

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ НАПІВФАБРИКАТУ ЗБИВНОГО БОРОШНЯНОГО З ВИКОРИСТАННЯМ ЖЕЛАТИНУ І ФЕРМЕНТУ ТРАНСГЛЮТАМІАЗА

Монографія

Під редакцією Ладика В. І., Гурського П. В., Перцевого Ф. В.



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський національний аграрний університет
Державний біотехнологічний університет
Університет прикладних наук Вайнштефан-Трисдорф

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ
НАПІВФАБРИКАТУ ЗБИВНОГО
БОРОШНЯНОГО З ВИКОРИСТАННЯМ
ЖЕЛАТИНУ І ФЕРМЕНТУ
ТРАНСГЛЮТАМІНАЗА**

Монографія

Під редакцією *Ладика В. І., Гурського П. В., Перцевого Ф. В.*

Україна – Німеччина
«Діса+»
2023

Рекомендовано до видання вченою радою
Сумського національного аграрного університету
(протокол № 5 від 26 грудня 2022 р.)

Рецензенти:

М. Ф. Кравченко, доктор технічних наук, професор кафедри технологій та організації ресторанного господарства Київського національного торговельно-економічного університету, Україна;

Л. В. Капрельяни, доктор технічних наук, професор кафедри біохімії, мікробіології і фізіології харчування Одеського національного технологічного університету

Колектив авторів:

Кондрашина Л. А., к. т. н., менеджер систем якості ТОВ «Гуала Кложерс Технологія», Україна – підрозділи 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5; *Гурський П. В.*, к. т. н., доцент, доцент кафедри обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв Державного біотехнологічного університету, Україна – підрозділи 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, редакція розділів; *Ладика В. І.*, д. с.-г. н., професор, академік НААН, ректор Сумського національного аграрного університету, Україна – головна редакція розділів; *Сметанська І. М.*, д-р інж. д-р агр. наук, професор, завідувач кафедри рослинництва та переробки рослинної продукції Університету прикладних наук Вайнштефан-Трисдорф, Німеччина – підрозділ 3.3, 3.4; *Гринченко О. О.*, д. т. н., професор, завідувач кафедри харчових технологій в ресторанній індустрії Державного біотехнологічного університету, Україна – підрозділи 3.1, 3.2; *Омельченко С. Б.*, к. т. н., доцент, доцент кафедри харчових технологій в ресторанній індустрії Державного біотехнологічного університету, Україна – підрозділи 3.5, 3.6; *Перцевої Ф. В.*, д. т. н., професор, завідувач кафедри технологій харчування Сумського національного аграрного університету, Україна – вступ і головна редакція розділів

Удосконалення технології напівфабрикату збивного борошняного з ви-
УЗ1 користанням желатину і ферменту трансглютаміназа: монографія / Л. А. Кон-
драшина, П. В. Гурський, В. І. Ладика та ін. – Харків: Діса+, 2023. – 172 с.

ISBN 978-617-8122-27-0

Монографія містить концентровану та систематизовану наукову інформацію щодо використання желатину і ферменту трансглютаміназа для виготовлення кондитерської продукції в закладах ресторанної індустрії, представлена текстовою формою, технологічними розрахунками, рисунками, схемами, таблицями та призначена для викладачів, здобувачів вищої освіти, здобувачів СВО доктора філософії, що займаються науковою роботою.

УДК 664.002.35: 613.29

- © Кондрашина Л. А., Гурський П. В., Ладика В. І. та інші, 2023
- © Сумський національний аграрний університет
- © Державний біотехнологічний університет, 2023
- © Університет прикладних наук Вайнштефан-Трисдорф, 2023
- © Оформлення. Діса+, 2023

ISBN 978-617-8122-27-0

ЗМІСТ

ЗМІСТ	3
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. НАУКОВІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ НАПІВФАБРИКАТУ ЗБИВНОГО БОРОШНЯНОГО	11
1.1 Аналіз сучасного стану та перспективи розвитку технологій напівфабрикатів збивних борошняних	11
1.2 Теоретичні основи піноутворення та стабілізації піни у білкових борошняних системах	15
1.3 Характеристика функціонально-технологічних властивостей желатину в композиції з ксантаном	20
1.4 Перспективи використання ферменту трансглютаміназа в технології напівфабрикату збивного борошняного	26
1.5 Вивчення синергізму дії структурних елементів у борошняних сумішах з додаванням желатину	31
РОЗДІЛ 2 НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОТРИМАННЯ НАПІВФАБРИКАТУ ЗБИВНОГО БОРОШНЯНОГО.....	36
2.1 Обґрунтування вибору рецептурних компонентів напівфабрикату збивного борошняного з використанням желатину в композиції з ксантаном та ферментом транглютаміназа	36
2.1.1 Розроблення моделі інноваційної стратегії технології напівфабрикату збивного борошняного з використанням желатину і ферменту трансглютаміназа.....	36
2.1.2 Дослідження впливу концентрацій рецептурних компонентів та температури на в'язкість модельних систем.	40
2.1.3 Моделювання в'язкості.....	45
2.1.4 Дослідження впливу ферменту трансглютаміназа на вологоутримувальну здатність тіста напівфабрикату збивного борошняного...	56

2.1.5	Моделювання вологоутримуючої здатності.....	59
2.2	Обґрунтування технологічних параметрів отримання напівфабрикату збивного борошняного.....	80
2.2.1	Дослідження впливу ступеня подрібнення компонентів сухої суміші на тривалість розчинення.....	80
2.2.2	Дослідження впливу температури на процес піноутворення системи «вода-желатин-ксантан» з модифікацією ферментом трансклятаміназа.....	83
2.3	Обґрунтування параметрів теплової обробки напівфабрикату збивного борошняного	88
2.3.1	Дослідження впливу синергетичної взаємодії ксантану з желатином на величину втрат маси напівфабрикату.	88
2.3.2	Дослідження каталітичного впливу ферменту трансклятаміназа в системі желатин-ксантан на величину втрат маси напівфабрикату.	90
2.3.3	Дослідження втрати маси напівфабрикату борошняного збивного за умов програмованої зміни температури та визначення раціонального температурного діапазону випічки.....	91
2.3.4	Дослідження впливу рецептурних компонентів напівфабрикату борошняного збивного на механізм видалення вологи.....	93
2.4	Дослідження форм зв'язку вологи в модельних системах напівфабрикату збивного борошняного під час заморожування-нагрівання методом термограм диференціально-сканувальної калориметрії (ДСК)	95
2.5	Дослідження структурно-механічних характеристик тістової заготовки напівфабрикату збивного борошняного	103
2.6	Оптимізація впливу концентрацій структуруючих компонентів модельних систем напівфабрикату збивного борошняного на параметри в'язкості та вологоутримуючої здатності тістової заготовки.....	105
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ НАПІВФАБРИКАТУ БОРОШНЯНОГО ЗБИВНОГО З ВИКОРИСТАННЯМ ЖЕЛАТИНУ І ФЕРМЕНТУ ТРАНСГЛЮТАМІНАЗА.....		109

3.1 Розробка рецептури та технології напівфабрикату борошняного збивного.....	109
3.2 Дослідження харчової та біологічної цінності напівфабрикату збивного борошняного	116
3.3 Вивчення фізико-хімічних і мікробіологічних характеристик тіста напівфабрикату збивного борошняного під час зберігання	125
3.3.1 Зміни структурно-механічних характеристик.....	125
3.3.2 Зміни вологоутримувальної здатності.	127
3.3.3 Зміни мікробіологічних характеристик.	130
3.4 Вивчення фізико-хімічних характеристик напівфабрикату збивного борошняного випеченого під час зберігання.....	132
3.4.1 Дослідження процесу черствіння.	132
3.4.2 Дослідження деформації м'якушки.....	133
3.4.3 Дослідження крихкості м'якушки.	135
3.5 Дослідження органолептичних показників якості напівфабрикату збивного борошняного випеченого	136
3.5.1 Дослідження пористості напівфабрикату збивного борошняного.....	136
3.5.2 Визначення основних органолептичних показників якості.....	137
3.6 Розроблення рекомендацій з формування асортименту та використання напівфабрикату збивного борошняного випеченого у складі кондитерської продукції.....	144
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	149

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ПАР - поверхнево-активна речовина;

ТГ – фермент трансглютаміназа;

НПС – некрохмальні полісахариди;

СП - стійкість піни;

ПУЗ – піноутворювальна здатність;

КЗР - кількість залишкового розчину;

ВУЗ – вологоутримуюча здатність;

НЗБ – напівфабрикат збивний борошняний;

МБВ – медико-біологічні вимоги;

СН – санітарні норми;

ТУ У – технічні умови України;

ТІ – технологічна інструкція;

ФАО/ВООЗ – всесвітня організація охорони здоров'я

ВСТУП

В останні роки спостерігається тенденція збільшення попиту на нові види продукції, зокрема структуровані та реструктуровані, які являються результатом впровадження у виробництво високоєфективних технологій і характеризуються високою харчовою і біологічною цінністю. При цьому використання в складі структурованої і реструктурованої харчової продукції желатину дає можливість значно розширити її асортимент, а ціленаправлена ферментативна модифікація його властивостей дозволяє надати харчовій продукції необхідну форму і текстуру, високі смакові показники.

Структуровані харчові продукти набирають все більшу популярність з кожним роком. Впровадження наукових принципів ферментативної модифікації властивостей желатину, а також його поєднання з структуроутворювачами іншої природи дозволить створити принципово нові нетрадиційні види харчової продукції (збиті заморожені/збиті напівфабрикати типу бісквіт).

Желатин є гарним субстратом для ферменту трансглютамінази, відповідно фермент використовується для модифікації властивостей желатину для біомедичного та харчового застосування [1]. Фізичні властивості желатину модифікуються під час взаємодії з ферментом [2] і дають можливість використовувати желатин як альтернативну сировину для заміни яєчних продуктів у збивних виробках.

Одним з напрямків інтенсифікації виробництва кондитерської та кулінарної продукції являється застосування сухих сумішей. Використання сухих сумішей напівфабрикатів значно спрощує технологію виробництва багатьох видів кондитерських та кулінарних виробів, так як дозволяє шляхом змішування отримати напівфабрикати із заданими фізико-хімічними та реологічними властивостями. Порошкоподібні або сухі суміші мають ряд переваг у порівнянні з іншими видами сировини. Це мінімальна кількість

вологи і відповідно невеликий об'єм та маса, а також висока концентрація поживних речовин.

Використання сухих сумішей дає можливість розширити асортимент виробів, підвищити свіжість протягом тривалого терміну зберігання, покращує культуру виробництва. Все це представляє інтерес для підприємств малої потужності та приватних підприємств.

Серед вітчизняних вчених, які вивчають вплив ферменту трансглютаміназа на властивості білків борошна та конформаційний стан білків борошняного тіста та безглютенового хліба є Шаніна О.М., Лобачева Н.Л., Зверев В.О. та ін.

В монографії наведено результати наукових досліджень щодо розроблення нової технології отримання напівфабрикату збивного борошняного з використанням ферменту трансглютаміназа, а саме:

- обґрунтовано вибір і концентрацію вмісту піноподібних речовин та проаналізувано їх комплексний вплив на зміни органолептичних, реологічних та фізико – хімічних властивостей харчової системи;

- обґрунтовано основні технологічні параметри виробництва напівфабрикату збивного борошняного;

- розроблено рецептуру та технології виробництва напівфабрикату збивного борошняного, вивчено органолептичні, реологічні, фізико-хімічні властивості;

- встановлено закономірність та механізм впливу концентрації піноутворювачів на якість готового виробу;

- досліджено комплексні показники якості розробленого продукту протягом зберігання;

- запропоновано рекомендації щодо використання суміші сухої для одержання напівфабрикату збивного борошняного типу бісквіт та шляхи формування асортименту продукції.

На підставі теоретичних та експериментальних досліджень науково обґрунтовано та розроблено технологію напівфабрикату збивного борошняного

з використанням желатину як піноутворюючого елементу та ферменту трансглютаміназа без використання яєчних продуктів. Дана технологія дає можливість виготовляти напівфабрикат збивний випечений, з принципово новими властивостями:

- використання різних видів борошна не залежно від кількості клейковини;

- регулювання кількості цукру, тому що в класичній технології виготовлення бісквітного напівфабрикату цукор впливає на в'язкість та кількість сухих речовин;

- можливість заморожувати напівфабрикат збивний борошняний.

Монографія містить матеріали, які включають характеристику та огляд сучасних способів застосування сухих сумішей, значно спрощує технологію виробництва багатьох видів кондитерських та кулінарних виробів, тому що дозволяє шляхом змішування отримати напівфабрикати із заданими фізико-хімічними та реологічними властивостями. Дана технологія дозволяє розширити напрямки інтенсифікації виробництва кондитерської та кулінарної продукції.

У першому розділі наведено аналіз сучасного стану та перспективи розвитку технологій напівфабрикатів збивних борошняних, функціонально-технологічні властивості желатину в композиції з ксантаном, розглянуто теоретичні основи піноутворення та стабілізації піни у білкових борошняних системах, вивчено синергізм дії структурних елементів у борошняних сумішах з додаванням желатину та можливість використання ферменту трансглютаміназа в технології напівфабрикату збивного борошняного.

Другий розділ присвячений науковому обґрунтуванню технологічних параметрів отримання напівфабрикату збивного борошняного, а саме:

- вибору рецептурних компонентів з використанням желатину в композиції з ксантаном та ферментом трансглютаміназа;

- впливу температури на процес піноутворення системи «вода-желатин-ксантан» з модифікацією ферментом трансглютаміназа;

– впливу синергетичної взаємодії ксантану з желатином та каталітичного впливу ферменту трансглютаміназа в системі желатин-ксантан на величину втрат маси напівфабрикату;

– впливу рецептурних компонентів напівфабрикату на механізм видалення вологи та вивченню форм зв'язку вологи в модельних системах напівфабрикату;

– впливу рецептурних компонентів на структурно-механічні характеристики тістової заготовки напівфабрикату;

– оптимізації впливу концентрацій структуруючих компонентів модельних систем напівфабрикату збивного борошняного на параметри в'язкості та вологоутримуючої здатності тістової заготовки.

Третій розділ присвячено розробленню рецептурного складу і технології напівфабрикату збивного борошняного та технології кондитерської продукції з його використанням, фізико-хімічні характеристики напівфабрикату збивного борошняного випеченого під час зберігання. Досліджено харчову і біологічну цінність напівфабрикату, показники безпеки споживання, терміни і умови зберігання; розроблено комплексний показник якості.

На підставі проведених теоретичних та експериментальних досліджень розроблено науково обгрунтовану технологію напівфабрикату збивного борошняного з використанням желатину і ферменту трансглютаміназа та рекомендації щодо їх використання у складі кондитерської продукції.

Колектив авторів сподівається, що дана робота стане у нагоді інженерам-технологам, які працюють в кондитерській галузі харчової промисловості, здобувачам вищої освіти, здобувачам СВО доктора філософії і викладачам, які хочуть поглибити свої знання з даного наукового напрямку.

РОЗДІЛ 1. НАУКОВІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ НАПІВФАБРИКАТУ ЗБИВНОГО БОРОШНЯНОГО

1.1 Аналіз сучасного стану та перспективи розвитку технологій напівфабрикатів збивних борошняних

Борошняні кондитерські вироби займають великий сегмент вітчизняного кондитерського ринку за об'ємом продаж, завдяки своїм високим споживним якостям, харчової та біологічної цінності. Збиті випечені напівфабрикати займають вагоме місце серед кондитерських виробів. До них можна віднести напівфабрикати типу бісквітів, повітряних, повітряно-горіхових.

Згідно статистичних даних кількість бісквітних виробів становить від 15 до 17% від загального об'єму виробництва борошняних кондитерських виробів. Слід зазначити, що сучасні тенденції розвитку ринку борошняних кондитерських виробів свідчать про збільшення попиту населення на бісквітні вироби [1].

В останні роки в сучасній харчовій індустрії спостерігається тенденція збільшення попиту на нові види харчової продукції, які є результатом впровадження у виробництво вискоєфективних технологій і характеризуються високою харчовою і біологічною цінністю, відповідають сучасним вимогам нутриціології.

Значне споживання борошняних кондитерських виробів населенням дозволяє вважати їх важливими продуктами харчування. Тому набуває важливого значення питання підвищення якості, харчової цінності, розширення асортименту борошняних кондитерських виробів функціонального призначення. Все це робить актуальними дослідження, спрямовані на розширення і вдосконалення рецептур і технології борошняних кондитерських виробів. Борошняні кондитерські вироби за енергетичною цінністю значно перевершують багато інших продуктів харчування [2]. Вони є суттєвими

джерелами легкозасвоюваних вуглеводів, які при надмірному споживанні, особливо при малорухливому способі життя, можуть стати фактором, що сприятиме розвитку низки захворювань, пов'язаних з порушенням обміну речовин в організмі. Тому вельми актуальною є розробка нових видів борошняних кондитерських виробів із зменшеним вмістом інгредієнтів високої енергетичної цінності за рахунок включення в рецептуру нових видів сировини з незначною енергетичною цінністю, але біологічно і технологічно повноцінними. Бісквітні напівфабрикати є основною або складовою частиною багатьох борошняних кондитерських виробів. Бісквітне тісто є термодинамічно нестійкою піноподібною харчовою системою тому важливе технологічне значення при його виробництві має стабілізація цієї системи. [2]

Аналіз сучасних науково-практичних напрямків розвитку кондитерської галузі свідчить про доцільність і актуальність подальшого вдосконалення технологій, розробки технологічних рішень раціонального використання традиційних і нових видів рецептурних компонентів для розширення асортименту і отримання продукції з поліпшеними якісними характеристиками [3].

Структуру цілої групи кондитерських виробів (збивні цукерки, зефір, білково-збивні і бісквітні напівфабрикати) визначає процес піноутворення, який залежить від багатьох чинників - виду і властивостей вихідної сировини, технологічних і механічних параметрів обробки і т.д. Однак багато в чому ефективність цього процесу визначається наявністю і властивостями піноутворювачів в системі. Тому серед розмаїття робіт, які вивчають умови формування і збереження стійкості пінних структур, більшість присвячено ролі яєчних продуктів як основних піноутворювачів та їх взаємодії з іншими складовими системи [4, 5, 6].

Значний інтерес в розробці технології бісквітних напівфабрикатів становить використання сухого білка і сухого жовтка при виробництві бісквітних напівфабрикатів замість натурального яйця. Перевага, що віддається сухим яєчним продуктам в порівнянні з натуральними яйцями, пов'язана з тим,

що при їх використанні істотно поліпшуються санітарні умови виробництва, виключається ймовірність обмінення продукції небажаними мікроорганізмами, підвищується стабільність якості продукції [7].

Останніми роками погіршилися показники здоров'я населення України. Харчування повинне стати раціональним, тобто забезпечувати фізіологічну потребу людини в основних поживних речовинах з урахуванням вікових, професійних та інших особливостей. При цьому важливим є збереження рівноваги між енергією, яка споживається та витрачається. Важливим моментом також є надходження до організму людини не тільки певної кількості основних харчових речовин, але й їх якість, безпечність та збалансованість харчування [8, 9].

Аналіз ринку України показує [10], що виробництво та реалізація кулінарної і кондитерської продукції розвивається в декількох напрямках: покращення споживчих властивостей, забезпечення безпечності продукції, варіювання термінів зберігання, зниження вартості та енергоємності, розширення асортименту виробів, що вказує на потребу вдосконалення існуючих і розробки нових технологій бісквітних напівфабрикатів. Проте, якість рецептурної сировини не завжди відповідає технологічним вимогам, що забезпечують необхідні структурно-механічні властивості тіста для отримання продукції з запланованими показниками якості і безпечності, що приводить до необхідності коректування рецептури і параметрів проведення технологічного процесу. Одним з перспективних шляхів вирішення цієї проблеми є цілеспрямоване застосування інгредієнтів, які володіють широким спектром технологічних властивостей, що дозволяють покращити фізико-хімічні і органолептичні характеристики напівфабрикатів, надати їм нові показники якості, корегувати харчову цінність і хімічний склад, продовжити строки зберігання [10].

Підвищення конкурентоспроможності борошняних кондитерських виробів у великій мірі визначається їх якістю і здатністю до збереженості [11]. В процесі зберігання погіршення споживчих властивостей готових виробів

частіше за все характеризується черствінням і пліснявінням. Збереження свіжості борошняних кондитерських виробів забезпечується використанням вологоутримуючих добавок. Введення емульгаторів в рецептури борошняних кондитерських виробів також сприяє пролонгації термінів їх придатності за рахунок запобігання процесів їх черствіння. Існує велика кількість харчових добавок на основі біополімерів, що володіють високою вологоутримуючою здатністю, так званих «гідроколоїдів», які також сприяють формуванню необхідної структури борошняних кондитерських виробів [11].

Створення нових технологій кондитерських виробів базується на оригінальних технологічних ідеях і винаходах з використанням нетрадиційних сировинних інгредієнтів, що дозволяють суттєво змінити структуру і розробити нові види напівфабрикатів та готової продукції.

