівняно з закладанням на 0,4%.

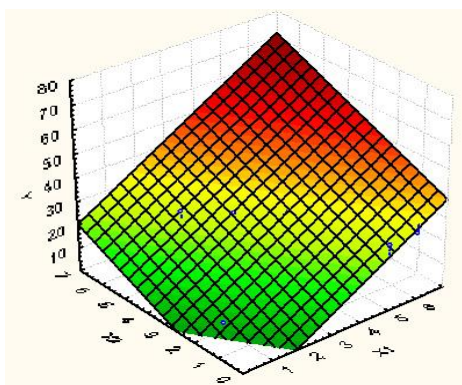


Рис.6 Поверхня лінійної залежності - клейковини пшениці для зернохосовища № 1: x_1 - термін зберігання; x_2 - середня температура зерна у зернохосовищі; Y - клейковина пшениці.

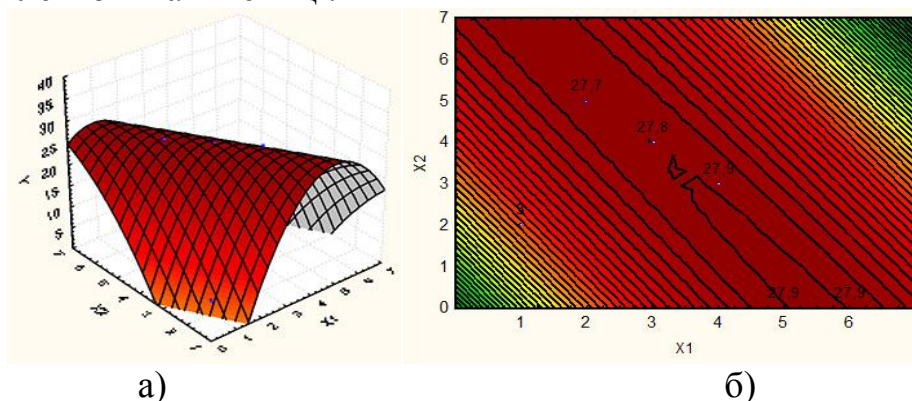


Рис. 7 Поверхня і лінії рівня параболічної залежності (а), лінії рівнів (б) - клейковини пшениці для зернохосовища № 1: x_1 - термін зберігання; x_2 - середня температура зерна в зернохосовищі; Y - клейковина пшениці.

Таким чином, при терміні зберігання 4,3 місяця, температура зерна повинна бути не більше $1,44^{\circ}\text{C}$, і клейковина при цьому складе 27,9%.

Аналогічно визначаємо клейковину під час зберігання в зернохосовищі

№2, де підтримували температуру зерна в межах від 7 °С – 14 °С.

Використовуючи отримані дані під час експеримент заносимо у таблицю 3.

Таблиця 3

Значення клейковини пшениці при зберіганні в другому зерносховищі із застосуванням охолодження.

Терміни зберігання, (x_1) місяц	Середня температура зерна в зерносховищі, t_{cp} , (x_2) °С	Клейковина, (Y)%
1	13	27
2	12,3	27,3
3	12	27,5
4	10	27,7
5	10	27,7
6	8,5	27,8

На підставі проведених дослідів надані дані, які піддаємо подальшій обробці за допомогою матриці коефіцієнтів кореляції.

Представими матрицю коефіцієнтів кореляції між факторами і результатом ознакою (таб.4).

Аналізуючи результати дослідження можемо побудувати поверхні лінійної та криволінійної залежності математичної моделі клейковини пшениці для другого зерносховища, та ліній рівнів криволінійної залежності.

Таблиця 4

Матриця коефіцієнтів кореляції між факторами і результуючої ознакою.

Фактори	Результуючі ознаки		
	Терміни зберігання (x_1)	Середня температура зерна в зерносховищі, (x_2)	Клейковина (Y)
Терміни зберігання, місяц – x_1	1,00	-0,97	0,94
Середня температура зерна в зерносховищі, t_{cp} – x_2	-0,97	1,00	-0,93
Клейковина, % Y	0,94	-0,93	1,00
Середнє відхилення	3,50	10,97	27,93
Стандартне відхилення	1,87	1,73	0,40

Для даних другого зерносховища можна зробити висновок, згідно отриманих числових характеристик, клейковина пшениці в другому зерносховищі (Y) - коливається: $27,53 \pm 0,40$, тобто 27,13 - 27,93%. При цьому спостерігається сильний зростаючий зв'язок від терміну зберігання (фактором x_1), і сильний спадний зв'язок від середньої температури зерна в зерносховищі (фактором x_2).