Желатин [12] є важливим гідроколоїдом, який має широке застосування в харчових продуктах і зокрема в борошняних кондитерських виробках. Загалом, желатин ссавців широко використовується завдяки його швидкому плавленню, температурою драглеутворення та термозворотністю. Желатин – це високомолекулярна маса і водорозчинний білок. Всі амінокислоти присутні в желатині за винятком триптофану і мають низький вміст метіоніну, цистину та тирозину завдяки деградації під час гідролізу. Амінокислотний склад у желатині, в залежності від джерела отримання, різний, але завжди містить з велику кількість гліцину, проліну та гідроксипроліну, які стабілізують його структуру і впливають на хімічні властивості.

Перспективним в технології харчової продукції, яка виробляється харчопереробним комплексом і закладами ресторанного господарства, є використання желатину. Цей гідроколоїд має значний потенціал функціонально-технологічних властивостей, реалізація яких в технології харчової продукції обмежена температурним діапазоном 30-35 °С через його природну особливість забезпечувати термозворотну структуру [12].

В представленій роботі нами розроблено технологію нового нетрадиційного продукту – напівфабрикату борошняного збивного типу бісквіт,

в якому замість яйцепродуктів в якості піноутворювача запропоновано використання розчину желатину. Науково обґрунтовано використання функціонально-технологічних властивостей цього гелеутворювача, а також цілеспрямована модифікація його структури за рахунок використання ферменту трансглютаміназа дозволить отримати термостабільну піноподібну структуру, що здатна витримувати термообробку, характерну для класичних бісквітних напівфабрикатів. Розроблений напівфабрикат борошняний збивний пропонується після випічки використовувати як основу тортів, печива, тістечок тощо.

1.2 Теоретичні основи піноутворення та стабілізації піни у білкових борошняних системах

Відомо [13], що желатин - це чистий білок, що отримується з колагену, і продається у вигляді сухого порошку без запаху. Желатин з високим рівнем світлокольоровості все частіше застосовують в продуктах харчування людини в якості стабілізатора, піноутворювача та основи для капсул серед інших цілей. Желатин з низьким рівнем кольоровості може знайти можливість застосування в якості харчового в'язучого інгредієнта в їжі для домашніх тварин. Дослідниками [30] експериментально перевірено і проаналізовано різні сили желатинового драглю, з низьким рівнем кольоровості та драглів звичайних желатинів з високим рівнем кольоровості. Обробку проводили контрольного зразка без желатину та желатинів з силою драгля 100, 175 та 250 блум. Результати показали підвищену міцність драглів желатину, збільшення об'єму продукту, його розширення, ймовірно, завдяки ефекту піноутворення. Однак тривалість зберігання драглів з желатину середньої та високої світлокольоровості знизилася. Тобто, желатин з низьким рівнем світлокольоровості може бути перспективним для поліпшення характеристик продукту та збереження довготривалого зберігання.

Піноутворюючі та піностабілізуючі властивості желатину

використовуються в кондитерській промисловості при виробництві екструдованих, формованих і зернистих збитих виробів з низькою густиною (0,25-1,0 г/см³) – маршмеллоу, тіста для вафель [14, 15] – для стабілізації піноутворення, начинок для вафель і шоколадних батончиків, жувальних цукерок, збитих желейних цукерок, нуги, збитих вершків [15], в молочній промисловості – при виробництві морозива, а також знаходить застосування самостійно, або у поєднанні з іншими піноутворювачами білкової природи (молочним, яєчним білком) в ресторанному господарстві при виробництві готових аерованих солодких страв – мусів, самбуків, суфле, кремів [15], жельованих молочних десертів, десертних кремів, збитих вершків, у т.ч. низькокалорійних. Окремо слід виділити похідні желатину – інстант-желатини (розчинні у холодній воді), які знаходять своє призначення у піноподібних десертах, зокрема, швидкого приготування (сухі суміші) – кремах, мусах, а також гідролізати желатину, які не утворюють гелів внаслідок низької молекулярної маси, але виявляють добрі піноутворюючі властивості та використовуються в молочній промисловості для сприяння збиванню та отримання легкої кремоподібної текстури з більшим об'ємом. Ці продукти мають широкий спектр текстур, інгредієнтів, вмісту сухих речовин і ступеня аерації [17].

Також мають бути прийняті до уваги технологічні вимоги. Наприклад, якщо екструдовані маршмеллоу повинні бути отримані з використанням безперервного процесу, то після збивання необхідне швидке структуроутворення для стабілізації піни. В цьому випадку слід використовувати желатин з дуже високою міцністю в Блумах – 240-280 (high-Bloom) за його концентрації 3...5%. У разі виробництва формованих маршмеллоу маса після збивання повинна мати здатність текти на відсадочній машині. Швидке гелеутворення в цьому випадку не потрібне, оскільки продукт піддається подальшому сушінню. Для цього процесу придатні желатин із середньою – 160-200 (medium-Bloom) і високою – 200-240 (high-Bloom) міцністю в Блумах в концентрації 4...6% [14-17].

Оглядом зарубіжних та вітчизняних літературних джерел встановлено, що питанням вивчення піноутворюючих властивостей желатину, а також впливу на них інших білкових речовин, цукрів, рН тощо приділено багато уваги. Як свідчить аналіз даних, увага вчених зосереджена на вивченні впливу окремих технологічних факторів (виду джерела отримання, його типу, концентрації, співвідношення компонентів) на піноутворюючі властивості чистих розчинів желатину [12-14], у поєднанні його з іншими піноутворювачами білкової природи [15], полісахаридами [16,17,18], їх композицій, а також простими цукрами та цукрозамінниками.

Автором [17] було розглянуто взаємозв'язок між поверхневим натягом та піноутворенням розчинів на основі яєчного альбуміну, соєвого білку, казеїну, білку молочної сироватки та желатину. Було встановлено, що поверхневий натяг білкових розчинів не корелював з піноутворюючою здатністю, але константа швидкості розпаду поверхневого натягу білкових розчинів мала добру кореляцію з піноутворюваністю білкового розчину.

Дослідниками [19] встановлено вплив виду желатину (із бичачої шкіри – типу В та зі свинячої шкіри – типу А) та його концентрації на піноутворюючу здатність їх розчинів та стабільність піни. Було визначено, що максимальних значень досліджувані показники набували за концентрації желатину 3%, при чому для желатину із бичачої шкіри вони були дещо вищими – $94,67 \pm 1,53\%$, ніж для желатину зі свинячої шкіри – $93,00 \pm 1,00\%$. За концентрації вище зазначеної – 4 та 5% досліджувані показники істотно знижувались, що, на думку авторів, може бути пов'язано із неправильною гомогенізацією розчину желатину. Аналогічна тенденція спостерігалася для показника стабільності піни, яка знижувалася з часом.

В роботі [20] вивчено піноутворюючу здатність розчинів желатину зі шкіри вугра за рН 5 та 8, бичачого желатину та стабільність їх піни. Зазначено, що коефіцієнти піноутворюючої здатності желатину зі шкіри вугра за рН 5 та 8 відрізнялись не істотно та дорівнювали відповідно 2,56 та 2,76. Для бичачого желатину цей показник дорівнював 1,89. Різниця у піноутворюючої здатності

між желатинами зі шкіри вугра та бичачим, на думку авторів, пояснюється більш високим вмістом гідрофобної амінокислоти в желатині зі шкіри вугра, яка за рН 8 також була вище, ніж у цьому желатині за рН 5. Коефіцієнти стабільності піни для желатину зі шкіри вугра за рН 5 та 8 складав відповідно 1,02 та 1,16, а для бичачого – 1,10. Більш низька стабільність піни для желатину зі шкіри вугра при рН 5, як вважають дослідники, може бути обумовлена меншим відсотком негативно заряджених амінокислот. Більш високий вміст негативно заряджених амінокислот в желатині зі шкіри вугра за рН 8, можливо, запобігав нейтралізації заряду в молекулах желатину і додатково збільшував стійкість піни.

В дослідженнях [21] описується вплив співвідношення змішування біополімерів на властивості піни на основі субкритичної води (води з температурами в межах +100...+374°C під високим тиском для підтримання її у рідкому стані) з додаванням розчинів яєчного білка і желатину з риб'ячої луски. Було визначено, що піноутворююча здатність системи на основі яєчного білка та субкритичної води була вище, ніж системи без субкритичної води, хоча перша мала нижчу стабільність піни. При цьому було встановлено, що піноутворююча здатність системи на основі яєчного білка та субкритичної води додатково збільшувалася при додаванні желатину з риб'ячої луски за рахунок зменшення поверхневого натягу. Желатин сприяв створенню міжфазної в'язкопружної системи на границі розділу повітря-вода з підвищеною поверхневою ділатаційною реологічною поведінкою, викликаючи низький рівень відділення рідини і інгібування злиття бульбашок в системі. Крім того, зміни еластичності поверхні відповідали підвищенню стабільності піни при збільшенні концентрації риб'ячого желатину. Наведені дослідження дозволили отримати білковий порошок з високою піноутворюючою та стабілізаційною здатністю.

В своїй роботі Ветров В.М. [22] науково обґрунтував доцільність використання желатину в модельних системах білково-полісахаридного гелеутворення на основі сульфатованих полісахаридів у спільному комплексі з

модифікованим крохмалем гороховим для поліпшення піноутворюючої здатності на 15...18% в технологіях збивних напівфабрикатів типу «суфле» [22].

З'ясовано вплив концентрації желатину та ксампану на перебіг процесу піноутворення та якість отриманих пінних структур в модельних системах на основі сколотин та знежиреного молока. Встановлено, що показник піноутворюючої здатності набував максимальних значень за температури 275 К і концентрації в молочній сировині желатину в кількості 1,0...1,5% та ксампану в кількості 0,5...0,7% та складав відповідно 208...224% та 210...234%. Стійкість піни модельних систем при цьому також значно зростав й становив відповідно 95...98% та 96...99% [16].

Бадруком В.В. [23] досліджено вплив співвідношення низькоестерифікованого пектину та каппа-карагенану в бінарних сумішах з желатином на піноутворюючу здатність їх розчинів. Було встановлено, що найбільше значення піноутворюючої здатності спостерігалось при співвідношенні композиції желатин-низькоестерифікований пектин та желатин-каппа-карагенан як 3:1. Було встановлено, що стійкість піни досліджених систем збільшувалась при зниженні рН, що можна пояснити, на думку автора, збільшенням в'язкості колоїдних розчинів завдяки електростатичній взаємодії гідроколоїдів.

Автором [24] встановлено, що перспективним напрямком при створенні нових структур кремове-збивних цукеркових мас, які формуються методом ко-екструзії, є використання сумішей гідроколоїдів: желатину, к-карагінану, LM пектину з врахуванням їх технологічних властивостей. Встановлено, що найбільша піноутворююча здатність спостерігалася при температурі 65 – 70 °С в ізоелектричній точці при співвідношенні желатин – LM пектин та желатин – к-карагінан 3:1. Доведено, що найбільша піноутворююча здатність спостерігалася при додаванні 2,2±0,5 % суміші желатин – LM пектин, а найменша – LM пектин – к-карагінан.

Отже, огляд джерел дозволив виявити закономірності впливу окремих технологічних факторів на піноутворюючі властивості розчинів желатину. На

підставі проведених аналітичних досліджень можна зробити висновок, що необхідним є проведення додаткових досліджень та виявлення нових закономірностей, які дозволять вирішити поставлені завдання з розробки запропонованого збивного випеченого напівфабрикату з використанням желатину.

Аналітичним оглядом встановлено, що системних фундаментальні дослідження, які стосуються встановлення закономірностей піноутворюючих властивостей желатину, в літературі носять розрізнений характер. Це обумовлює актуальність обраного напрямку.

1.3 Характеристика функціонально-технологічних властивостей желатину в композиції з ксантаном

Ксантан є широко вивченим в'язучим агентом [25], виявленим у 1961 р. Ацетилювання та пірувілювання мають великий вплив на його реологічні властивості, і вплив цих груп на конформацію та реологічні властивості ксантану вивчався десятки років. Однак ці дослідження в основному покладаються на хімічні модифікації, і тому ступінь пірувілювання та ацетилювання, а також регіоселективність деацетилювання не можна контролювати. Тут ми представляємо поглиблену реологічну характеристику природного ксантану та семи варіантів ксантану, з визначеними моделями ацетилювання та пірувілювання, створеними за допомогою генетичної модифікації *Xanthomonas campestris* LMG 8031. Таким чином, ксантанові варіанти із визначеними моделями ацетилювання та пірувілювання природний стан завдяки м'яким умовам виробництва. Можна було пов'язати визначені схеми заміників з відповідними реологічними властивостями, щоб дати нові уявлення про взаємозв'язок між структурою та функцією ксантанових варіантів у безсолевих середовищах та за наявності одно- та двовалентних катіонів.

Ксантанова камедь [26] - це високомолекулярний мікробний екзополісахарид з холодним набуванням, що виробляється ферментацією вуглеводів бактерією *Xanthomonas campestris* з подальшим осадженням у

спирті, сушінням та розмелюванням. Основна структура ксантанової камеді - це полімер одиниць D-глюкози з бічним ланцюгом трисахариду. Цей бічний ланцюг демонструє дві одиниці манози, розділені гулуруною кислотою. Ксантанова камедь повністю розчиняється в холодній воді, а негативно заряджені карбоксильні групи (COO-) на бічних ланцюгах молекули відповідають за сильно в'язку рідину, отриману при контакті з водою. Основна функція ксантанової камеді - згущувати, емульгувати та стабілізувати продукти на водній основі. Ксантан широко використовується у харчових продуктах, що переробляються, через його незвичні та дуже корисні властивості. Багато з цих властивостей, безсумнівно, зумовлені структурною жорсткістю його молекул, що, в свою чергу, є результатом його лінійної, целюлозної основи, яка зміцнена і захищена боковими ланцюгами трисахаридів. Висока ступінь псевдопластичності розчину, що надається присутністю ксантану, полегшує змішування та перекачування рідинних / рідинних систем, що призводить до чистих органолептичних властивостей у роті (тобто відсутність сприйняття слизовості). Найбільше застосування ксантану спостерігається у хлібобулочних сумішах. У кексах та суміжних сумішах ксантан забезпечує збалансованість рецептури, збільшення об'єму та утримання вологи. Однак використання занадто великої кількості ксантану в системах на основі борошна може призвести до щільності, клейкості, зернистості або інших небажаних змін текстури. Рівні використання в сухих сумішах, як правило, менше 0,1% (вага готової композиції). Жодні ферменти, що містяться в харчових інгредієнтах або продуктах, не погіршать ксантан [26].

Дослідниками встановлено [27], що суміші розчинів желатину GB і ксантанової камеді XG у співвідношенні (GB / XG, (0,2-2%)/0,2% мас./об.) проявляють поліпшені драглеутворювальні властивості порівняно з розчинами їх чистих компонентів при аналогічних співвідношеннях. Змішані гелі включають спільно локалізовані мережі доменів, багатих на GB і XG. Доведено, що ці домени складаються з міжмолекулярних комплексів та їх агрегатів, стабілізованих ефектом нейтралізації GB, і пов'язаних між собою утворенням потрійних спіралей GB.

Окислена ксантанова камідь з різним вмістом альдегіду, яка успішно готується періодатним окисленням, використовується як зшиваючий агент для харчових плівок желатину. Рентгенівські дифракційні вимірювання та мікроскопія атомної сили демонструють, що деградація супроводжується процесом окислення, який призводить до зниження кристалічності та зміни структури. Дослідженням оптичних властивостей встановлено, що всі плівки дуже прозорі та мають чудові бар'єрні властивості проти ультрафіолетового світла. Введення альдегідних груп покращує ультрафіолетові бар'єрні властивості, які виникають внаслідок збільшення груп CN за рахунок утворення основи Шиффа. Дослідження властивостей показують, що ксантанова камедь може різко знизити загальну розчинну речовину, вміст вологи та водонепроникність та значно покращити механічні властивості та термостійкість желатинових плівок. Зі збільшенням рівня окислення окисленої ксантанової камеді спостерігається посилення властивостей водяного бар'єру, механічних властивостей та термічної стійкості плівок ксантанової окисленої желатином ксантану, що в основному пояснюється ковалентним зв'язуванням двох полімерів [28].

Авторами [29] досліджено покращення якості безглютенової продукції, виготовленої за допомогою гідротермічно оброблених полісахаридних сумішей (НТТ-PSM) з клейового рисового борошна та додаванням ксантанової камеді в різних концентраціях. Встановлено, що НТТ-PSM мав нижчу температуру желатинізації, більш високу пікову в'язкість і слабку міцність гелю, ніж рідке клейове рисове борошно. Включення НТТ-PSM в рисове тісто значно скоротило час і стабільність розвитку тіста і збільшила його розтяжність з 2,8 мм до 11,9 мм. Показник високої розтяжності тіста дозволив виготовити безглютенову локшину з більшою міцністю на розрив та схожий профіль текстури порівняно з локшиною пшеничною. Сенсорна оцінка показала, що загальна текстура локшини без глютену була прийнятною, але не такою, як порівнянна з локшиною пшеничної. Позитивні кореляції спостерігалися між вмістом ксантанової камеді та піковою в'язкістю, міцністю гелю, міцністю на розрив локшини, твердістю та жувальністю.

Викликає інтерес дослідження авторів [30] з розробки складених харчових плівок із трьох різних полімерів для перевірення реакцій зшивання, які покращували якість плівок, виготовлених із двох полімерних типів, для вивчення ефектів від додавання ксантанової камеді різних концентрацій (0, 5, 10, 15, 20 і 25%, мас /мас.) до желатин-СМС плівок. Оцінювались фізичні та механічні властивості відповідних плівок. Встановлено [30], що додавання ксантанової камеді збільшувало товщину, вміст вологи та водопроникність плівки желатин-КМЦ ($p < 0,05$). Крім того, захист від ультрафіолетового (ультрафіолетового) світла збільшувався разом зі зниженою прозорістю видимого світла ($p < 0,05$) та підвищенням термостабільності (T_g) ($p < 0,05$). Отримані плівки також демонстрували меншу міцність на розрив із зменшеним подовженням у точці розриву, а також більш високу силу проколу та нижчу деформацію проколу, що свідчить про більш високу стійкість до проколу, ніж порівнянна плівка желатин-СМС. В цілому, желатино-СМС плівка з ксантановою каміддю (5%, мас. / Мас. Твердої речовини) демонструвала поліпшені фізичні та механічні властивості більше, ніж плівки, приготовані із порівнянних рецептур.

Досліджено[31] вплив вмісту вологи при додаванні ксантанової камеді (XG) та сиропу глюкози (GS): співвідношення сахарози на еластичні (G') та в'язкі (G'') модулі під час генерування *in situ* та на великі деформаційні реологічні властивості застиглих драглів. Збільшення обох модулів зразків із додаванням XG свідчить про посилення структури мережі. Усі зразки драглів мали чіткий руйнування. Збільшення коефіцієнта GS: сахарози призвело до зменшення напруги руйнування та збільшення деформації руйнування, що передбачає більш гнучку полімерну мережу каркасу [31]. Зниження вмісту вологи може призвести до поділу фаз між фазами, з високим вмістом цукру і полімеру, щоб утворити міцніший зв'язок у структурі мережі. Аналізом текстурних характеристик зразків, за допомогою карти текстур, доведено, що збільшення співвідношення сиропу глюкози GS: сахарози та внесення XG робило текстуру зразка більш еластичною

Водні системи полімеру та ПАР важливі для різних галузей промисловості. Властивості цих систем [32], серед іншого, залежать від взаємодії між ними. Авторами [32] було проведено дослідження для визначення взаємодії між аніонним полімером - ксантановою камеддю та аніонною поверхнево-активною речовиною - SDS або неіонною поверхнево-активною речовиною - Tween 80. Результати, отримані в результаті комбінації всіх цих методик, показали, що взаємодія ксантанової камеді - SDS / Tween 80 існує. Структурні зміни молекул ксантанової камеді в присутності обох ПАР були отримані за допомогою віскометрії та SEM. Характерні точки взаємодії (CAC та PSP) визначалися шляхом вимірювання поверхневого натягу та питомої провідності водних розчинів чистих поверхнево-активних речовин та їх сумішей із ксантановою камеддю. Значення PSP були пропорційні концентрації полімеру. Після подолання електростатичного відштовхування між ксантановою камеддю та CAC вони утворюють комплекси за допомогою гідрофобного механізму та посилюють адсорбцію молекул CAC на межі вода-повітря. На відміну від SDS, Tween 80 в основному взаємодіє з ксантановою камеддю в основному, створюючи водневі зв'язки, а також шляхом гідрофобних взаємодій. Результати вимірювань флуоресценції додатково підтвердили, що механізм взаємодії між ксантановою камеддю та досліджуваними поверхнево-активними речовинами був головним чином за рахунок гідрофобної взаємодії та шляхом створення водневих зв'язків з Tween 80 як електростатичного відштовхування з SDS.

Відомо [33], що дослідження закономірностей процесів піноутворення і стійкості піни є науковою основою для розробки обґрунтованих рекомендацій з оптимального складу різних піноутворюючих композицій. Автором [33] доведено, що за однакової в'язкості піноутворюючих розчинів з добавкою полімерів найбільшою стійкістю володіє піна, яка містить ксантан. З'ясовано, що з підвищенням концентрації ксантану зростає стійкість піни до гравітаційного синерезису і розриву плівок, що пов'язано з формуванням тиксотропної структури в пінних каналах і плівках, а також по відношенню до дифузійного переносу газу (Оствальдовому дозріванню).