Рівняння моделі лінійної та нелінійної залежності мають вигляд:

Лінійна
$$Y = 27,5 + 0,15x_1 - 0,04x_2$$

Криволінійна
$$Y = 60,54 - 4,7x_1 - 4,3x_2 + 0,15x_1^2 + 0,34x_1x_2 + 0,13x_2^2$$

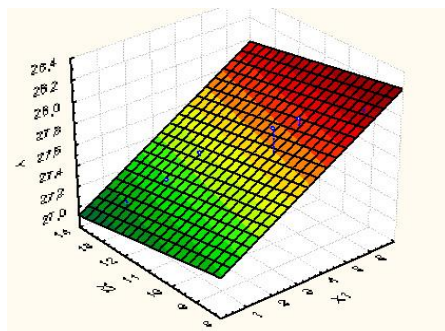


Рис. 8. Поверхня лінійної залежності - клейковини пшениці для зерносховища № 2 (7°C - 14°C): x_1 - термін зберігання; x_2 - середня температура зерна в зерносховищі; Y - клейковина пшениці.

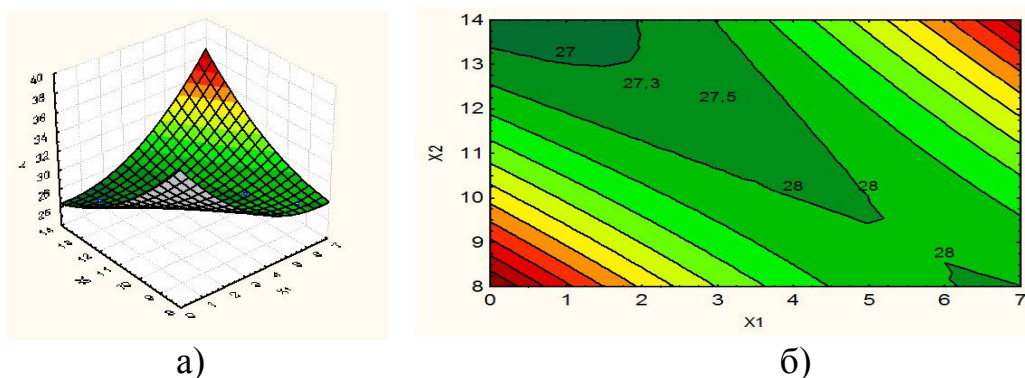


Рис. 9. Поверхня і лінії рівня параболічної залежності – клейковини пшениці для зерносховища № 2: x_1 - термін зберігання; x_2 - середня температура зерна у зерносховищі; Y - клейковина пшениці.

Хлібопекарські якості пшениці оцінюються в основному за кількістю та якістю клейковини. Клейковина - це білковий студень, що залишився після відмивання з тіста крохмалю, клітковини водорозчинних речовин. Її вміст у зерні пшениці коливається від 14 до 50% і вище. Вона складається з набряклих білків - гліадин і глютену.

У стандарті клейковина, її кількість і якість визначає клас зерна.

Під якістю клейковини розуміють сукупність її фізичних властивостей: розтяжність, пружність, еластичність, в'язкість, зв'язність здатність зберігати

фізичні властивості в часі. На рис .9 видно як змінюється клейковина при зміні температурі і терміну зберігання.

При оптимізації, згідно з отриманими даними можна зробити висновок, що найбільш сприятливим терміном зберігання є 6 місяців при температурі не більше 8,4 °С, клейковина при цьому складе 27,8%.

Якість клейковини визначається її фізичними властивостями: пружності, розтяжності, еластичності, здатності до набухання. Ці цінні властивості клейковини зумовлюють високу газоутворюючу здатність пшеничного тіста, що забезпечує високий об'ємний вихід хліба та його хорошу пористість.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Верхованцева В.О. Аналіз способів зберігання зерна / В.О. Верхованцева В.Ф. Ялпачик, // Проблеми харчових технологій і харчування. Сучасні виклики і перспективи розвитку: Міжнар. наук. – техн. конф.: [тези доп.]. – Донецьк: ДонНУЕТ, 2011. – С.125-128.
2. Верхованцева В.А. Обоснование параметров зернохранилища / В.А. Верхованцева // у праці Таврійський державний агротехнологічний університет. – Вип.2 .Т. 3. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012. – С.185-189.
3. Верхованцева В.О. Вплив коефіцієнта теплопровідності на щільність пшениці/ О.В. Верхованцева //Тези І Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні технології харчових виробництв»26-27 березня 2015 Вінниця. : 20 – 23с.
4. Верхованцева В.О. Спосіб вентилявання сільськогосподарської продукції в сховища. / О.В. Верхованцева // Прогресивна техніка та технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарства і торгівлі. Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг.: Міжнародна науково-практична конференція присвячана 45 –річчю ХДУХТ 18 жовтня 2012р. :313 - 315с.
5. Кравець О.В. Економічне обґрунтування впровадження інноваційних технологій, у переробній галузі аграрного сектору/ О.В. Кравець, О.В. Верхованцева // Фінансово –економічні проблеми розвитку сільських територій» 6-7 травня 2014 тези – Мелітополь,2014. –С.126 – 128.
6. Кюрчев С.В. Визначення параметрів оптимізації процесу охолодження зерна / С.В. Кюрчев, В.О. Верхованцева// Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ ім.Петра Василенка, 2015. – Вип. 163. – С. 228 – 239
7. Кюрчев С.В., Верхованцева В.О. Вплив коефіцієнта теплопровідності на вологість зерна / С.В. Кюрчев, В.О. Верхованцева // Тези V всеукраїнської науково-практичної конференції «Інноваційні технології в АПК», Луцький НТУ, травень 2015р – Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2015. – С. 60 - 62.
8. Кюрчев С.В. Конструктивные особенности установки для охлаждения и сушки зерна активным вентиляцией / С.В. Кюрчев, В.О. Верхованцева //Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету [Електронний ресурс]. – Мелітополь: ТДАТУ, 2015. – Вип.5, Т.1. – С. 108 – 113. Режим доступу: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/e-index.html>.
9. Пристрій для охолодження й сушіння сільськогосподарських продуктів активним вентиляванням: пат. 72178 UA. / В.О. Верхованцева, В.Ф. Ялпачик, О.В. Гвоздев. – Заяв. 27.01.2012; опубл. 10.08.2012Бюл. №15.
10. Спосіб вентилявання сільськогосподарської продукції в сховищах: пат. 72101 UA. / В.О. Верхованцева, В.Ф. Ялпачик, О.В. Гвоздев. – Заяв. 03.01.2012; опубл. 10.08.2012Бюл. №15..
11. Сховище для зберігання сільськогосподарської продукції: пат. 72541 UA. / В.О. Верхованцева, В.Ф. Ялпачик, О.В. Гвоздев. – Заяв. 03.01.2012; опубл. 27.08.2012Бюл. №16.Теплотехнический справочник. /Под общей ред.