Процес пастеризації призводить до небажаних впливів на піноутворюючі властивості та стабільність рідкого яєчного білка. Персидську камедь (PG) як нативний гідроколоїд та ксантанову камедь (XG) додавали до рідкого яєчного білка [34] з метою поліпшення властивостей піноутворення кінцевого розчину до пастеризації. Збільшення в'язкості яєчного білка було природним наслідком додавання XG та PG. Додавання гідроколоїдів до розчину яєчного білка, поведінка потоку розчину змінювалася з ньютонівської на псевдопластичну, і, отже, криві потоку підходили до моделі закону потужності. Обидва гідроколоїди виявляли позитивний вплив на стабільність піни на всіх рівнях, проте їх негативний вплив на перевищення та щільність піни був незаперечним. Встановлено [34], що високі концентрації XG та PG ($0,1\% \leq$) призвели до поліпшення текстури піни, тоді як XG виявив найбільший вплив на еластичність піни завдяки фізичній взаємодії з розгорнутими білками. Аналіз мікроскопічних зображень пінопластових бульбашок, зумовлений різною об'ємною в'язкістю зразків, показав негативний ефект надмірного побиття для деяких зразків, тоді як для деяких інших час відбивання був недостатнім для досягнення максимальної газової фази.

Авторами [35] досліджено вплив ксантанової камеді (XG) та гідроксипропіл-метилцелюлози (HPMC) на об'єм пирога, твердість та сенсорні властивості печених бісквітних коржів. Досліджено також реологічні характеристики, що полягають у поведінці течії та в'язкості пшениці, щоб відповідати фізичним властивостям бісквіта. Щільність тіста та питома вага були суттєво ($p < 0,05$) співвіднесені з твердістю та об'ємом макухи. Гідроколоїдні коржі (як XG, так і HPMC) мали значно ($p < 0,05$) менший об'єм порівняно з контрольним пирогом. Показник консистенції значно ($p < 0,05$) корелює з твердістю (індекс стійкості $r = 0,71$), що дозволяє визначити текстуру крихти бісквітної кірки. Доведено, що свіжоспечений пиріг, який містить 1% XG, має значно більш високе значення твердості ($p < 0,05$) порівняно з 1% HPMC та контрольні коржі. Крім того, бісквіт, що містить гідроколоїди, мав значно менший об'єм ($p < 0,05$) порівняно з контрольним пирогом. Для сенсорної оцінки бісквіт, який містить ксантанову камедь, був менш

привабливим для учасників форуму порівняно з іншими рецептурами бісквіта, оскільки він мав найнижчий середній бал (6,25) у загальній оцінці.

1.4 Перспективи використання ферменту трансглютаміназа в технології напівфабрикату збивного борошняного

Трансглютаміназа має унікальний спектр застосування завдяки своїм технологічним характеристикам, а саме, має широкий інтервал стабільності за активної кислотності рН від 5,0 до 8,0; володіє високою термічною стабільністю у діапазоні 45...55°C, за температури 65°C і вище відбувається її інактивація [36].

Фермент ТГ впливає виключно на протеїни, каталізуючи реакцію формування специфічного ізопептидного зв'язку між карбоксимідною групою глутаміну і аміногрупою лізину. Ці зв'язки можуть бути сформовані між білками, що відрізняються за типом (казеїни, міозин, глобуліни і т.д.) і за походженням (з сої, пшеничної клейковини і т.д.). ТГ утворює сильні ковалентні зв'язки, які важко розриваються в умовах неферментативних реакцій [37, 38, 39, 40].

Трансглютаміназа використовується у виробництві широкого спектру харчових продуктів – м'ясних, рибних, хлібобулочних, молочних[41]. Вона придатна для вирішення багатьох завдань, може виступати як покращувач фізичних властивостей і структури, знижуючи вміст солі і сприяти поєднуванню шматків м'яса або риби. Зважаючи на реакційну здатність трансглютаміназа ефективно взаємодіяти з різними білками харчових продуктів, її функціональні властивості можна поділити на три групи: 1 група - висока реакційна здатність ТГ із білками молока (казеїном) та м'яса (желатином); 2 група – середня реакційна здатність ТГ, з білками хлібних культур; 3 група – реакційна здатність ТГ, з білками сироватки (α -лактальбуміном та β -лактоглобуліном), яйця (овальбуміном) та м'яса (міоглобіном) [41].

Встановлено [42], що фермент трансглютаміназа сприяє утворенню поперечних зв'язків між молекулами клейковинного білка і таким чином поліпшує реологічні властивості тіста. Ефективно доповнюючи інші хлібопекарські ферменти, трансглютаміназа підсилює білок клейковини і сприяє формуванню оптимальних характеристик тіста. Особливістю цього ферменту є те, що реакція між глутаміном і лізином обумовлена температурою і тривалістю самої реакції. Трансглютаміназа може легко окислюватися та інактивуватися цистеїном групи SH. В'язкопружні властивості клейковини у присутності трансглютаміназа, а також чутливість білка до термічної обробки зменшуються порівняно з немодифікованою клейковиною. Ці дослідження сприяли використанню ТГ для приготування локшини і макаронів в Японії [43]. Трансглютаміназу додають в борошно, що надає макаронам і локшині твердість, яка залежить від вмісту ферменту.

Зарубіжними авторами [44] вивчені механічні властивості і морфологія желатинових плівок, які містять різні рівні фізичних та хімічних зв'язків, отриманих шляхом регулювання відносної кількості потрійних спіралей і ковалентних зв'язків, що каталізуються трансглютаміназою за рахунок зміни температури сушки. Вміст потрійної спіралі зменшується в наслідок підвищення температури сушіння над температурою гелеутворення желатину, що було підтверджено результатами досліджень. Модифікація желатину з допомогою трансглютаміназа призводила до створення плівок з підвищеними механічними властивостями, водостійкістю і термостабільністю незалежно від температури сушіння. Крім того, зі збільшенням температури сушіння спостерігалися більш сильні і більш компактні структури плівкоутворюючих розчинів і плівок, що вказує на вищий рівень зшивання.

Ученими [45] зазначено, що текстурні властивості желатинових пін високо ціняться шеф-поварами усього світу, однак такі гелі і піни неможливо використовувати в кулінарних виробках, які повинні подаватися гарячими, тому що желатин плавиться при температурі від 30 до 40°C. При цьому, використовуючи ферментативну модифікацію желатину з допомогою трансглютаміназа, гелі та піни, вироблені з желатину, можна зробити

термостабільними. За результатами піни та гелі, виготовлені із желатину і оброблені трансглютаміназою, стабільні при 80°C на протязі певного часу, хоч текстурні властивості таких гелей повинні бути оптимізовані.

Авторами [46] досліджено закономірності впливу трансглютаміназа на желатин, з якого отримані гелі та піни. Вивчена стабільність піни при 20°C та 80°C, термічна стабільність та текстура гелів. Вміст желатину і трансглютаміназа значно збільшує стабільність піни при обох температурах, але ефект впливу трансглютаміназа був більш значним. Дослідниками відмічено, що модифікація піни та гелів на основі желатину з додаванням трансглютаміназа може знайти практичне застосування у кулінарних технологіях, де желатин повинен нагріватися.

Обґрунтовано [47] доцільність спільного застосування борошняних сумішей, трансглютаміназа та колагенвмісних білків, до яких вона має високу реакційну здатність (желатин, Геліос-11, Сканпро Т95). Експериментально підтверджено, що застосування добавок-коректорів структури дозволяє суттєво поліпшити питоми об'єм хліба, його пористість та смакові властивості.

Вітчизняними вченими [48] вивчено вплив трансглютамінази на швидкість формування структури розчину желатину. Були отримані математичні моделі, що описують зміну в'язкості в часі. Показано математичну модель і процес формування структури при різних співвідношеннях фермент-субстрат.

Вивчено вплив трансглютамінази [46, 47, 48] на швидкість формування структури розчину желатину, отримано математичні моделі, які описують зміну в'язкості в часі, наведено математична модель та процес формування структури при різних співвідношеннях фермент-субстрат. Актуальним є використання біотехнологічних прийомів для одержання продуктів, які містять білок, із заданими функціонально-технологічними властивостями. Для цього використовують різні методи модифікації білків, найбільш ефективним методом є ферментативна модифікація, яка дозволяє проводити зміни властивостей білків і впливати на такі характеристики, як гелеутворення та структурно-механічні властивості гелів. Модифікація харчових білків

трансглутаміназою призводить до одержання текстурованих продуктів, змінює розчинність і функціонально-технологічні властивості, дозволяє одержувати білки з високою харчовою і біологічною цінністю. Одержані результати [48] дозволяють прогнозувати зміни структурно-механічних властивостей гелів желатину в присутності ферменту трансглутамінази. Одержані математичні рівняння описують процеси структуроутворення і дозволяють розраховувати коефіцієнт динамічної в'язкості - важливий технологічний показник. Двофакторні моделі дають можливість враховувати такі чинники, як масова частка структуроутворювача (желатину) та кількість.

В дослідженнях [49] визначено вплив ізоляту нутового білка (CPI) (0–7%), трансглутамінази (MTG) (0–1,5%) та ксантанової камеді (0–0,6%) на реологічні характеристики та показники якості кексів з безглютенового пшона з використанням методології реакційної поверхні (RSM). Результати показали, що ксантан збільшував питомий об'єм і пористість і зменшував твердість за рахунок збільшення його концентрації, тоді як додавання CPI та MTG у нижчих рівнях мало інший ефект, ніж у вищих рівнях. MTG та CPI спочатку зменшували питому вагу, а потім збільшували. Ксантан збільшував цю властивість на всіх досліджених концентраціях. Індекс коричневого кольору кірки зменшувався із додаванням ксантану та CPI та збільшувався із додаванням MTG.

Оцінено вплив додавання різних білкових ізолятів (гороху, сої, яєчного альбуміну та сироваткових білків) на в'язкосиметричні та реологічні властивості тіста з рисового борошна та розвиток білкової мережі за допомогою використання мікробної трансглутамінази (TG) [50]. Білкові ізоляти значно ($p < 0,05$) модифікували желатинізацію та гелеутворення рисового крохмалю, визначеного у швидкому віскоаналізаторі (RVA). Горохові, соєві та сироваткові білки значно ($p < 0,05$) знизили кінцеву в'язкість, крім того, сироватковий білок також сприяв значному зниженню (27,3%) пікової в'язкості. На величину модуля пружності (G'), зафіксовану в коливальних тестах, суттєво ($p < 0,01$) впливали як білкові ізоляти, так і TG. Ступінь ефекту залежала від джерела білка; горох та соя збільшили цей параметр, тоді як яєчний білок та сироватковий білок різко знизили його. Модифікація властивостей

емульгування спостерігалася також шляхом додавання білкових ізолятів та впливом TG. Зменшення кількості вільних аміногруп після взаємодії TG підтвердило зшивання білка, який каталізувався TG [50]. Тому використання білкових ізолятів і TG розширює сферу застосування рисового борошна в хлібобулочній промисловості і призводить до збільшення вмісту білка з подальшим поліпшенням харчових продуктів отриманих продуктів.

Проведеними дослідженнями [51] доведено ефективність застосування ферментного препарату трансглютаміназа, найбільшою мірою в композиції з білками тваринного і рослинного походження (молока, желатина, Геліос-11, борошна різних видів), для покращання структурно-механічних та органолептичних характеристик безглютенового хліба. Доведено, що цей фермент є ефективним поліпшувачем структури макаронних виробів з пшеничного хлібопекарського борошна. Криві сушіння тіста з безглютенових видів борошна та їх суміші наведено на рис. 1-3, де видно, що залежно від виду борошняної сировини та наявності ферменту вологоутримувальна здатність тіста помітно змінюється. Додавання TG до борошна кукурудзяного гальмує процес випаровування вологи: протягом досліджуваного проміжку часу контрольний зразок (без TG) втрачає 46 % від початкового вмісту вологи (швидкість випаровування дорівнює 88,4 мг/хв). Під дією ферменту вологоутримувальна здатність кукурудзяного тіста посилюється – втрати вологи становлять 39-43 %, а швидкість випаровування дорівнює 75-82,6 мг/хв.

Оскільки агрегація білка та утворення безперервної білкової матриці в житньому тісті дуже обмежена, досліджено ферментативний метод агрегації білків для поліпшення властивостей випічки [52]. Вплив мікробної трансглютамінази (TG) на властивості житнього тіста вивчали реологічними тестами, конфокальною лазерною скануючою мікроскопією (CSLM), стандартними масштабними тестами випічки та аналізом текстури текстури крихти. Додавання TG в межах 0–4000 мг / кг житнього борошна модифікувало реологічні властивості тіста з житнього борошна, що призводило до прогресивного збільшення складного модуля зсуву та зменшення коефіцієнта втрат через зшивання білка або агрегацію білка [52]. Аналіз зображень CLSM

проілюстрував TG-індуковане збільшення розміру комплексів протеїну жита. Стандартні випікальні випробування показали позитивний вплив на об'єм буханця та текстуру крихти житнього хліба з ТГ, що застосовується до 500 кг кг житнього борошна. Більш високий рівень ТГ ($500 \text{ U} \leq \text{TG} \leq 4000 \text{ OD}$) згубно вплинув на об'єм хліба. Підвищення концентрації ТГ призвело до збільшення пружинності і твердості крихти. На закінчення результати цієї роботи продемонстрували, що ТГ можна використовувати для поліпшення хлібопекарської роботи з житнього тіста шляхом створення безперервної білкової мережі [52].

1.5 Вивчення синергізму дії структурних елементів у борошняних сумішах з додаванням желатину

Структуровані і реструктурованні харчові продукти набирають все більшої популярності з кожним роком. Впровадження наукових принципів ферментативної модифікації властивостей желатину, а також його комбінування зі структуроутворювачами іншої природи дозволить створити клас принципово нової харчової продукції, яка імітує традиційні харчові продукти (структуровані замітники м'ясної сировини, імітований шпик, реструктуровані аналоги овочевого і плодово-ягідної сировини, цукатів, снекової продукції, ікри риб і ін.), створити нові нетрадиційні види харчової продукції (збиті заморожені / випечені напівфабрикати типу бісквіт, гаряче желе та ін.), а також надати традиційній харчовій продукції (термостабільні начинки, десертна продукція з драглеподібною структурою та ін.) нових споживчих властивостей і знизити її собівартість.

Перспективним напрямком в технології виробництва різних видів реструктурованих продуктів є процеси ферментативного зшивання (cross - links) макромолекул, яка з успіхом може бути реалізована як на білкових, так і на вуглеводних субстратах [53]. Цей процес може відбуватися за участю ароматичних груп, присутніх в білках і вуглеводах або за участю низки амінокислот, що входять до складу білка. Найбільш вивченим способом ферментативного реструктурування рибного і м'ясного сировини є

застосування трансглютамінази. В якості гелеутворювача доцільно використовувати желатин, в зв'язку з його високою здатністю створювати ізопептидні зв'язки за каталітичного впливу трансглютамінази. Встановлено, що міцність «стандартних» гелів желатину змінюється за лінійним законом в залежності від масової частки введеного в систему ферменту трансглютамінази в діапазоні його концентрацій до 1%. Величина penetрації отриманих гелів обернено пропорційна кількості введеного ферментного препарату [53].

Авторами [54] вивчені механічні властивості і морфологія желатинових плівок, що містять різні рівні фізичних і хімічних мереж, отриманих шляхом регулювання відносної кількості потрійних спіралей і ковалентних зв'язків, що каталізуються TG, за рахунок зміни температури сушіння. Встановлено [54], що додавання TG гальмує утворення потрійної спіралі. Желатинові плівки, модифіковані TGase, демонстрували більш сильні механічні властивості, ніж без TG, і найвища міцність на розрив спостерігалася у плівках, висушених близько до температури гелеутворення (25°C) та найвищому подовженню при розриві над ним (35°C). Модифікація желатину за допомогою TG приводила до утворення плівок з підвищеними механічними властивостями, водостійкістю і термостабільністю незалежно від температури сушіння за рахунок зниження розчинності у воді, підвищення температури склування. Крім того, зі збільшенням температури сушіння спостерігалися міцніші і більш компактні мережеві структури плівкоутворюючих розчинів і плівок, що вказувало на велику ступінь зшивання внаслідок синергічної взаємодії TG з желатином.

Встановлено [55], що водні суміші желатину В та ксантанової камеді (GB / XG, (0,2-2%)/0,2%w/v) виявляють підвищені властивості гелеутворення порівняно з їх чистими розчинами компонентів у подібних композиціях. Змішані гелі містять спільно локалізовані мережі доменів, багатих на GB і XG. Доведено, що ці домени складаються з міжмолекулярних комплексів та їх агрегатів, стабілізованих ефектом нейтралізації GB, і зв'язаних між собою утворенням потрійних спіралей GB. Збільшення молекулярної маси GB Bloom прискорює формування мережі і призводить до підвищення модуля пружності

(G), тоді як збільшення молекулярної маси XG викликає протилежний ефект через обмеження дифузії [55].

Дослідженнями желюючих властивостей желатин-ксантанових смол із високим рівнем спільних розчинених речовин встановлено [56] вплив вмісту води вносенням ксантанової камеді (XG) та суміші глюкозного сиропу (GS) і сахарози на модуль еластичності (G') та модуль в'язкості (G'') під час гелеутворення. Збільшення обох модулів підтверджує про зміцнення каркасної структури мережі за додавання XG. Збільшення співвідношення глюкозного сиропу GS: сахароза призводило до зменшення напруги руйнування та збільшення деформації руйнування, що означає більш еластичну полімерну мережу. Зменшення вмісту води може призвести до поділу фаз між фазами збагаченими цукром і збагаченими полімером, утворюючи міцніші зв'язки в структурі мережі. Текsturні характеристики зразків, проаналізованих за допомогою текстурної карти, показали, що збільшення співвідношення GS: сахароза робило текстуру більш еластичною ніж у зразків, що містили тільки XG [56].

Дослідженнями фізичних властивостей желатинових плівок модифікованих трансглутаміназою [57] шляхом зміни температури сушіння встановлено, що плівки, модифіковані трансглутаміназою, виявляли сильніші механічні властивості, ніж глухі плівки, і найвища міцність на розрив спостерігалася у плівок, висушених близько до температури гелеутворення (25°C) та найбільшого подовження при розриві вище (35°C). Модифікація трансглутаміназою підвищила водостійкість і термостійкість желатинових плівок за рахунок зменшення розчинності у воді, підвищення температури склування та температури деградації, що додатково посилювалось із збільшенням температури сушіння.

Один із способів поліпшити функціональність білків у різних харчових матрицях полягає у застосуванні впливу різних ферментів [58]. Це дослідження було спрямоване на дослідження ефекту поперечного зшивання, каталізованого трансглутаміназою, та нейтрази каталізований гідроліз на реологічні властивості похідних яєць, клейковини та соєвого білка, а також на

термомеханічні показники білків - цілі рисові борошняні суміші. Дослідження, що були проведені на 15% білкових суспензіях показали, що реологічна поведінка суттєво варіюється залежно від субстрату та типу ферментної обробки. Контрольованим впливом ферменту покращило не тільки консистенцію, але й міцність суспензій на основі яєць та соєвих білків. Більше того, значно зросли значення модулів пружності та в'язкості G'' , G' , а також порогові значення потоку після обробки ферментами. З іншого боку, при дослідженні впливу ферментів на реологічну речовину спостерігали нижчу в'язкість і стабільність поведінка суспензії клейковини [58].

Дослідженнями реологічних характеристик тіста та терміну придатності для розробки технології вівсяного хліба з покращеними текстурою та терміном придатності було встановлено [59] вплив трансглютамінази (TG) на ці характеристики. Доведено, що додавання TG збільшувало водопоглинання в межах 34,80-38,45% та пікову стійкість (696,40 - 840,30 FU), але зменшувало м'якість тіста (93,20 - 67,75 FU), оскільки його рівень коливався від 0,5 до 1,5 г. Модуль зберігання вівсяного тіста дещо збільшився за рахунок додавання трансглютамінази в межах 180,37 - 202,78 кПа [59]. Фермент сприяв зменшенню модуля втрат 65,95 - 62,87 кПа вівсяного тіста та підвищенню термічних властивостей вівсяного тіста. За рахунок введення в рецептуру трансглютамінази температуру денатурації було збільшено на 6,53 - 8,33 °С. Фізичний та текстурний аналіз вівсяного хліба показав, що додавання трансглютамінази вплинуло на показники м'якучки хліба, знижуючи пружність на 6,47 - 4,14 мм, питомий об'єм на 1,61 - 1,54 мл/г та підвищуючи твердість в межах 537,85 - 692,41 Н.

Проведеними дослідженнями щодо впливу ферменту трансглютаміназа в присутності желатину на властивості білкових речовин борошняної сировини встановлено неадитивне зв'язування іонів водню та гідроксильних іонів білками безглютенового борошна [60]. Це підтверджує взаємодію між білками різного походження. Найбільші розходження між теоретичними та експериментальними дослідженнями відмічались зі зниженням рН у кислий бік. Це узгоджується з відомими даними щодо взаємодії між амінокислотами

лізином та глютаміною кислотою, які здатні до зв'язування іонів H^+ і OH^- відповідно. Поясненням цього може бути та обставина, що кількість вільних залишків цих амінокислот внаслідок їхньої активної взаємодії за додавання ферменту ТГ зменшується, тож експериментально встановлено, що кількість зв'язаних іонів є меншою, ніж за відсутності такої взаємодії. Додавання желатину разом з ферментом ТГ посилює ці тенденції. Встановлено [60] зростання ступеня і швидкості агрегації клейковинних білків за додавання ферменту трансглютаміназа (прямо пропорційне кількості ферменту) та тваринного білка желатину (найбільшою мірою – за спільного використання з ферментом).

Доведено [60], що застосування цих добавок у досліджуваному інтервалі концентрацій посилює клейковину. Висока ефективність дії ферменту зумовлена ефективним комбінуванням рослинних білків борошна з тваринним білком желатином. Ці результати співпадають з висновками дослідників [61] щодо здатності трансглютамінази активно взаємодіяти з протеїнами тваринних білків і протеїнами пшеничного борошна.

Результати, які було отримано під час аналітичних досліджень, дозволяють прогнозувати позитивні зміни структурно-механічних властивостей гелів желатину в присутності ферменту трансглютамінази в технології напівфабрикату збивного борошняного. Доведено, що на характер цих процесів впливає масова частка структуроутворювача (желатину) та кількість ферментного препарату (каталізатора структуроутворення).

РОЗДІЛ 2 НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОТРИМАННЯ НАПІВФАБРИКАТУ ЗБИВНОГО БОРОШНЯНОГО

2.1 Обґрунтування вибору рецептурних компонентів напівфабрикату збивного борошняного з використанням желатину в композиції з ксантаном та ферментом транглутаміназа

2.1.1 Розроблення моделі інноваційної стратегії технології напівфабрикату збивного борошняного з використанням желатину і ферменту транслглютаміназа.

Системний підхід до проблеми є одним з найбільш ефективних способів вирішення завдань з розробки, процесів удосконалення технології і розробки принципово нових видів продукції. Для одержання кінцевого продукту із запланованими рівнем якості та передбачуваними технологічними параметрами оптимально обґрунтовувати та визначати в межах кожної підсистеми. Також практичне застосування моделювання технології застосовується при плануванні технологічних процесів, проектування певних ділянок, виробничих цехів повного технологічного процесу в межах системи [131, 130, 131].

Важливо відмітити, що на ринку практично відсутні напівфабрикати збивні борошняні для кондитерських виробів з використанням желатину, як піноутворюючого компоненту. На наш погляд головною проблемою для впровадження даної продукції, виготовленої індустріальним методом, є відсутність наукових основ її виробництва.

Нами було проведено моделювання технологічної системи виробництва з метою встановлення можливості регулювання та оптимізації параметрів технологічного процесу, для визначення взаємопов'язаних параметрів виробництва з показниками якості напівфабрикатів випечених типу бісквіт без яєчних продуктів. Для спрощення складності реальних технологічних процесів застосовано моделювання, яке дозволяє деталізувати та

конкретизувати їх. Це теоретичний метод, за допомогою якого є можливість намітити план та вирішувати технологічні завдання найбільш економічним способом, мінімізувати прийняття помилкових рішень щодо реальних технологічних систем.

Враховуючи зазначені вище передумови нами було розроблено модель інноваційної стратегії (рис. 2. 1) та модель рецептурного складу харчових піно-подібних систем з термостабільними властивостями. (рис. 2.2) [131, 132, 133].

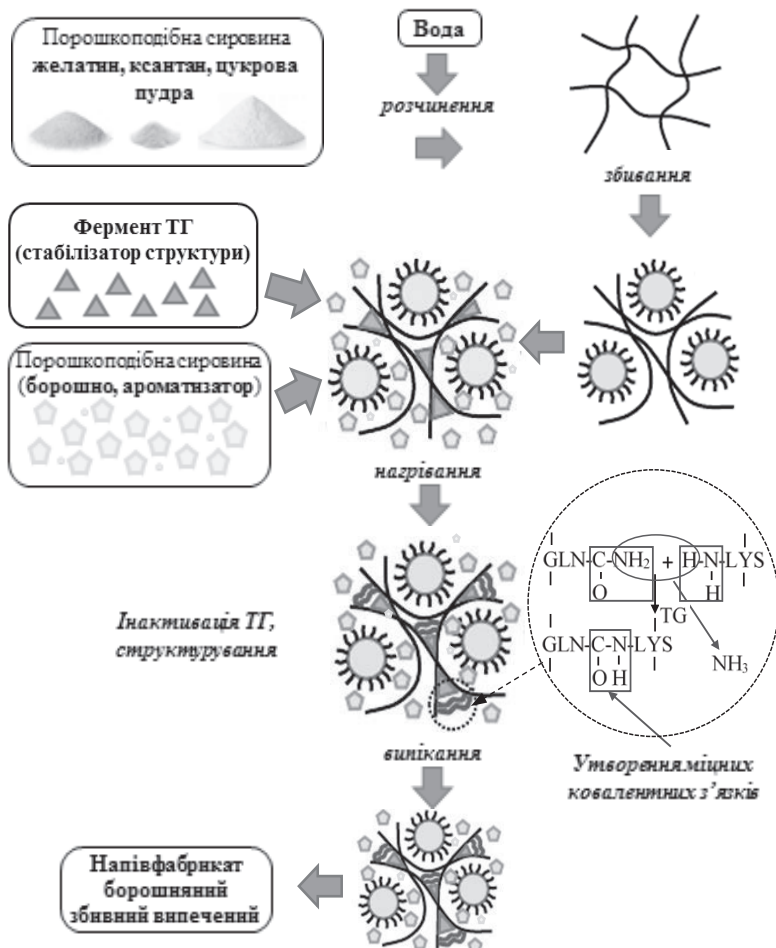


Рис. 2.1. Модель інноваційної стратегії технології напівфабрикату збивного борошняного з використанням желатину і ферменту транsgлютаміназа

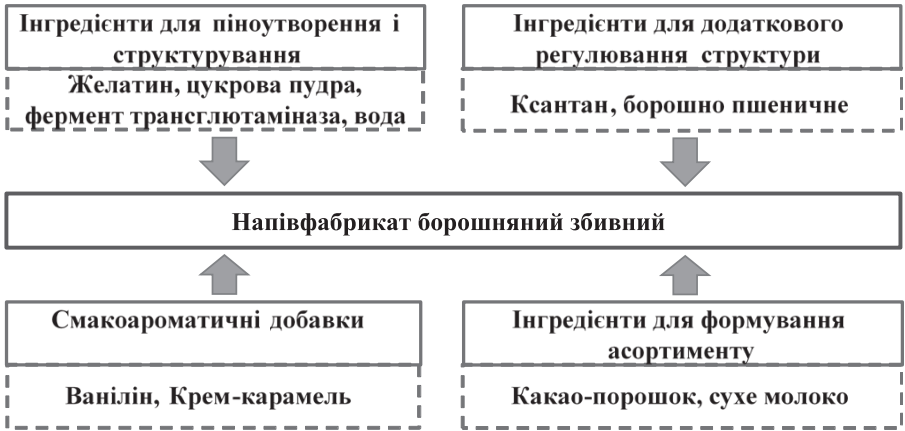


Рис. 2.2. Модель складу напівфабрикату збивного борошняного з використанням желатину і ферменту трансглютаміназа

Не зважаючи на те, що моделювання є основним методом дослідження технологічних систем, все ж це теоретичний метод дослідження. Тому, наступними етапами націленими на реалізацію моделі інноваційної стратегії технології напівфабрикату збивного борошняного було проведення низки експериментальних досліджень її підтвердження або спростування.

Отже, нами пропонується модель інноваційної стратегії технології отримання модель складу напівфабрикату збивного борошняного без яєчних продуктів, що дають можливість у загальному вигляді визначити рецептурний склад та технологію нової продукції.

На основі робочої гіпотези нами було розроблено модель технологічної системи (рис. 2.3) отримання напівфабрикату збивного борошняного.

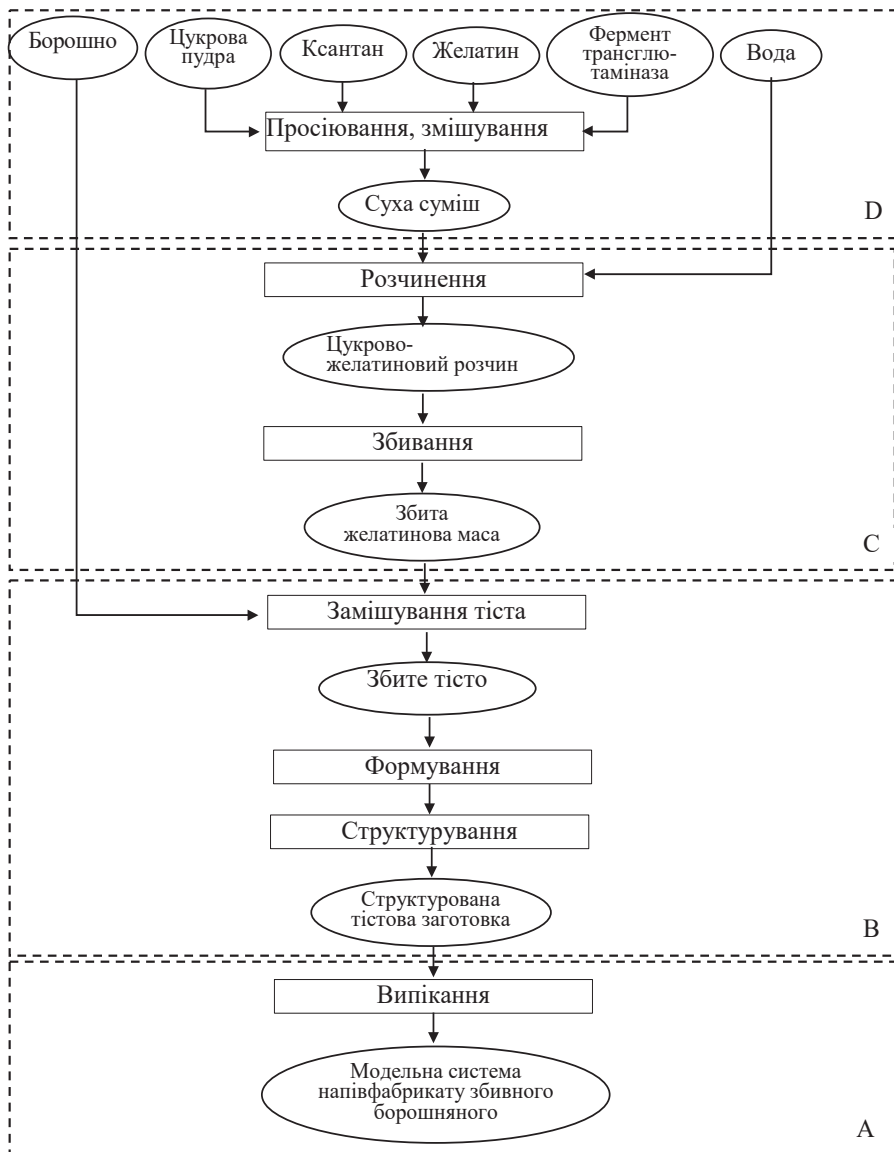


Рис. 2.3. Модель технологічної системи отримання напівфабрикату збивного борошняного

Аналізом моделі технологічної системи встановлено, що ключовими стадіями отримання напівфабрикату збивного борошняного з відповідними технологічними характеристиками є обґрунтування концентрацій та способу внесення рецептурних компонентів для отримання сухої суміші (підсистема D), підготовка цукрово-желатинового розчину з регульованими технологічними властивостями та отримання збитої желатинової маси (підсистема C), замішування тіста та отримання структурованої тістової заготовки (підсистема B), формування і стабілізація структури напівфабрикату збивного борошняного (підсистема A).

2.1.2 Дослідження впливу концентрацій рецептурних компонентів та температури на в'язкість модельних систем.

Важливою технологічною властивістю для тіста є в'язкість, оскільки вона виконує роль структурно механічного бар'єра при утворенні та руйнуванні піноподібної структури, зумовлює її стабільність. При недостатньо високій в'язкості, утворення бульбашок повітря в об'ємі тіста при його збиванні відбувається швидко і при малих затратах енергії, однак при цьому півки дисперсійного середовища легко руйнуються надлишковим тиском повітря. Реологічні характеристики знаходяться в тісній залежності від внутрішньої структури речовини [12-14, 19-22].

В'язкість, термозворотність, структура, стійкість дисперсних розчинів гідроколідів залежить від їх виду і концентрації, температури і часу застигання, рівня рН середовища, наявності та концентрації добавок. Для досягнення необхідного рівня в'язкості, концентрація більшості полісахаридів коливається в межах від 0,1 до 3%. При використанні тонкодисперсних порошоків (розмір часток близько 100 мкм) геле- і драглеутворення протікає за 20...40 хвилин (для більшості полісахаридів). Для гідратації і набрякання великих часток низки полісахаридів (200-300 мкм) необхідна витримка близько 1 години. Слід мати на увазі, що швидкість набухання частинок істотно залежить від інтенсивності перемішування і температури, в якій знаходиться дана система [134, 135, 136].

Для виключення або зниження ефекту плівкоутворення і грудкування гідроколоїдів при розчиненні необхідно застосовувати високошвидкісне перемішувальне обладнання та попередньо змішувати зразки з іншими сипучими рецептурними компонентами (цукром, лимонною кислотою і ін.), що дозволяє збільшити відстань між частинками і запобігти їх агломерації [137].

Впровадження наукових принципів ферментативної модифікації властивостей желатину, а також його комбінювання зі структуроутворювачами іншої природи дозволить створити клас напівфабрикатів принципово нової харчової продукції з якісно зміненими функціональними властивостями [138,139].

Для встановлення раціональної концентрації основних рецептурних компонентів напівфабрикату борошняного збивного: желатину, ксантану, ферменту трансглютаміназа, цукрової пудри, досліджували динамічну в'язкість розчинів (рис. 2.4 – 2.6) [27, 28, 30, 31, 50].

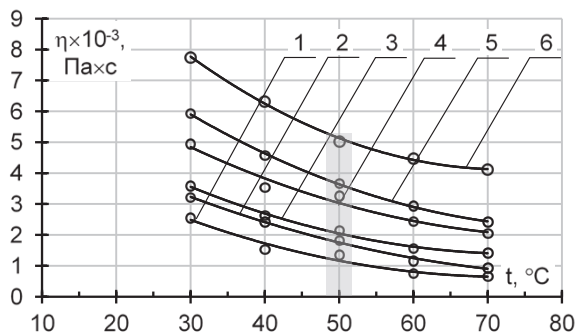


Рис. 2.4. Вплив температури на динамічну в'язкість розчину желатину за концентрації 3,0%; в композиції з ксантаном, % : 1–0,1; 2–0,15; 3–0,2; 4–0,25; 5–0,3; 6–0,35

Встановлено, що при додаванні ксантану за концентрації вище $0,3 \pm 0,05\%$ в'язкість композиції желатин-ксантан зростає в 1,5 рази вірогідно внаслідок синергетичної взаємодії ксантану з желатином та перерозподілу

асоційованих і неасоційованих гідроксильних груп, що сприяє утворенню значної кількості міжмолекулярних водневих зв'язків.

Доведено, (рис. 2.5), що збільшення вмісту ферменту трансклятаміназа понад $0,09 \pm 0,01\%$ призводить до підвищення швидкості зшивання структури та призведе до надто швидкого зростання міцності, що ускладнить процес перемішування. При зменшенні вмісту трансклятамінази менше $0,05\%$ готовий продукт не набуває необхідної структури.

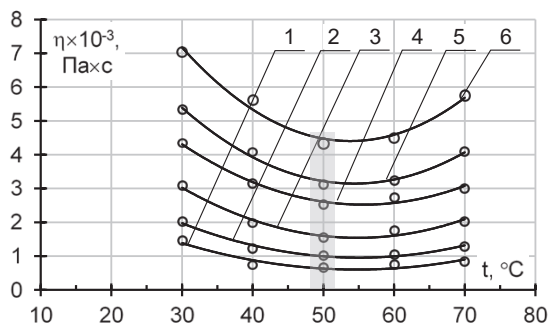


Рис. 2.5. Вплив температури на динамічну в'язкість системи желатин-ксантан за концентрації желатину 3,0%; ксантану 0,25; в присутності ферменту трансклятаміназа, % : 1–0,05; 2–0,06; 3–0,07; 4–0,08; 5–0,09; 6–0,1

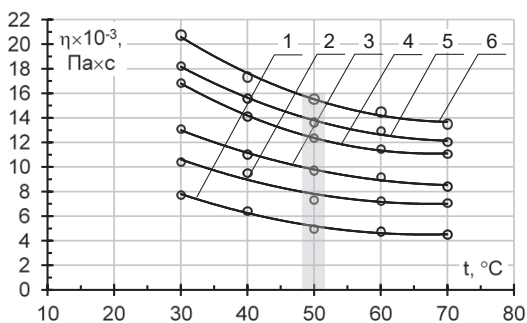


Рис. 2.6. Вплив температури на динамічну в'язкість системи желатин-ксантан за концентрації желатину 3,0%; ксантану 0,25; в композиції з цукровою пудрою, % : 1–26,0; 2–27,0; 3–28,0; 4–29,0; 5–30,0; 6–31,0

Встановлено, що при введенні цукрової пудри менше $27,7\pm 1,3\%$ або більше $32\pm 1,3\%$ бажана стійка дрібна структура дисперсної системи тістової маси не утвориться. Збільшення вмісту цукрової пудри призводить до значного підвищення в'язкості та появи надто солодкого смаку.

Для підтвердження раціональної концентрації основних рецептурних компонентів напівфабрикату борошняного збивного, що беруть участь у процесах піноутворення, структурування проводили дослідження динамічної в'язкості (рис. 2.7) розчинів рецептурних компонентів за концентрації: желатини – $3,0\pm 0,2\%$, ксантану – $0,2\pm 0,01\%$, трансглютамінази – $0,08\pm 0,01\%$, та поліелектролітних комплексів: желатин+ксантан+трансглютаміназа, желатин+ксантан, желатин+ ксантан+ цукрова пудра, желатин+ксантан+ цукрова пудра + трансглютаміназа, в температурному діапазоні $30\dots 70^\circ\text{C}$.

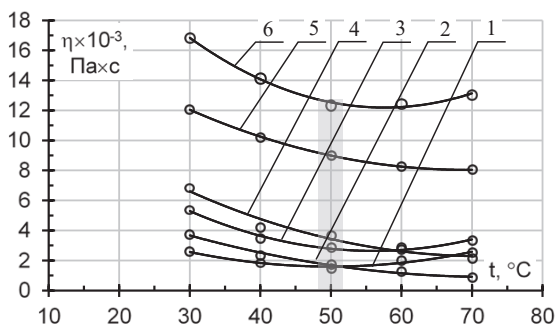


Рис. 2.7. Вплив температури на динамічну в'язкість рецептурних компонентів: 1- желатин; 2-ксантан; і поліелектролітних комплексів: 3-желатин+ ксантан+трансглютаміназа; 4-желатин+ксантан; 5-желатин+ксантан+цукрова пудра; 6-желатин+ксантан+ цукрова пудра + трансглютаміназа

Встановлено, що підвищення температури в діапазоні $30\dots 70^\circ\text{C}$ зменшує динамічну в'язкість розчину желатину на $3,5\pm 0,2$ Па·с, додавання ксантану збільшує динамічну в'язкість на $3,2\pm 0,2$ Па·с за температури 30°C , додавання цукру на $8,4\pm 0,2$ Па·с, додавання до цукрово-желатинового розчину в присутності ксантану ферменту трансглютаміназа за температури 30°C

збільшує динамічну в'язкість на $4,8 \pm 0,2$ Па·с. За температури $50,0 \pm 2,0$ °С динамічна в'язкість системи желатин+ксантан+цукрова пудра+трансглютаміназа становить $12,34 \times 10^{-3}$ Па·с (табл. 2.1).

При введенні желатину менше 2,5% тістова маса не збільшиться в об'ємі. При введенні желатину більше 3,0% структура напівфабрикату буде занадто пружною, що буде ускладнювати подальшу обробку напівфабрикатів збивних.

Введення камеді ксантанової менше 0,1% на структурні властивості тістової маси не вплине, при введенні камеді ксантанової у кількості 0,3% густина тістової маси значно збільшується.

Зменшення вмісту цукрової пудри менше $27,7 \pm 1,3\%$ призводить до зменшення кількості сухих речовин та погіршення смакових властивостей готових виробів.

Таблиця 2.1

Динамічна в'язкість компонентів напівфабрикату збивного борошняного за температури 50°С

Склад зразків дослідження	Динамічна в'язкість ($\eta \times 10^{-3}$), Па·с
Желатин	1.76
Ксантан	2.50
Желатин+ксантан	3.66
Трансглютаміназа	1.49
Желатин+ксантан+трансглютаміназа	2.88
Желатин+ксантан+ цукрова пудра	9.03
Желатин+ксантан+цукрова пудра+трансглютаміназа	12.34

Таким чином збільшення вмісту ферменту трансглютаміназа понад 0,1% призводить до підвищення швидкості зшивання структури та призведе до надто швидкого зростання міцності, що ускладнить процес перемішування. При зменшенні вмісту трансглютамінази менше 0,05% готовий продукт не набуває необхідної структури.

На наш погляд, додавання ксантану до желатинового розчину сприяє зростанню в'язкості вірогідно внаслідок синергетичної взаємодії ксантану з желатином що призводить перерозподілу асоційованих і неасоційованих

гідроксильних груп і сприяє утворенню значної кількості міжмолекулярних водневих зв'язків.