В.И. Коренева и П.Д. Ледева -2-е изд., перераб. - М.: Энергия, 1976. - т.2

12. Ялпачик В.Ф. Визначення ефективності застосування методу охолодження» / В.Ф. Ялпачик, В.О. Верхованцева // у праці Таврійський державний агротехнологічний університет. – Випуск10.Том 4. – Мелітополь: ТДАТУ, 2011. – С.129-137.

13. Ялпачик В.Ф. Економічна оцінка ефективності використання способу охолодження зерна / В.Ф. Ялпачик, О.В. Кравець, В.О. Верхованцева // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса, 2014. Вип. 45. –Т.2. – С. 199 – 201.

14. Ялпачик В.Ф. Изменение влажности пшеницы при хранении в зернохранилище с применением охлаждения/ В.Ф. Ялпачик, О.В. Верхованцева // Научно –практический журнал Хранение и переработка зерна №7(184) июль 2014. – С.43 –45 .

15. Ялпачик В.Ф. Исследования влияния условий хранения на изменения клейковины пшеницы / В.Ф. Ялпачик, В.А. Верхованцева // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2014. Вип. 14. –Т.4. – С. 128 – 131.

16. Ялпачик Ф.Ю. Методика експериментальних досліджень у процеси охолодження пшениці Ф.Ю. Ялпачик, О.В. Верхованцева //Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки / Редколегія: Калетнік Г. М. (головний редактор) та інші. – Вінниця, 2015. – Випуск 1 (89) Том 2. –С. 159-163.

17. Ялпачик В.Ф. Обґрунтування режимів та способів зберігання зерна. / В.Ф. Ялпачик, В.О. Верхованцева // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2011. Вип. 11. –Т.6. – С. 98 – 105.

18. Ялпачик В.Ф. Планування експериментальних досліджень процесу охолодження / В.Ф. Ялпачик, В.О. Верхованцева // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2015. Вип. 15. –Т.1. – С. 3 – 8.

19. Ялпачик В.Ф. Пристрій для охолодження й сушіння сільськогосподарської продукції активним вентиляванням / В.Ф. Ялпачик, О.В. Верхованцева // Інноваційні технології розвитку у сфері харчових виробництв готельно-ресторанного бізнесу, економіки та підприємства: наукрві пошуки молоді: всеукраїнська науково –практична конференція молодих учених і студентів, 26 березня 2014р.: [тези у 2-х ч.] – Харків: ХДУХТ, 2014. – Ч.1. С. 312 .

20. Ялпачик В.Ф. Сховище для зберігання сільськогосподарської продукції. / В.Ф. Ялпачик ,О.В. Верхованцева, // Прогресивна техніка та технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарства і торгівлі. Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг.: Міжнародна науково-практична конференція присвячана 45 –річчю ХДУХТ 18 жовтня 2012р. : 398 - 400с.

21. Kiurchev S , Linear and nonlinear relationship of wheat storage characteristics / Kiurchev S Vercholantseva V Canadian Scientific Journal, ISSUE 1. 2015: VOLUME 2, 10 – 15pp.

22. Кюрчев С.В. Исследование рабочего процесса при вентилировании зерна в зернохранилище / С.В. Кюрчев, В.О. Верхованцева// Ежемесячный научны журнал Международного научного института «EDUCATION»

. – Новосибирск: Международный научный институт «EDUCATION», 2015. – №9(16). – С. 75 – 76.

23 Кюрчев С.В. Особенности хранения зерновых запасов / С.В. Кюрчев, В.О. Верхоланцева // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2015. – Вип. 15, Т.3. – С. 189 – 194.