Підтверджено каталітичний вплив ферменту трансклятаміназа (рис. 2.7) на взаємодію аміногруп лізину з γ -карбоксамідною групою пов'язаних пептидним зв'язком залишків глутаміну в системі цукрово-желатинового розчину в присутності ксантану. Цей вплив забезпечує більш високий рівень зшивки макромолекул білкового каркасу і суттєве зростання в'язкості.

Отже, збільшення в'язкості модельних систем внаслідок впливу ксантану і ферменту ТГ відбувається завдяки зв'язуванню вільної вологи, що забезпечить підвищену структурну в'язкість і механічну міцність плівці на поверхні бульбашок пінної структури.

Обгрунтовано доцільність використання системи желатин-ксантан в присутності ферменту трансклятаміназа для виробництва напівфабрикату борошняного збивного.

2.1.3 Моделювання в'язкості.

Основним завданням математичного планування експерименту є отримання статистичної моделі об'єкта у вигляді полінома (рівняння регресії), що дозволить оцінити дію факторів x_i , що впливають на в'язкість модельної системи напівфабрикату збивного. Щоб усунути кореляцію між коефіцієнтами регресії і складність в оцінці розрахункових значень функції відгуку, користувалися кодованими значеннями факторів [88, 89, 90]:

$$X_i = \frac{\bar{x}_i - \bar{x}_{i0}}{\varepsilon_i} \quad (2.1)$$

де x_i - натуральне значення i -го фактора;

x_{i0} - натуральне значення фактора на нульовому рівні;

ε_i - значення інтервалу варіювання фактора.

Рівні варіювання факторів і кодові позначення змінних наведені в табл.

2.2.

Рівні варіювання факторів і їх кодове позначення

Фактор			Рівні варіювання фактора			Інтервал варіювання	Розрахунок фактора
Найменування	Позначення		+1	0	-1		
	натуральне	кодове					
Вміст ферменту глютамінази m_{Γ}	X_1	x_1	0,09	0,07	0,05	0,02	$x_1 = \frac{m_{\Gamma} - 0,07}{0,02}$
Вміст желатину $m_{\text{ж}}$	X_2	x_2	3,0	2,0	1,0	1,0	$x_2 = \frac{m_{\text{ж}} - 2,0}{1}$
Вміст ксантану $m_{\text{к}}$	X_3	x_3	0,2	0,15	0,1	0,05	$x_3 = \frac{m_{\text{к}} - 0,15}{0,05}$

При проведенні однофакторних експериментів було встановлено, що в залежності від досліджуваних параметрів в'язкість модельних систем напівфабрикату збивного змінюється по параболічній кривій. Це значить, що факторний простір описується рівнянням регресії у вигляді полінома другого ступеня, який має наступний вигляд:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3. \quad (2.2)$$

Для отримання рівняння регресії другого порядку було проведено аналіз з вибору методу математичного планування експерименту, в результаті якого було запропоновано реалізувати некомпозиційний план по методу Бокса-Бенкена [89].

Загальна кількість досліджень за планом Бокса-Бенкена для $K=3$ становить:

$$N_{\text{заг}} = N + N_0 = 12 + 3 = 15,$$

де: N_0 - число досліджень в центрі плану.

Для опису математичної моделі нерівномірності в'язкості будували матрицю другого порядку за обраним методом Бокса-Бенкена (таб. 2.3).

Матриця плану Бокса-Бенкена

№ п/п	№ досліді	x ₁	x ₂	x ₃	x ₁ x ₂	x ₁ x ₃	x ₂ x ₃	x ₁ ²	x ₂ ²	x ₃ ²	\bar{y}
1	14	1	1	0	1	0	0	1	1	0	3,06
2	9	-1	-1	0	1	0	0	1	1	0	1,28
3	15	1	-1	0	-1	0	0	1	1	0	2,63
4	10	-1	1	0	-1	0	0	1	1	0	1,36
5	3	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1,42
6	5	-1	0	-1	0	1	0	1	0	1	1,38
7	2	1	0	-1	0	-1	0	1	0	1	2,14
8	6	-1	0	1	0	-1	0	1	0	1	2,09
9	7	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1,54
10	11	0	-1	-1	0	0	1	0	1	1	1,49
11	4	0	1	-1	0	0	-1	0	1	1	1,38
12	12	0	-1	1	0	0	-1	0	1	1	1,32
13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,47
14	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,48
15	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,46

Перевірку всіх експериментальних даних на однорідність розраховували за критерієм Кохрена:

$$G_{расч} = \frac{S_{u \max}^2}{\sum_{u=1}^N S_u^2} \leq G_{(0,05; f_1; f_2)} \quad (2.3)$$

де $S_{u \max}^2$ – максимальна вибіркова дисперсія в N вибірках;

S_u^2 – вибіркова дисперсія в j-му досліді;

N – кількість дослідів;

j – поточний номер досліді.

Вибіркову дисперсію в кожній вибірці визначали за формулою:

$$S_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{ji} - \bar{y}_j)^2}{n-1}, \quad (2.4)$$

де y_{ji} – значення параметра оптимізації в j-му досліді та i-му дублі;

i - поточний номер дубля, 1, ..., n ;

n - число дублів кожного з N дослідів;

y_j - вибіркове середнє значення в j -му досліді.

Середнє арифметичне значення параметру оптимізації для кожного рядка визначали за формулою:

$$\bar{y}_j = \frac{\sum_{i=1}^n y_{ij}}{n}, \quad j = 1, \dots, N. \quad (2.5)$$

Реалізуючи експеримент згідно з матрицею планування (табл. 2.3), результати усіх досліджень заносили в таблицю 2.4 за рандомізованою схемою.

Таблиця 2.4

**Результати реалізації матриці планування (критерій оптимізації -
в'язкість, η (Па·с))**

№ досліду	В'язкість $\eta \times 10^{-3}$ Па·с				Дисперсія S_j^2
	y_1	y_2	y_3	\bar{y}_j	
1	3,18	3,02	2,98	3,06	0,0112
2	1,27	1,35	1,22	1,28	0,0043
3	2,59	2,62	2,68	2,63	0,0021
4	1,29	1,3	1,49	1,36	0,0127
5	1,38	1,46	1,42	1,42	0,0016
6	1,27	1,37	1,41	1,35	0,0052
7	2,25	2,01	2,16	2,14	0,0147
8	2,07	1,97	1,91	1,98	0,0065
9	1,58	1,49	1,55	1,54	0,0021
10	1,42	1,57	1,48	1,49	0,0057
11	1,36	1,47	1,31	1,38	0,0067
12	1,35	1,4	1,21	1,32	0,0097
13	1,61	1,75	1,66	1,67	0,0050
14	1,38	1,42	1,58	1,46	0,0112
15	1,48	1,49	1,29	1,42	0,0127

Розраховували коефіцієнти рівняння регресії за відомою методикою [90].

Дисперсія відтворюваності (похибка дослідів) складала: $S_y^2 = 0,0037$

Коефіцієнти рівняння регресії:

$$\begin{aligned}
 b_0 &= 1,47 & b_{13} &= -0,3576 \\
 b_1 &= 0,391 & b_{23} &= 0,0825 \\
 b_2 &= 0,0775 & b_{11} &= 0,4680 \\
 b_3 &= 0,0025 & b_{22} &= 0,1412 \\
 b_{12} &= 0,0875 & b_{33} &= -0,1820
 \end{aligned}$$

В результаті розрахунків коефіцієнтів отримували рівняння регресії в наступному вигляді:

$$\begin{aligned}
 y = & 1,47 + 0,3916x_1 + 0,0775x_2 - 0,0025x_3 + 0,0875x_{12} - 0,3576x_{13} + 0,0825x_{23} \\
 + & 0,4680x_1^2 + 0,1412x_2^2 - 0,1820x_3^2
 \end{aligned}
 \tag{2.6}$$

Таблиця 2.5

Зміна в'язкості від поєднання факторів

№ досліджу	Y_1	Y_2	Y_3	\bar{y}	$\sum_{p=1}^m (y_{iu} - \bar{y})$	S_u^2 s_i^2
1	3,18	3,02	2,98	3,06	3,06	0,0112
2	1,27	1,35	1,22	1,28	1,28	0,0043
3	2,59	2,62	2,68	2,63	2,63	0,0021
4	1,29	1,30	1,49	1,36	1,36	0,0127
5	1,38	1,46	1,42	1,39	1,42	0,0016
6	1,37	1,37	1,41	1,42	1,38	0,0005
7	2,25	2,01	2,16	1,38	2,14	0,0147
8	2,00	2,23	2,05	2,14	2,09	0,0146
9	1,58	1,49	1,55	2,09	1,54	0,0021
10	1,62	1,37	1,48	1,54	1,49	0,0157
11	1,36	1,47	1,31	1,49	1,38	0,0067
12	1,35	1,40	1,21	1,38	1,32	0,0097
13	1,51	1,59	1,52	1,32	1,54	0,0019
14	1,38	1,42	1,58	1,54	1,46	0,0112
15	1,48	1,39	1,39	1,46	1,42	0,0027

Найбільша з дисперсій в рядках плану: $S_{u_{\max}}^2 = 0,0157$

Сума дисперсій:

$$\sum_{u=1}^N S_u^2 = 0,0932$$

Розрахункове значення критерію Кохрена: $G_{расч} = 0,1405$

$$G_{расч} = 0,1405 \leq G_{табл} = 0,3346$$

Дисперсії, що характеризують похибки у визначенні коефіцієнтів регресії:

$$S^2\{b_0\} = 0,00124 \quad S^2\{b_i\} = 0,00047 \quad S^2\{b_{ij}\} = 0,00093 \quad S^2\{b_{ii}\} = 0,00163$$

Довірчі інтервали коефіцієнтів регресії:

$$\Delta b_0 = 0,0752 \quad \Delta b_i = 0,046 \quad \Delta b_{ij} = 0,0651 \quad \Delta b_{ii} = 0,0861$$

Порівняння коефіцієнтів регресії з довірчими інтервалами:

$$b_0 = 1,47 \quad \geq \Delta b_0 = 0,0752 \quad b_{13} = -0,3575 \quad \geq \Delta b_{ij} = 0,0651$$

$$b_1 = 0,3916 \quad \geq \Delta b_i = 0,046 \quad b_{23} = 0,825 \quad \geq \Delta b_{ij} = 0,1843$$

$$b_2 = 0,0775 \quad \geq \Delta b_i = 0,046 \quad b_{11} = 0,4680 \quad \geq \Delta b_{ii} = 0,0861$$

$$b_3 = -0,0025 \quad \leq \Delta b_i = 0,046 \quad b_{22} = 0,1412 \quad \geq \Delta b_{ii} = 0,0861$$

$$b_{12} = 0,875 \quad \geq \Delta b_{ij} = 0,0651 \quad b_{33} = -0,1820 \quad \geq \Delta b_{ii} = 0,0861$$

Після відкидання незначущих коефіцієнтів рівняння регресії приймає наступний вигляд:

$$y = 1,47 + 0,3916x_1 + 0,0775x_2 + 0,0875x_1 x_2 - 0,3576x_1 x_3 + 0,0825x_2 x_3 + 0,4680x_1^2 + 0,1412x_2^2 - 0,1820x_3^2 \quad (2.7)$$

Перевірка на адекватність рівняння регресії:

$$F_{расч} = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2} \leq F(0,05; f_{ад}; f_y)$$

Дисперсія адекватності:

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2}{N - (k + 1)} = 0,0373$$

Тоді

$$F_{расч.} = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2} = 0,354 \leq F_{табл.} = 2,12$$

Рівняння адекватне з довірчою ймовірністю 95%.

Підставляючи дані кодування значень факторів з таблиці 1 в рівняння 7, отримаємо:

$$YI = 1170m_{\Gamma}^2 + 4.38m_{\Gamma}m_{ж} + 357.6m_{\Gamma}m_{к} - 99.33m_{\Gamma} + 0.1412m_{ж}^2 + 1.65m_{ж}m_{к} - 1.04m_{ж} - 72.8m_{к}^2 + 43.57m_{к} + 1.9569$$

Визначали координати нового центру, для чого рівняння (2.7) диференціювали й похідні прирівнювали до нуля:

$$\begin{cases} \frac{dy}{dx_1} = 0,3916 + 0,0875x_2 - 0,3576x_3 + 0,936x_1 = 0 \\ \frac{dy}{dx_2} = 0,0775 + 0,0875x_1 + 0,0825x_3 + 0,2824x_2 = 0 \\ \frac{dy}{dx_3} = -0,0025 - 0,3576x_1 + 0,0825x_2 - 0,364x_3 = 0 \end{cases} \quad (2.8)$$

Вирішивши систему рівнянь отримували координати точки S

$$x_{1s} = -0,3; x_{2s} = -0,25; x_{3s} = 0,24.$$

Розкодовані значення факторів: маса ферменту глютаміназа $m_{\Gamma} = 0,064$ г, желатину $m_{ж} = 1.75$ г, ксантан $m_{к} = 0,162$ г. Підставивши значення факторів у рівняння (2.8) отримували значення параметра оптимізації:

$$Y = 1,35 \times 10^{-3} \text{Па} \cdot \text{с}$$

Для забезпечення інтерпретації отриманих результатів дослідження при вивченні поверхні відгуку був використаний метод двовимірних перетинів. Побудову двовимірних перетинів функції відгуку виконували в такий спосіб. В отриману раніше математичну модель (2.8) підставляли закодовані значення всіх факторів, крім будь-якого одного, причому в першу чергу досліджувалися ті перетини, які мають найбільш практичне значення. Далі в отриманому значенні виразу визначався центр поверхні відгуку й проводилося канонічне

перетворення моделі другого порядку. Після канонічного перетворення визначався тип поверхні відгуку й проводився графоаналітичний аналіз отриманого виразу.

Побудову двовимірного перетину першої функції відгуку виконували підставляючи значення $x_3=0$ в рівняння (2.7).

У результаті отримували рівняння у вигляді:

$$y = 1,47 + 0,3916x_1 + 0,0775x_2 + 0,0875x_1 x_2 + 0,4680x_1^2 + 0,1412x_2^2 \quad (2.9)$$

Для визначення центру поверхні відгуку складали систему диференціальних рівнянь, що є приватними похідними по факторах x_1 і x_2 :

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial x_1} = 0,3916 + 0,0875x_2 + 0,936 x_1 = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} = 0,0775 + 0,0875x_1 + 0,2824 x_2 = 0 \end{cases}$$

$$x_{1s} = -0,4;$$

$$x_{2s} = -0,15.$$

Підставляючи значення x_{1s} і x_{2s} в рівняння (2.9), отримували значення в'язкості в центрі поверхні відгуку:

$$Y_s = 1,38 \times 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$$

Для канонічного перетворення рівняння (2.9) розв'язували його характеристичне рівняння:

$$B^2 + pB + q = 0;$$

Власними коренями характеристичного рівняння (2.9) будуть:

$$B_1 = 0,47, \quad B_2 = 0,14$$

Тоді рівняння в канонічній формі матиме вигляд:

$$Y - 0,86 = 0,47x_1^{-1} + 0,14x_2^{-2} + 2$$

Визначали кут повороту нових координатних осей в центрі поверхні відгуку з формули

$$\text{ctg}(2\varphi) = \frac{b_{11} - b_{22}}{2b_{12}}$$

$$\varphi = -7,4^\circ$$

Поверхня відгуку має вигляд еліптичного параболоїду. Обидва коефіцієнта B_1 і B_2 мають однакові знаки. Центр еліпсів є мінімум, тому що коефіцієнти негативні і еліпси витягнуті по осі x_2 .

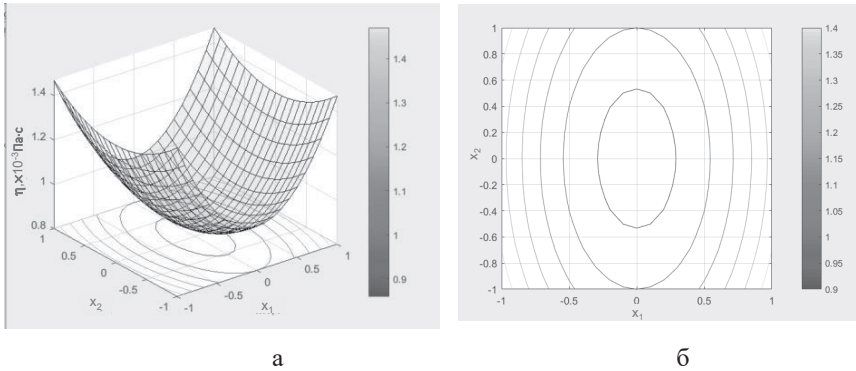


Рис. 2.8. а - поверхня відгуку впливу факторів X_1 і X_2 , б - двовимірний перетин

Підставляючи значення $x_2=0$ в рівняння (2.9) виконували побудову двовимірного перетину другої функції відгуку.

У результаті отримували рівняння у вигляді:

$$Y = 1,47 + 0,3916x_1 - 0,3576x_1x_3 + 0,4680x_1^2 - 0,1820x_3^2 \quad (2.10)$$

Для визначення центру поверхні відгуку склали систему диференціальних рівнянь, що є приватними похідними по факторах x_1 і x_3 :

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial x_1} = 0,3916 - 0,3576x_3 + 0,936x_1 = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} = -0,3576x_1 - 0,364x_3 = 0 \end{cases}$$

$$x_{1s} = 0,3;$$

$$x_{3s} = 0,29.$$

Підставляючи значення x_{1s} і x_{3s} в рівняння (2.10), отримували значення в'язкості в центрі поверхні відгуку рівне:

$$Y_s = 1,0 \times 10^{-3} \text{ Па·с}$$

Для канонічного перетворення рівняння (2.10) розв'язували його характеристичне рівняння:

$$B^2 + pB + q = 0;$$

Власними коренями характеристичного рівняння (2.10) будуть:

$$B_1 = 0,51, \quad B_2 = -0,23$$

Тоді рівняння в канонічній формі буде мати вигляд:

$$Y - 0,87 = 0,51\bar{x}_1^2 - 0,23\bar{x}_3^2$$

Визначали кут повороту нових координатних осей в центрі поверхні відгуку з формули:

$$\operatorname{ctg}(2\varphi) = \frac{b_{11} - b_{22}}{2b_{12}}$$

$$\varphi = 14,3^\circ$$

Поверхня відгуку має вигляд гіпербол. Коефіцієнти B_1 і B_2 мають різні знаки. Центр поверхні є мінімаком.

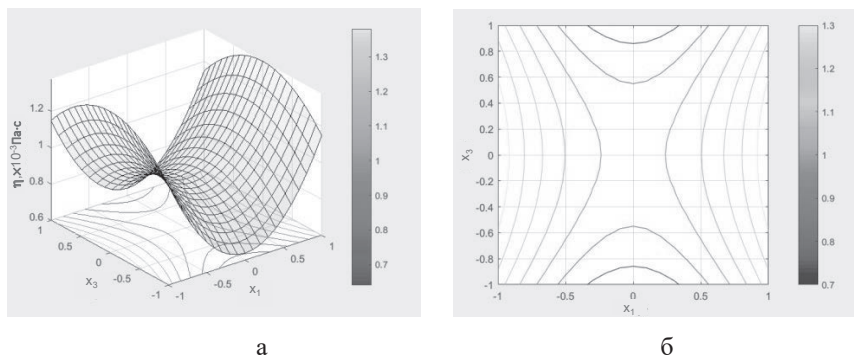


Рис. 2.9. а - поверхня відгуку впливу факторів X_1 і X_3 , б - двовимірний перетин

Підставляючи значення $x_1 = 0$ в рівняння (7) виконували побудову двовимірного перетину третьої функції відгуку.

В результаті отримували рівняння у вигляді:

$$Y = 1,47 + 0,0775x_2 + 0,0825x_2 x_3 + 0,1412x_2^2 - 0,1820x_3^2 \quad (11)$$

Для визначення центру поверхні відгуку склали систему

диференціальних рівнянь, що є приватними похідними по факторах x_2 і x_3 :

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial x_1} = 0,0775 + 0,0825x_3 + 0,2824 x_2 = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} = 0,0825x_2 - 0,364 x_3 = 0 \end{cases}$$

$$x_{2s} = -0,26$$

$$x_{3s} = -0,06.$$

Підставляючи значення x_{2s} і x_{3s} в рівняння (11), отримували значення в'язкості в центрі поверхні відгуку, що складає:

$$Y_s = 1,45 \times 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$$

Для канонічного перетворення рівняння (11) розв'язували його характеристичне рівняння:

$$B^2 + pB + q = 0;$$

Власними коренями характеристичного рівняння (11) будуть:

$$B_1 = 0,15, \quad B_2 = -0,19$$

Тоді рівняння в канонічній формі буде мати вигляд:

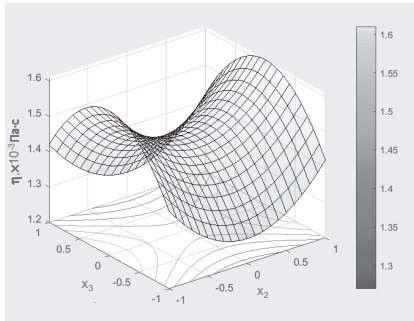
$$Y - 1,46 = 0,15\bar{x}_2^2 - 0,19\bar{x}_3^2$$

Визначали кут повороту нових координатних осей в центрі поверхні відгуку за формулою:

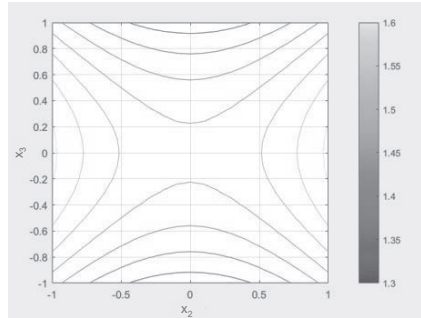
$$\text{ctg}(2\varphi) = \frac{b_{11} - b_{22}}{2b_{12}}$$

$$\varphi = -7,16^\circ$$

Контурні криві поверхні відгуку мають вигляд гіпербол. Коефіцієнти B_1 і B_2 мають різні знаки. Центр поверхні є мінімаксом.



а



б

Рис. 2.10. а - поверхня відгуку впливу факторів X_2 і X_3 , б - двовимірний перетин

2.1.4 Дослідження впливу ферменту транsgлютаміназа на вологоутримувальну здатність тіста напівфабрикату збивного борошняного.

У технологічному процесі виробництва напівфабрикату збивного борошняного вода є активним учасником багатьох реакцій (гідроліз, гідратація, набрякання білків, збивання та ін). Вільна волога забезпечує розчинення інгредієнтів сухої суміші і формування збитої піноподібної структури желатино-цукрового розчину, а зв'язана вода обумовлює стабільність і термостійкість модельної системи [140].

Відомо, що бісквітне тісто відноситься до слабкоструктурованих систем. Саме тому в технології напівфабрикату збивного борошняного для забезпечення необхідних умов гідратації білку під час збивання цукрово-желатинового розчину, структурування тістової заготовки та випікання ми використовували желатин, як основний піноутворюючий інгредієнт, ксантан в якості додаткового загущувача системи і фермент транsgлютаміназу як стабілізатор структури [141, 142, 143].

Виходячи з досвіду виготовлення напівфабрикату збивного борошняного за традиційними технологіями, підвищення частки зв'язаної вологи в збитому структурованому тісті, підготовленому до випікання, здійснювалось регулюванням концентрації цукрової пудри в рецептурі для підвищення відсотку сухих речовин [140].

Наявність великої кількості цукрової пудри в тісті без жиру надає виробам надмірну твердість. Також великий вплив на якість тіста і виробів надає крупність часток цукру. Тому для отримання пластичного тіста, в якому різко обмежений вміст води, ми використовували не цукор білий, а цукрову пудру. Це пов'язано з тим, що в порівняно невеликій кількості води не може повністю розчинитися вся кількість цукру передбачена рецептурою і залишаються нерозчиненими кристали, що будуть видимі на поверхні напівфабрикату і погіршать його якість [140].

В даних дослідженнях (рис.2.11, 2.12) була поставлена мета: одержати кількісні показники вологоутримуючої здатності (ВУЗ) модельних систем напівфабрикату збивного борошняного за загально відомою методикою виділення води з проби пресуванням і визначенням її по масі.

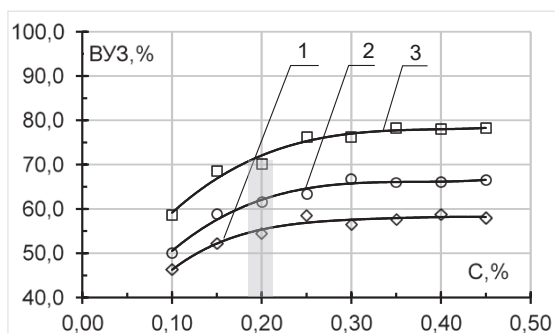


Рис. 2.11. Вплив концентрації ксантану на вологоутримувальну здатність тіста напівфабрикату збивного борошняного з желатином 3,0% до інактивації ферменту ТГ, %: 1- 0,05; 2- 0,07; 3- 0,09

Експериментально було доведено (рис. 2.11, 2.12), що для отримання тіста напівфабрикату збивного борошняного з однорідною пластичною консистенцією, забезпечення відповідної термостійкості під час випікання тістових заготовок, використання ксантану і ферменту трансглютаміназа є раціональним і доцільним.

Встановлено, що збільшення концентрації ксантану в рецептурі напівфабрикату збивного борошняного (рис. 2.12) підвищує вологоутримувальну здатність тіста від $9,0\pm 1,0$ до $18,0\pm 1,0\%$. Введення ферменту ТГ в межах $0,05\dots 0,09\%$ до інактивації (рис. 2.11) додатково підвищує вологоутримувальну здатність тіста від $6,0\pm 1,0$ до $12,0\pm 1,0\%$. Після інактивації ферменту ТГ ВУЗ тіста напівфабрикату збивного борошняного збільшується ще на $5,0\pm 1,0\%$ (рис. 2.12)

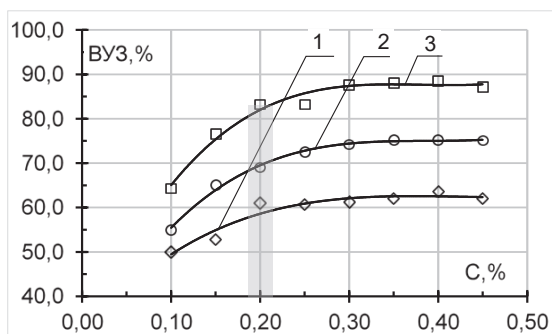


Рис. 2.12. Вплив концентрації ксантану на вологоутримувальну здатність тіста напівфабрикату збивного борошняного з желатином 3,0% після інактивації ферменту ТГ, %: 1- 0,05; 2- 0,07; 3- 0,09

Отже, як видно досліджень (рис. 2.11, 2.12), під впливом ферменту ТГ вологоутримувальна здатність білкових речовин тіста напівфабрикату збивного борошняного суттєво збільшувалась, особливо під час інактивації за температури $60\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Експериментально доведено, що здатність білкових речовин тіста напівфабрикату збивного борошняного утримувати вологу під впливом ксантану за концентрації $0,2\pm 0,05$ за каталітичного впливу ферменту трансглютаміназа в діапазоні концентрацій $0,05\dots 0,09\%$. До інактивації ферменту ВУЗ білкових речовин зростає від $56\pm 2\%$ до $78\pm 2\%$, а після інактивації – від $62\pm 2\%$ до $88\pm 2\%$, що підтверджується зменшенням втрат вологи під час випікання тіста.

Тобто можна спрогнозувати зниження кількісних втрат під час випікання напівфабрикату збивного борошняного за використання ксантану і ферменту трансглютаміназа в поєднанні з желатином в якості піноутворюючого інгредієнту.

2.1.5 Моделювання вологоутримуючої здатності.

Основним завданням математичного планування експерименту є отримання статистичної моделі об'єкта у вигляді полінома (рівняння регресії), що дозволить оцінити дію факторів x_i , що впливають на вологоутримувальну здатність (ВУЗ) модельних систем напівфабрикату збивного. Щоб усунути кореляцію між коефіцієнтами регресії і складність в оцінці розрахункових значень функції відгуку, користувалися кодованими значеннями факторів, формула (1).

Рівні варіювання факторів і кодові позначення змінних наведені в табл. 1.

При проведенні однофакторних експериментів було встановлено, що в залежності від досліджуваних параметрів ВУЗ модельних систем напівфабрикату збивного змінюється по еліптичній параболоїдній кривій, а це значить, що факторний простір описується рівнянням регресії у вигляді полінома другого ступеня, який має вигляд (формула 2).

Для опису математичної моделі нерівномірності ВУЗ будували матрицю другого порядку (табл.5) за обраним методом Бокса-Бенкена.

Таблиця 2.6

Матриця плану Бокса-Бенкена

№ п/п	№ досліджу	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	x_1^2	x_2^2	x_3^2	\bar{y}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	14	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0,71
2	9	-1	-1	0	1	0	0	1	1	0	0,73
3	15	1	-1	0	-1	0	0	1	1	0	0,52
4	10	-1	1	0	-1	0	0	1	1	0	0,63
5	3	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0,58
6	5	-1	0	-1	0	1	0	1	0	1	0,76
7	2	1	0	-1	0	-1	0	1	0	1	0,78

Кінець таблиці 2.6											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
8	6	-1	0	1	0	-1	0	1	0	1	0,70
9	7	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0,60
10	11	0	-1	-1	0	0	1	0	1	1	0,68
11	4	0	1	-1	0	0	-1	0	1	1	0,63
12	12	0	-1	1	0	0	-1	0	1	1	0,52
13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,84
14	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,86
15	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,89

Дисперсія відтворюваності (похибка досліду): $S_y^2 = 0,0054$

Розраховували коефіцієнти рівняння регресії за відомою методикою [90].

Коефіцієнти рівняння регресії:

$$b_0 = 0,86 \quad b_{13} = -0,0475$$

$$b_1 = 0,0488 \quad b_{23} = 0,0325$$

$$b_2 = 0,0463 \quad b_{11} = -0,0592$$

$$b_3 = -0,05 \quad b_{22} = -0,1442$$

$$b_{12} = -0,02 \quad b_{33} = -0,1117$$

Реалізуючи експеримент згідно матриці планування. Після проведення всіх дослідів за рандомізованою схемою результати заносимо в таблицю 6.

Таблиця 2.7

Результати реалізації матриці планування

(критерій оптимізації – $VY3 \times 10^2$, %)

№ досліду	$VY3 \times 10^2$, %				Дисперсія S_j^2
	y_1	y_2	y_3	\bar{y}_j	
1	2	3	4	5	6
1	0,75	0,67	0,71	0,71	0,0016
2	0,75	0,68	0,76	0,73	0,0019
3	0,49	0,56	0,51	0,52	0,0013
4	0,59	0,68	0,62	0,63	0,0021
5	0,55	0,61	0,58	0,58	0,0009
6	0,73	0,80	0,75	0,76	0,0013

Кінець таблиці 2.7					
1	2		4	5	6
7	0,85	0,71	0,78	0,78	0,0049
8	0,77	0,67	0,66	0,70	0,0037
9	0,52	0,65	0,63	0,60	0,0049
10	0,71	0,63	0,70	0,68	0,0019
11	0,68	0,61	0,60	0,63	0,0019
12	0,47	0,58	0,51	0,52	0,0031
13	0,85	0,83	0,84	0,84	0,0001
14	0,84	0,89	0,85	0,86	0,0007
15	0,92	0,84	0,91	0,89	0,0019

У результаті розрахунків коефіцієнтів отримували рівняння регресії в наступному вигляді:

$$y = 0,86 - 0,0288x_1 + 0,015x_2 - 0,0563x_3 - 0,0725 x_1x_2 - 0,035 x_1x_3 + 0,0325 x_2x_3 - 0,0592x_1^2 - 0,1567x_2^2 - 0,0992x_3^2 \quad (12)$$

Таблиця 2.8

Зміни ВУЗ від поєднання факторів

№ досліджу	Y_1	Y_2	Y_3	\bar{Y}	$\sum_{p=1}^m (Y_{iu} - \bar{Y})$	S_u^2
1	0,75	0,67	0,71	0,71	0,0032	0,0016
2	0,75	0,68	0,76	0,73	0,0038	0,0019
3	0,49	0,56	0,51	0,52	0,0026	0,0013
4	0,59	0,68	0,62	0,63	0,0042	0,0021
5	0,55	0,61	0,58	0,58	0,0018	0,0009
6	0,73	0,80	0,75	0,76	0,0026	0,0013
7	0,85	0,71	0,78	0,78	0,0098	0,0049
8	0,77	0,67	0,66	0,70	0,0074	0,0037
9	0,52	0,65	0,63	0,60	0,0098	0,0322
10	0,71	0,63	0,70	0,68	0,0038	0,0019
11	0,68	0,61	0,60	0,63	0,0038	0,0019
12	0,47	0,58	0,51	0,52	0,0062	0,0031
13	0,85	0,83	0,84	0,84	0,0002	0,0001
14	0,84	0,89	0,85	0,86	0,0014	0,0007
15	0,92	0,84	0,91	0,89	0,0038	0,0019

Найбільша з дисперсій в рядках плану: $S_{u \max}^2 = 0,0322$

Сума дисперсій:
$$\sum_{u=1}^N S_u^2 = 0,0322$$

Розрахункове значення критерія Кохрена (3):

$$G_{розр} = 0,1522$$

$$G_{розр} = 0,1522 \leq G_{табл} = 0,3346$$

Дисперсії, що характеризують похибки у визначенні коефіцієнтів регресії:

$$S^2\{b_0\} = 0,00124 \quad S^2\{b_i\} = 0,00047 \quad S^2\{b_{ij}\} = 0,00093 \quad S^2\{b_{ii}\} = 0,00163$$

Довірчі інтервали коефіцієнтів регресії:

$$\Delta b_0 = 0,0752 \quad \Delta b_i = 0,046 \quad \Delta b_{ij} = 0,0651 \quad \Delta b_{ii} = 0,0861$$

Порівнювали коефіцієнти регресії з довірчими інтервалами:

$$b_0 = 0,86 \quad \geq \Delta b_0 = 0,0297 \quad b_{13} = 0,0325 \quad \geq \Delta b_{ij} = 0,0257$$

$$b_1 = -0,0288 \quad \geq \Delta b_i = 0,0182 \quad b_{23} = 0,0325 \quad \geq \Delta b_{ij} = 0,0257$$

$$b_2 = 0,015 \quad \geq \Delta b_i = 0,0182 \quad b_{11} = -0,0592 \quad \geq \Delta b_{ii} = 0,034$$

$$b_3 = -0,0563 \quad \leq \Delta b_i = 0,0182 \quad b_{22} = -0,1567 \quad \geq \Delta b_{ii} = 0,034$$

$$b_{12} = 0,0725 \quad \geq \Delta b_{ij} = 0,0257 \quad b_{33} = -0,0992 \quad \geq \Delta b_{ii} = 0,034$$

Після відкидання незначущих коефіцієнтів, рівняння регресії набуває вигляду:

$$y = 0,86 - 0,0288x_1 - 0,0563x_3 - 0,0725x_1x_2 - 0,035x_1x_3 + 0,0325x_2x_3 - 0,0592x_1^2 - 0,1567x_2^2 - 0,0992x_3^2 \quad (13)$$

Перевіряли рівняння регресії на адекватність:

$$F_{розр} = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2} \leq F_{(0,05; f_{ад}; f_y)}$$

Дисперсія адекватності

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2}{N - (k + 1)} = 0,0006$$

$$F_{\text{розрах}} = \frac{S_{\text{ад.}}^2}{S_y^2} = 1,0 \leq F_{\text{табл.}} = 2,12$$

Рівняння регресії адекватне з довірчою ймовірністю 95%.

Підставляючи значення кодованих значень факторів з таблиці 1 у рівняння 13, отримували:

$$y = 0,86 - 0,0288 * \left(\frac{x_1-0,07}{0,02}\right) - 0,0563 * \left(\frac{x_3-0,15}{0,05}\right) - 0,0725 * \left(\frac{x_1-0,07}{0,02}\right) * \left(\frac{x_2-2,0}{1}\right) - 0,035 * \left(\frac{x_1-0,07}{0,02}\right) * \left(\frac{x_3-0,15}{0,05}\right) + 0,0325 * \left(\frac{x_2-2,0}{1}\right) * \left(\frac{x_3-0,15}{0,05}\right) - 0,0592 * \left(\frac{x_1-0,07}{0,02}\right) * \left(\frac{x_1-0,07}{0,02}\right) - 0,1567 * \left(\frac{x_2-2,0}{1}\right) * \left(\frac{x_2-2,0}{1}\right) - 0,0992 * \left(\frac{x_3-0,15}{0,05}\right) * \left(\frac{x_3-0,15}{0,05}\right) = -1,8 + 11,93m_{\text{к}} - 148m_{\text{Г}}^2 - 3,625m_{\text{Г}}m_{\text{Ж}} - 35m_{\text{Г}}m_{\text{К}} + 31,8 * m_{\text{Г}} - 0,157m_{\text{Ж}}^2 + 0,65m_{\text{Ж}}m_{\text{К}} + 0,78m_{\text{Ж}} - 39,68m_{\text{К}}^2 \quad (14)$$

Визначали координати нового центра. Для чого рівняння (13) диференціювали й похідні прирівнювали до нуля:

$$Y = 0,86 + 0,0463x_2 - 0,05x_3 - 0,0475 x_1 x_3 + 0,0325 x_2 x_3 - 0,0592x_1^2 - 0,1442x_2^2 - 0,1117x_3^2$$

$$\begin{cases} \frac{dy}{dx_1} = -0,0475x_3 - 0,1184x_1 = 0 \\ \frac{dy}{dx_2} = 0,0463 + 0,0325 x_3 - 0,2884x_2 = 0 \\ \frac{dy}{dx_3} = -0,05 - 0,0475 x_1 + 0,0325 x_2 - 0,2234x_3 = 0 \end{cases} \quad (15)$$

Розв'язавши систему рівнянь отримували координати точки S

$$x_{1S} = 0,08; x_{2S} = 0,14; x_{3S} = -0,22.$$

Розкодовані значення факторів: маса ферменту трансклятаміназа $m_{\text{Г}} = 0,0716$ г, желатину $m_{\text{Ж}} = 2,14$ г, ксантану $m_{\text{К}} = 0,139$ г. Підставляючи значення факторів у рівняння (14) отримували значення параметра оптимізації:

$$Y = -1,8 + 11,93 * 0,139 - 148 * 0,0716 * 0,0716 - 3,625 * 0,0716 * 2,14 - 35 * 0,0716 * 0,139 + 31,8 * 0,0716 - 0,157 * 2,14 * 2,14 + 0,65 * 2,14 * 0,139 + 0,78 * 2,14 - 39,68 * 0,139 * 0,139 = 0,85$$

Після підстановки значень x_{1S} і x_{2S} у рівняння (13) отримували значення критерію оптимізації в новому центрі: $Y_S = 0,86$.

Підставляючи в рівняння (13) значення $x_3=0$ виконували побудову двомірною перетину функції відгуку

У результаті цих дій отримували рівняння у наступному вигляді:

$$y = 0,86 + 0,0463x_2 - 0,0592x_1^2 - 0,1442x_2^2 \quad (16)$$

Для визначення центру поверхні відгуку склали систему диференціальних рівнянь, що є приватними похідними по факторах x_1 і x_2 :

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial x_1} = -0.1184x_1 = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} = 0.0463 - 0.2884x_2 = 0 \end{cases}$$

$$x_{1s} = 0;$$

$$x_{2s} = 0.16.$$

Підставляючи значення x_{1s} і x_{2s} у рівняння (16), отримували значення ВУЗ у центрі поверхні відгуку, що складає:

$$Y_s = 0,87 \times 10^2, \%$$

Для канонічного перетворення рівняння (16) розв'язували його характеристичне рівняння:

$$B^2 + pb + q = 0;$$

Власними коренями характеристичного рівняння (16) будуть:

$$B_1 = -0.0592, \quad B_2 = -0.1442$$

Тоді рівняння в канонічній формі буде мати вигляд:

$$Y - 0.86 = -0.0592\bar{x}_1^2 - 0.1442\bar{x}_2^2$$

Визначали кут повороту нових координатних осей у центрі поверхні відгуку з формули:

$$\operatorname{ctg}(2\varphi) = \frac{b_{11} - b_{22}}{2b_{12}}$$

Поверхня відгуку (рис. 2.13) є еліптичним параболоїдом. Обидва коефіцієнти B_1 і B_2 мають однакові знаки. Центр еліпсів є максимум, тому що коефіцієнти негативні і еліпси витягнуті по осі x_2 .

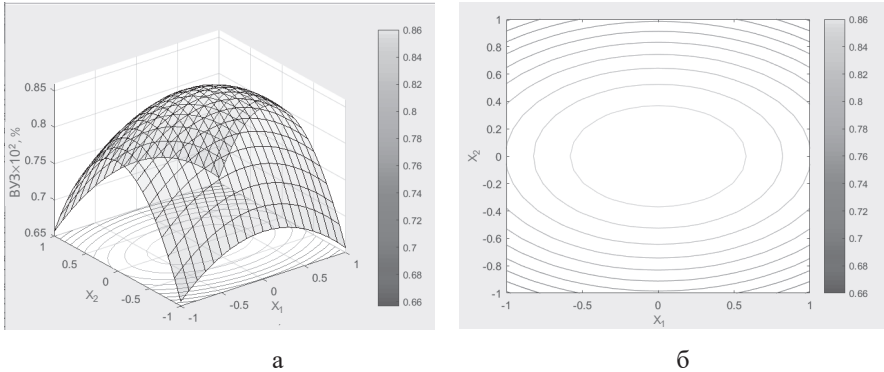


Рис. 2.13. а - поверхня відгуку впливу факторів X_1 і X_2 , б - двовимірний перетин

Підставляючи в рівняння (13) значення $x_2=0$ виконували побудову двовимірного перетину функції відгуку

У результаті отримували рівняння у наступному вигляді:

$$Y = 0,86 - 0,05x_3 - 0,0475 x_1 x_3 - 0,0592x_1^2 - 0,1117x_3^2 \quad (17)$$

Для визначення центру поверхні відгуку склали систему диференціальних рівнянь, що є приватними похідними по факторах x_1 і x_3 :

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial x_1} = -0,0475 x_3 - 0,1184x_1^2 = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} = -0,05 - 0,0475 x_1 - 0,2234x_3^2 = 0 \end{cases}$$

$$x_{1s} = 0,098;$$

$$x_{3s} = -0,24.$$

Підставляючи значення x_{1s} і x_{3s} у рівняння (17), отримували значення ВУЗ у центрі поверхні відгуку, що складає:

$$Y_s = 0,87 \times 10^{-2}, \%$$

Для канонічного перетворення рівняння (17) розв'язували його характеристичне рівняння:

$$B^2 + pb + q = 0;$$

Власними коренями характеристичного рівняння (17) будуть:

$$B_1 = -0.05, \quad B_2 = -0.12$$

Рівняння в канонічній формі буде мати вигляд:

$$Y - 0.87 = -0.05\bar{x}_1^2 - 0.12\bar{x}_2^2$$

Визначали кут повороту нових координатних осей у центрі поверхні відгуку з формули:

$$\cot(2\varphi) = \frac{b_{11} - b_{22}}{2b_{12}}$$

$$\varphi = 21,2^\circ$$

Поверхня відгуку (рис. 2.14) є еліптичним параболоїдом. Обидва коефіцієнти B_1 і B_2 мають однакові знаки. Центр еліпсів є максимум, тому що коефіцієнти негативним і еліпси витягнуті по осі x_3 .

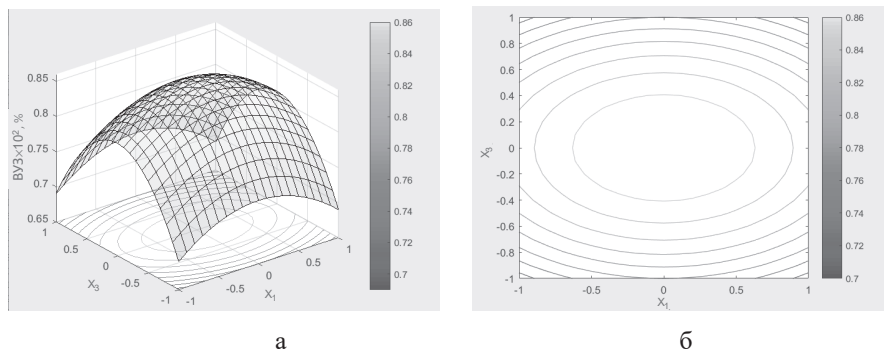


Рис. 2.14. а - поверхня відгуку впливу факторів X_1 і X_3 , б - двовимірний перетин

Підставляючи в рівняння (13) значення $x_1=0$ виконували побудову двовимірного перетину функції відгуку

У результаті отримували рівняння у наступному вигляді:

$$Y = 0,86 - 0,0563x_3 + 0,0325x_2x_3 - 0,1567x_2^2 - 0,0992x_3^2 \quad (18)$$

Для визначення центру поверхні відгуку склали систему диференціальних рівнянь, що є приватними похідними по факторах x_2 і x_3 :

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial x_1} = 0,0325 x_3 - 0,3134 x_2 = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} = -0,0563 + 0,0325 x_2 - 0,1984 x_3^2 = 0 \end{cases}$$

$$x_{2s} = -0,03;$$

$$x_{3s} = -0,29.$$

Підставляючи значення x_{2s} і x_{3s} у рівняння (18), отримували значення ВУЗ у центрі поверхні відгуку, що складає:

$$Y_s = 0,87 \times 10^{-2}, \%$$

Для канонічного перетворення рівняння (18) розв'язували його характеристичне рівняння:

$$B^2 + pb + q = 0;$$

Власними коренями характеристичного рівняння (18) будуть:

$$B_1 = -0,09, \quad B_2 = -0,16$$

Рівняння в канонічній формі буде мати вигляд:

$$Y - 0,87 = -0,09 \bar{x}_2^2 - 0,16 \bar{x}_3^2$$

Визначали кут повороту нових координатних осей у центрі поверхні відгуку з формули:

$$\operatorname{ctg}(2\varphi) = \frac{b_{11} - b_{22}}{2b_{12}}$$

$$\varphi = 14,9^\circ$$

Поверхня відгуку (рис. 2.15) є еліптичним параболоїдом. Обидва коефіцієнти B_1 і B_2 мають однакові знаки. Центр еліпсів є максимум, тому що коефіцієнти негативним і еліпси витягнуті по осі x_3 .

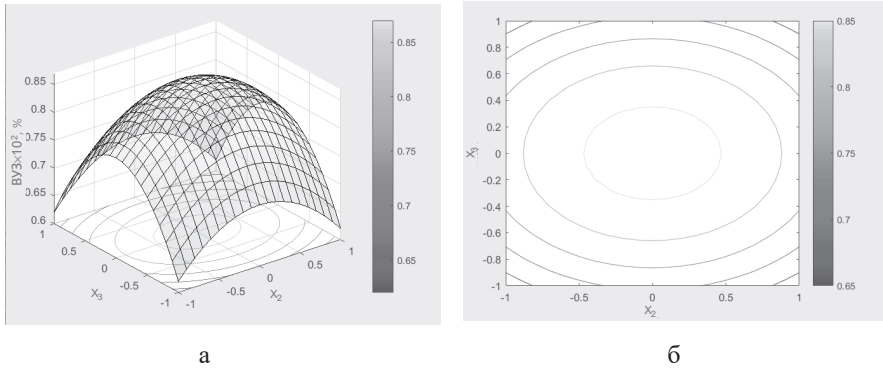


Рис. 2.15. а - поверхня відгуку впливу факторів X_2 і X_3 , б - двовимірний перетин

2.1.6 Дослідження каталітичного впливу ферменту транглютаміназа в композиції желатин-ксантан в рецептурі напівфабрикату збивного борошняного. В основу вирішення наукової проблеми створення технологій продуктів з використанням желатину і ксантану покладено комплексний підхід, заснований на теоретичному і експериментальному обґрунтуванні використання гідроколідів різної природи, що дозволив спрогнозувати отримання продуктів харчування різної текстури з високими якісними характеристиками. Сутність підходу полягає у вивченні взаємодій гідроколідів різної природи, хімічного складу і молекулярної маси, які використовуються в якості стабілізаторів і структуроутворювачів у багатокомпонентних харчових системах [144].

З метою уточнення механізму формування поліелектролітних комплексів желатин–ксантан за допомогою ІЧ-спектроскопії проведено дослідження взаємодії желатини і ксантану на молекулярному рівні та вивчено вплив рецептурних компонентів [145, 146]. Якісне вивчення складу і структурної організації модельних систем на основі желатину здійснено із застосуванням інфрачервоної спектроскопії на Фур'є-спектрометрі Perkin-Elmer Spectrum One

FTIR Spectrometer методом роздавленої краплі. Зразки записували в тонкому шарі між пластинами з цинку селеніду.

Біополімер желатина – продукт деструкції білка колагену – має у складі макромолекули позитивно і негативно заряджені групи. Позитивно зарядженими групами є вільні аміногрупи залишків лізину. Негативний заряд желатину зумовлюється залишками глутамінової Glu і аспарагінової Asp кислот, число яких на 1000 амінокислотних залишків поліамфоліта з різних природних джерел становить відповідно 69–72 і 47–48 [147-153].

Основними смугами поглинання для желатину є: широка смуга з максимумом за частоти 3400 см^{-1} (смуга Амід А, $\nu_{\text{N-H}}$ – валентні коливання групи -NH), характерні поглинання за частот 1654 см^{-1} (Амід I, $\nu_{\text{C=O}}$ – валентні коливання груп C=O), 1541 см^{-1} (смуга Амід II, складові частоти деформаційних коливань N-H і валентних коливань CN) і 1240^{-1} (смуга Амід III, складові частоти $\delta_{\text{N-H}}$ – деформаційних коливань N-H і ν_{CN} – валентних коливань CN). Додатково також відмічаються для білків частоти 620 см^{-1} (смуга Амід IV, $\delta_{\text{O=C-N}}$ – деформаційні коливання O=C-N), 750 см^{-1} (смуга Амід V, $\delta_{\text{N-H}}$ – деформаційні коливання N-H). Відомо, що як аналітична смуга для характеристики вторинної структури білка (желатину) під час аналізу ІЧ-спектральних даних найбільш інформативною є смуга Амід I. Смуги поглинання характеристичних груп желатину представлено в табл. 2.2 [147-153].

Таблиця 2.9

Частотні положення (см^{-1}) основних смуг ІЧ-спектрів поглинання функціональних груп желатину

Функціональна група	Хвильове число, см^{-1}
Амід А (N-H)	3370–3320
Амід I (C=O)	1680–1650
Амід II (N-H , CN)	1550–1485
Амід III (N-H , CN)	1240

У ІЧ-спектрі ксантанової камеді (табл. 2.10) згідно з даними досліджень [147-153] присутні інтенсивні смуги поглинання валентних коливань –ОН зв'язків в області 3613–3236 см^{-1} , коливання адсорбційно зв'язаної води за 3500–3200 см^{-1} з максимумом за 3360–3355 см^{-1} , смуги середньої інтенсивності валентних коливань –СН– і –СН₂– зв'язків за 2926, 2903 см^{-1} відповідно, інтенсивні смуги коливань іонізованих карбоксильних груп –СОО⁻ за 1729 см^{-1} , етерних угруповань –С–О–С– за 1060 см^{-1} .

Таблиця 2.10

Частотні положення (см^{-1}) основних смуг ІЧ-спектрів поглинання функціональних груп ксантану

Функціональна група	Хвильове число, см^{-1}	Джерело
–ОН (валентні коливання)	3613–3236, 3386	[1–4], [3]
H ₂ O адсорбційно зв'язана	3500–3200 (максимум: 3360–3355)	[1–4]
–СН– і –СН ₂ – (валентні коливання)	2926, 2903	[1–4]
–СОО ⁻	1729	[1–4]
–СООН пектинових речовин	1650–1500	[4]
–С=О	1630–1627	[3]
–СООН	1535–1529	[3]
Глюкуронова кислота («відбитки пальців»)	1416, 1331, 1240	[5]
–СН(OR) ₂ –	1167–1160	[3]
–С–О–С–	1060	[1–4]
–ОН зв'язані	1200–700 (максимум: 1026)	[4]
Пектинові речовини («відбитки пальців»)	1200–850	[5]

За результатами досліджень отримано віднесення смуг ІЧ-спектрів та ідентифікацію функціональних груп дослідних речовин зразків колоїдних розчинів желатин, желатин+ксантан, желатин+ксантан+цукрова пудра (рис. 2.16).

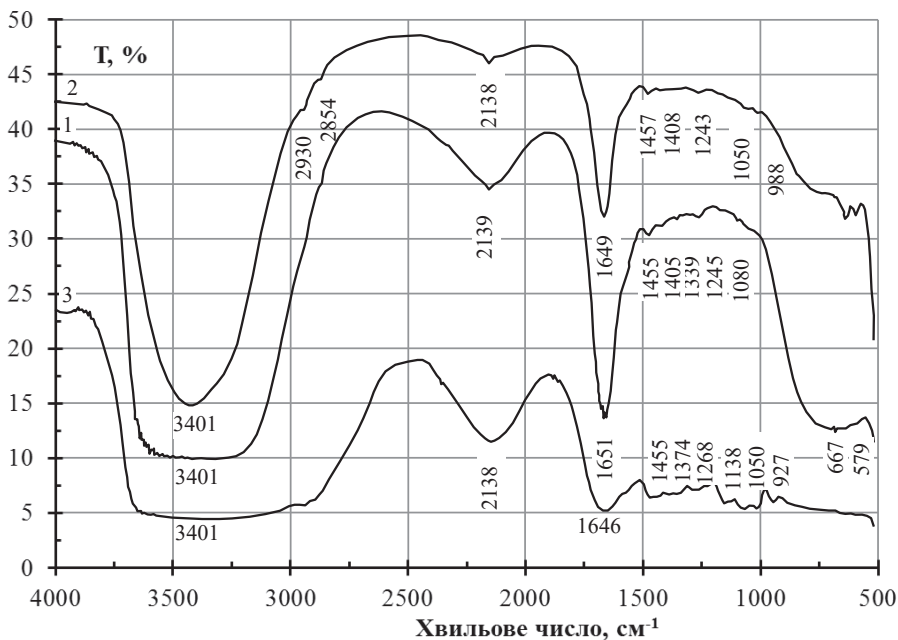


Рис. 2.16. ІЧ спектри поглинання зразків: 1 – желатин; 2 – желатин+ксантан; 3 – желатин+ксантан+цукрова пудра

На ІЧ спектрі розчину желатину (рис. 2.16, зразок 1) відмічено характерні для желатину: широку розмиту смугу за частоти 3600–3100 cm^{-1} , ускладнену перекриванням смуг ($\nu_{\text{N-H}}$ асоційованих груп $-\text{NH}_2$, $\nu_{\text{O-H}}$ асоційованих груп $-\text{OH}$ гідроксипроліну желатину, ν_{OH} , коливання адсорбційно зв'язаної води), поглинання Амід I ($\nu_{\text{C=O}}$) і Амід III ($\delta_{\text{N-H}}$, ν_{CN}) за частот 1651 cm^{-1} і 1245 cm^{-1} відповідно. У діапазоні 1550–1485 cm^{-1} за частот 1537 cm^{-1} , 1491 cm^{-1} спостерігається слабка смуга Амід II ($\delta_{\text{N-H}}$ вторинних амідів, ν_{CN} , $\delta_{\text{NH}_3^+}$ амінокислот, що містять аміногрупи $-\text{NH}_2$, зокрема лізину), зумовлена взаємодією коливань ν_{CN} і $\nu_{\text{C=O}}$. У діапазоні 800–500 cm^{-1} спостерігається смуга поглинання, зумовлена деформаційними позаплощинними в'яловими

коливаннями N–H групи, деформаційними коливаннями групи O=C–N. Відмічена смуга має низькочастотний зсув до 667 см^{-1} відносно характеристичної смуги Амід V (750 см^{-1}) і високочастотний – відносно Амід IV (620 см^{-1}).

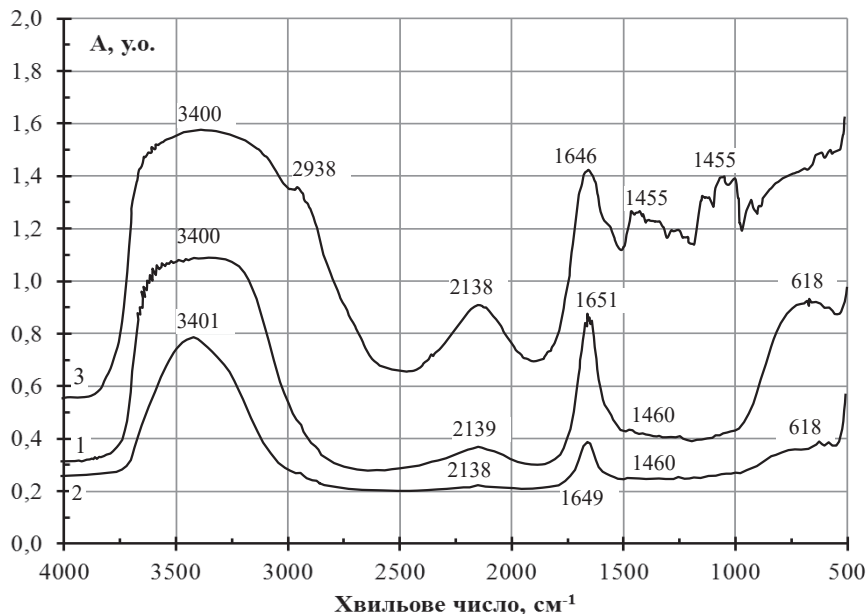


Рис. 2.17. Порівняння інтенсивності ІЧ-смуг поглинання зразків: 1 – желатин; 2 – желатин+ксантан; 3 желатин+ксантан+цукрова пудра

На спектрі зразка желатин+ксантан (рис. 2.16, 2.17 зразок 2) відмічено характерні для желатину і ксантану такі смуги поглинання: широка інтенсивна смуга з максимумом за 3401 см^{-1} , смуги валентних коливань –NH– і –NH₂– зв’язків за $2930, 2854\text{ см}^{-1}$ відповідно.

У спектрі зразка желатин+ксантан (рис. 2.16, 2.17 зразок 2) змінюється профіль смуги валентних коливань N–H груп і відбувається помітне звуження смуги в область високих частот з появою виразного максимуму за 3401 см^{-1} порівняно з желатином за 3400 см^{-1} (рис. 2.16, 2.17 зразок 1). Це пов’язано з

певним підвищенням числа О–Н груп в наслідок уведення ксантану і перерозподілом асоційованих і неасоційованих груп.

Водночас широка смуга поглинання спостерігається для зразків желатин і желатин+ксантан (рис. 2.16, 2.17 зразок 1, 2) в області 2600–1900 cm^{-1} з максимумом за 2139 і 2138 cm^{-1} відповідно. Вона характерна для валентних коливань асоційованих гідроксильних груп і зумовлена утворенням значної кількості міжмолекулярних водневих зв'язків. Смуга поглинання зразка желатин+ксантан має меншу інтенсивність, що свідчить про меншу кількість утворених водневих зв'язків порівняно зі зразком желатину. Порівняно зі спектром води (2150 cm^{-1}) максимумами смуг поглинання зразків зсуваються у бік менших хвильових чисел до 2138 cm^{-1} , 2139 cm^{-1} , зростає інтенсивність смуги, а також інтенсивність її деформаційної складової (ν_{δ} -1645 cm^{-1}).

У діапазоні частот 1800–1500 cm^{-1} (рис. 2.16, зразок 1, 2) спостерігається перекривання характеристичних смуг желатину і ксантану: $\nu_{\text{C=O}}$, $\nu^{\text{as}}_{\text{C-O}}$, δ_{OH} з утворенням широкої смуги з максимумом за 1649 cm^{-1} . З уведенням ксантану (зразок 2) інтенсивність смуги зменшується, що зумовлено, ймовірно, зменшенням карбонільних груп C=O желатину внаслідок їх взаємодії з гідроксильними групами OH – ксантану. Також зазначений максимум поглинання смуги для системи желатин+ксантан має низькочастотний зсув порівняно з максимумом для розчину желатину (1651 cm^{-1}). Високочастотний зсув цієї смуги (1649 cm^{-1}) порівняно з максимумом поглинання, який відповідає деформаційним коливанням води (1645 cm^{-1}), свідчить про наявний перехід від мономерів і димерів молекул води до тримерів і олігомерів.

Більш розмита смуга поглинання в області 1400–950 cm^{-1} може свідчити про підвищення ступеня зв'язаності груп OH в системі желатин+ксантан порівняно з желатином. У діапазоні 800–500 cm^{-1} (рис. 2.16, 2.17) у зразка 2 є дві вузькі смуги слабкої інтенсивності з максимумами за 764 і 576 cm^{-1} .

Результати уведення цукру до водного розчину желатину і ксантану позначаються на всіх розглянутих характеристичних частотах ІЧ-спектру зразка желатин+ксантан+цукрова пудра (рис. 2.16, 2.17, зразок 3). Так, змінюється профіль смуги валентних коливань N–H, O–H груп і відбувається суттєве розширення смуги з максимумом за 3400 см^{-1} в область низьких частот порівняно з желатином (зразок 1) і желатин+ксантаном (зразок 2). Водночас низькочастотно зрушується максимум смуги від 3401 см^{-1} до 3400 см^{-1} (рис. 2.16, зразок 3), відбувається значне посилення інтенсивності смуги, що пов'язано зі збільшенням числа –OH груп за рахунок сахарози, утворених водневих зв'язків, перерозподілом асоційованих і неасоційованих груп.

Спостерігається зростання інтенсивності смуги поглинання валентних коливань C–H зв'язків (2938 см^{-1}). Суттєво зростає інтенсивність смуги поглинання для зразків желатин+ксантан+цукрова пудра в області $2600\text{--}1900\text{ см}^{-1}$ з максимумом за 2138 см^{-1} внаслідок утворення значної кількості міжмолекулярних водневих зв'язків. Уведення цукрової пудри в розчин желатину і ксантану (зразок 3) зумовлює посилення інтенсивності смуги поглинання валентних коливань груп –C=O і зсув максимуму до 1646 см^{-1} (1651 см^{-1} – зразок 1, желатин; 1649 см^{-1} зразок 2, желатин+ксантан). Такий зсув свідчить про електростатичну взаємодію позитивно заряджених амідних груп поліпептиду желатину з негативно зарядженими групами залишків глюкуронової і пірвіноградної кислот ксантану та більш активним утворенням поліелектролітних комплексів желатину і ксантану за присутності цукрової пудри.

Смуга поглинання у зразка 3 (рис. 2.17) з максимумом за 1050 см^{-1} свідчить про валентні коливання C–O глікозидних зв'язків, характерних для сахарози (1072 см^{-1}) і ксантана (1060 см^{-1}).

На рис. 2.18 приведені ІЧ-спектри зразків на основі желатини, ксантану, цукрової пудри (зразок 3), які були структуризовані у присутності трансглютамінази (зразок 4), у тому числі зразок із додаванням борошна (зразок 5).

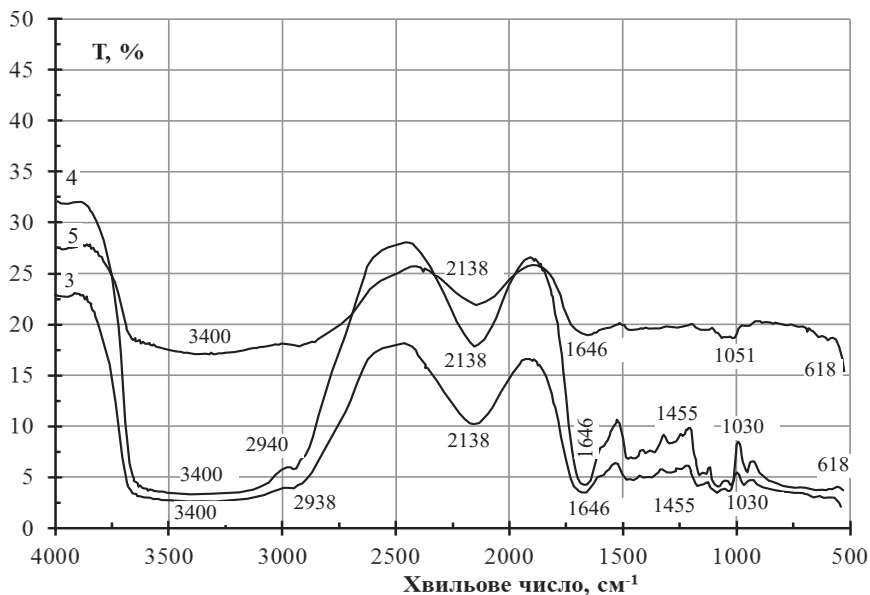


Рис. 2.18. ІЧ спектри поглинання зразків: 3 – желатин+ксантан+цукрова пудра; 4 – желатин+ксантан+цукрова пудра+трансглютаміназа; 5 – желатин+ксантан+ цукрова пудра+трансглютаміназа+борошно

Порівняльний аналіз результатів дослідження зразків з трансглютаміназою (рис. 2.18) показує, що спектр 4 зразка желатин+ксантан+цукрова пудра +трансглютаміназа є аналогічним спектру 3 зразка желатин+ксантан+ цукрова пудра. Профілі цих спектрів, максимуми характеристичних частот практично співпадають. Деякі відмінності смуги поглинання в області 2600–1900 cm^{-1} зразків 4 – з трансглютаміназою – полягають у тому, що смуга має меншу інтенсивність і зсунений низькочастотний максимум (2137 cm^{-1}) порівняно зі зразком 3 (2137 cm^{-1}). Ймовірно під час структуризації за температури 50°C розчину желатини і ксантану в присутності цукрової пудри і трансглютаміназа відбувається утворення

меншої кількості міжмолекулярних водневих зв'язків, ніж в умовах проведення процесу за відсутності трансглютамінази.

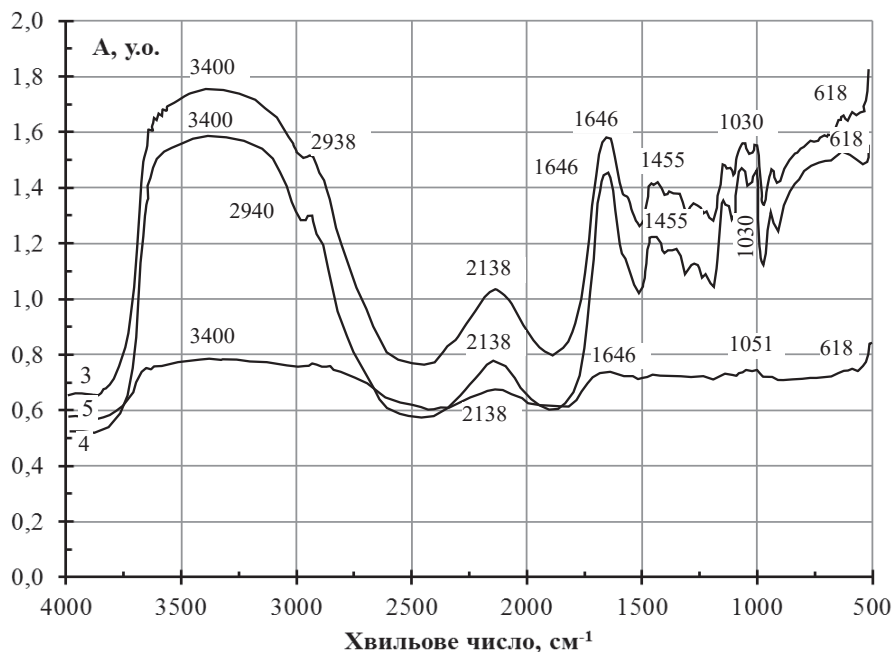


Рис. 2.19. Порівняння інтенсивності ІЧ-смуг поглинання зразків: 3 – желатин+ксантан+цукрова пудра; 4 –желатин+ксантан+цукрова пудра+трансглютаміназа; 5 – желатин+ксантан+ цукрова пудра +трансглютаміназа+борошно

Оскільки трансглютаміназа каталізує реакції ацильного перенесення між γ -карбоксиамідною групою пов'язаних пептидним зв'язком залишків глютаміну (ацил-донор) і різними первинними амінами, в тому числі ϵ -аміногрупою залишків лізину (ацил-акцептор), слід розглянути і порівняти інтенсивність, положення максимумів смуг поглинання Амід I, Амід II, Амід III зразків 3 і 4.

Уведення трансглютамінази (рис. 2.19, зразок 4) порівняно з уведенням цукрової пудри (зразок 3) зумовлює деяке зменшення інтенсивності смуги поглинання з максимумом за 1646 см^{-1} ($\nu_{\text{C=O}}$). Водночас зсуву максимуму поглинання за частоти 1646 см^{-1} не відбувається, що є свідченням відсутності взаємодії зазначених функціональних груп під впливом трансглютамінази.

Широка смуга з декількома максимумами в області 1500–900 cm^{-1} , яка з'являється у зразків 3, 4, може бути свідченням взаємодії певних груп. Так для зразка желатин+ксантан+цукрова пудра+трансглютаміназа (рис. 2.18, зразок 4) спостерігається посилення інтенсивності смуг поглинання: за частот 1455, 1374, 1339 cm^{-1} ($\delta_{\text{O-H}}$ третинних спиртових груп цукрової пудри і ксантану, $\delta_{\text{N-H}}$ аміногруп лізину); Амід III ($\delta_{\text{N-H}}$, ν_{CN}) з максимумом 1262 cm^{-1} ; глікозидних зв'язків сахарози і ксантана за 1047 cm^{-1} (ν_{CO}); первинних аміногруп з максимумом за 999 і 927 cm^{-1} . Смуга Амід III має низькочастотний зсув до 1262 cm^{-1} (зразок 4) порівняно з 1268 cm^{-1} (зразок 3), що є свідченням взаємодії під дією трансглютаміназа аміногруп лізину з ацильними донорами поліелектролітного комплексу желатин–ксантан.

На ІЧ спектрі желатин+ксантан+цукрова пудра+ трансглютаміназа+ борошно (рис. 2.18, 2,19 зразок 5) відмічено широку розмиту смугу за частоти 3600–3100 cm^{-1} , ускладнену перекриванням смуг ($\nu_{\text{N-H}}$ асоційованих груп $-\text{NH}_2$, $\nu_{\text{O-H}}$ асоційованих груп $-\text{OH}$ гідроксипроліну желатину, ν_{OH} , коливання адсорбційно зв'язаної води), поглинання Амід I ($\nu_{\text{C=O}}$) і Амід III ($\delta_{\text{N-H}}$, ν_{CN}) за частот 1646 cm^{-1} і 1268 cm^{-1} відповідно. У діапазоні 800–500 cm^{-1} спостерігається слабка смуга поглинання, зумовлена деформаційними коливаннями групи O=C-N . Відмічена смуга має низькочастотний зсув до 616 cm^{-1} відносно характеристичної смуги Амід IV (620 cm^{-1}).

В ІЧ-спектрі поглинання зразка 5 з борошном (рис. 2.19) за розглянутих характеристичних частот спостерігається зменшення інтенсивності смуг поглинання, які практично повторюють профіль смуг зразків з цукровою пудрою (зразок 3), цукрової пудри і трансглютаміназою (зразок 4). Для зразка 5 з борошном слабка смуга за 2138 cm^{-1} (валентні коливання асоційованих гідроксильних груп) має низькочастотний зсув порівняно зі зразком 4 (2137 cm^{-1}), що зумовлює можливе утворення міжмолекулярних водневих зв'язків із білками клейковинного комплексу борошна.

Смуга поглинання (рис. 2.19, зразок 5) з максимумом за 1051 см^{-1} свідчить про валентні коливання С–О глікозидних зв'язків сахарози і ксантана і має високочастотний зсув порівняно із зразком, що не містить борошна (рис. 2.19, зразок 4). Розмита смуга поглинання в області $1400\text{--}950\text{ см}^{-1}$ може свідчити про підвищення ступеня зв'язаності груп –ОН в системі з борошном.

Іншим напрямком дослідження асоціативних взаємодій в системах гідроколоїдів є вивчення спільної присутності крохмалю, некрохмальних полісахаридів (НПС) і ТГ, що містяться в білково-вуглеводній основі напівфабрикату борошняного збивного випеченого. Оскільки крохмаль є сумішшю двох полімерів, під час додавання ще одного полімеру утворюється система з чотирьох біополімерів - желатину, амілопектину, амілози і ксантану. Комбінування крохмалю з іншими гідроколоїдами, які при розчиненні у воді мають згущуючу дію, дає деякі переваги з точки зору текстури готового продукту. Внесення невеликої кількості НПС при комбінуванні з крохмалем і ТГ сприяє збільшенню в'язкопружних властивостей харчової системи [144-148, 150, 152-154].

Теоретично і експериментально вивчена можливість комбінування крохмалю і НПС в поєднанні з ТГ. Експериментальні дані щодо динамічної в'язкості білково-вуглеводної основи при частковій заміні крохмалю на некрохмальні полісахариди наведені в таблиці 2.10.

В основу вирішення проблеми створення технологій продуктів з використанням желатину покладено комплексний підхід, заснований на теоретичному і експериментальному обґрунтуванні використання НПС, що дозволив спрогнозувати отримання продуктів харчування різної текстури з високими якісними характеристиками. Сутність підходу полягає у вивченні взаємодій гідроколоїдів різної природи, хімічного складу і молекулярної маси, які використовуються в якості стабілізаторів, загусників і структуроутворювачів в багатокомпонентних харчових системах [144].

Для поліпшення властивостей гелів желатину використовують другий біополімер - природний полісахарид, здатний до взаємодії з желатиною на

молекулярному рівні. У даній роботі досліджуються закономірності структуроутворення в системах желатину-полісахарид, тому що властивості утворюються гелів представляє інтерес з наукової і практичної точки зору.

Численні дослідження [148-154] показали, що при введенні іонного полісахариду в низькоконцентрованого гелі желатини їх реологічні властивості змінюються. При цьому сам полісахарид у низькоконцентраційному діапазоні без желатину гелю не утворює. Потім, при $Z \geq 0.1$ межа плинності в дуже вузькому діапазоні масового співвідношення компонентів різко зростає, більш ніж на порядок. Ксантан був доданий в низьких концентраціях, при якому сам полісахарид не виступає в якості агента структурування, але має позитивний синергетичний ефект на драглеутворюючі властивості змішаних систем.

Відомо, що реологічні характеристики драглів, заснованих на желатині, змінюються з часом в результаті процесів структуризації, що відбуваються в драглях нижче температури драглеутворення. Драглеутворення в основі желатинової системи було продемонстрована як кінетично контрольований процес, який триває практично нескінченно після ініціювання. І це робить реологічне дослідження складним. Проте, виявилось можливим визначити час драглеутворення, після якого механічні характеристики збільшуються незначно.

Встановлено механізми утворення різних видів зв'язків між білковими та полісахаридними компонентами рецептурної суміші борошняного збивного напівфабрикату, що сприяють утворенню білково-полісахаридного каркасу випеченого напівфабриката.

Доведено синергізм дії компонентів суміші, а саме, желатин+ксантан, ймовірно, за рахунок зменшення карбонільних груп $-C=O$ желатину внаслідок їх взаємодії з гідроксильними групами $-OH$ – ксантану; желатин+ксантан+цукрова пудра, що характеризується збільшенням за рахунок сахарози числа $-OH$ груп, утворених водневих зв'язків, перерозподілом асоційованих і неасоційованих груп; желатин+ксантан+цукрова пудра+трансглютаміназа, що виникає в наслідок взаємодії аміногруп лізину з ацильними донорами

поліелектролітного комплексу желатин+ксантан під дією трансглютаміназа, ймовірно, за рахунок утворення меншої кількості міжмолекулярних водневих зв'язків, ніж в умовах проведення процесу за відсутності трансглютаміназа; желатин+ ксантан+ цукрова пудра+ трансглютаміназа+ борошно, що вірогідно зумовлює утворення міжмолекулярних водневих зв'язків із білками клейковинного комплексу борошна і підвищення ступеня зв'язаності груп –ОН в системі з борошном.

Таким чином при взаємодії желатину з ксантаном при зовнішніх умовах, що сприяють формуванню гелів, змінюється вторинна структура білка, в тому числі, спостерігається підвищена спіралізація желатину. Зростання частки колагенподібної потрійної спіралі при комплексотворенні в системах желатин-полісахарид може обумовлювати, значне збільшення в'язкопружних властивостей модифікованих драглів.

Отже, раціональним є введення до компонентного складу напівфабрикату збивного таких інгредієнтів, як желатин, ксантан, цукрова пудра, трансглютаміназа, борошно.

2.2 Обґрунтування технологічних параметрів отримання напівфабрикату збивного борошняного

2.2.1 Дослідження впливу ступеня подрібнення компонентів сухої суміші на тривалість розчинення.

Відомо [26, 155], що розчинність ксантану у воді визначається наявністю регулярних бокових ланок з кислотними групуваннями, які викликають взаємне відштовхування окремих молекул, що призводить до збільшення їх гідратації. У зв'язку з цим ксантани розчиняються у воді вже при кімнатній температурі, крім того, гарно розчиняються в гарячому та холодному молоці, в розчинах солі та цукру. Камідь ксантану має білий або кремовий колір, виробляється в порошкоподібній формі. Вона розчиняється як у холодній, так і в гарячій воді, але не розчиняється в більшості органічних розчинників.

Відомо [26- 28, 156], що желатин набухає у холодній воді і розчиняється при нагріванні вище 50 °С. Для визначення тривалості розчинення (рис. 2.20-2.23) досліджували розчинність композиції желатин-ксантан з різним ступенем дисперсності за швидкості мішалки 20×60 с⁻¹.

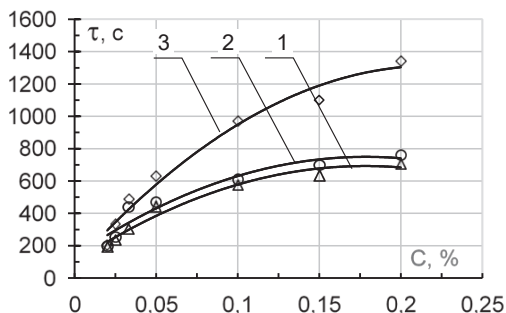


Рис. 2.20. Вплив ксантану на тривалість розчинення желатину 3,0±0,5% з різним розміром часток, мм: 1-0,1; 2-0,2; 3-0,3, за температури 60±1°С

Встановлено, що за температури 60±1°С збільшення розмірів часток ксантану від 0,2 до 0,3 мм підвищує тривалість розчинення на 520±5 с.

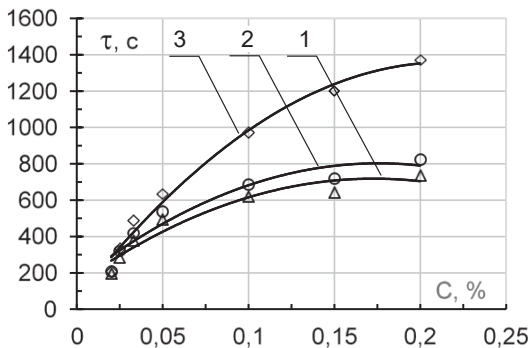


Рис. 2.21. Вплив ксантану на тривалість розчинення желатину 3,0±0,5% з різним розміром часток, мм: 1-0,1; 2-0,2; 3-0,3, за температури 50±1°С

З аналізу рис. 2.21 видно, що зменшення температури до 50±1°С за розмірів часток ксантану від 0,3 мм підвищує тривалість розчинення на 600±5 с.

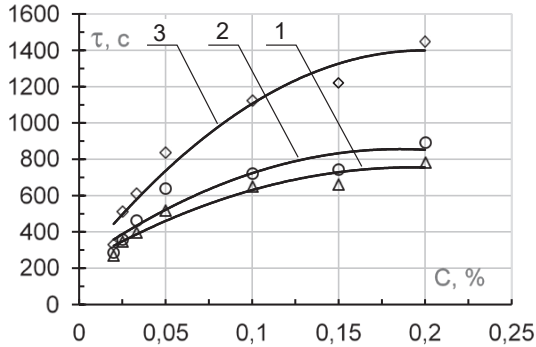


Рис. 2.22. Вплив ксантану на тривалість розчинення желатину $3,0 \pm 0,5\%$ з різним розміром часток, мм: 1-0,1; 2-0,2; 3-0,3, за температури $40 \pm 1^\circ\text{C}$

Для визначення раціональної температури проводили дослідження тривалості розчинення суміші желатину $3,0 \pm 0,5\%$ ксантану $0,2 \pm 0,05\%$ з різним ступенем дисперсності (рис. 2.23) за швидкості мішалки $20 \times 60 \text{ c}^{-1}$.

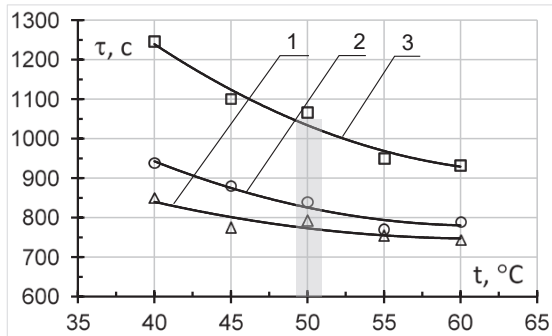


Рис. 2.23. Вплив температури на тривалість розчинення суміші желатину $3,0 \pm 0,5\%$ ксантану $0,2 \pm 0,05\%$ з різним розміром часток, мм: 1-0,1; 2-0,2; 3-0,3

Експериментально доведено раціональне значення розмірів часток рецептурних компонентів сухої суміші та температури розчинення. Необхідні умови швидкого розчинення сухої суміші та отримання розчину відповідної якості забезпечується розміром часток $0,2 \pm 0,05 \text{ мм}$ (рис. 2.20-2.23) інгредієнтів:

желатину за концентрації $3,0 \pm 0,2\%$ та ксантану за концентрації $0,2 \pm 0,05\%$ за температури розчинення $50,0 \pm 2,0^\circ\text{C}$.

2.2.2 Дослідження впливу температури на процес піноутворення системи «вода-желатин-ксантан» з модифікацією ферментом транглютаміназа.

Здатність до утворення та стабілізації пін на основі розчинів желатину пов'язані з його поверхнево-активними властивостями та залежать від молекулярної структури. Поверхневі властивості желатину засновані на тому, що бічні ланцюги желатину, як і всі білки, мають заряджені групи. При цьому певні частини колагенової послідовності містять або гідрофільні, або гідрофобні амінокислоти. Як гідрофобні, так і гідрофільні частини мають тенденцію мігрувати до поверхонь, що знижує поверхневий натяг. Це сприяє утворенню піни, а також стабілізує поверхню межі розділу фаз рідина/повітря шляхом утворення зарядженої плівки навколо компонентів дисперсної фази [16, 156, 157].

При цьому стабілізація піни на основі розчинів желатину відбувається внаслідок збільшення в'язкості водної фази, яка при цьому істотно залежить від температури. Отримана структура також може бути додатково посилена шляхом драглеутворення [154, 156, 157], яке настає у желатину нижче температури в межах $17 \dots 20^\circ\text{C}$.

Таким чином, важливими критеріями при виборі відповідного типу желатину є розподіл заряду і міцність гелю желатину. Важливість останнього показника пов'язана з тим, що чим вище міцність, тим більш міцну драглеподібну захисну оболонку навколо бульбашок повітря при однаковій температурі і концентрації утворює желатин.

Слід зазначити, що під час процесу збивання температура розчину повинна залишатися вище температури застигання желатину. Це пов'язано з тим, що плівки, які утворюються навколо повітряних бульбашок, при драглеутворенні будуть необоротно руйнуватися під час механічної дії.

Як зазначено в літературі при виробництві збитих виробів колір розчину

желатину не має особливого значення, оскільки при збиванні навіть темні види желатину при низьких концентраціях дають білу піну. Прозорість гелю в такому застосуванні також не має значення. Багато виробників віддають перевагу желатину з високою міцністю в Блумах (high-Bloom) для виробництва збитих виробів. У міру того як час застигання зменшується, аеровані вироби швидко досягають необхідної міцності [155-157].

У багатьох областях застосування піноутворення розчину желатину є нормованим параметром. У літературі зазначено, що для розчинів желатину немає стандартної методики визначення піноутворюючої здатності, а більшість тестів є специфічними до застосування [155-157]. За кордоном для визначення піноутворюючої здатності розчинів желатину найчастіше використовують стандартизований метод збивання перфорованим диском. За цього способу піну отримують шляхом збивання 200 мл 5% розчину желатину за температури 35°C прикріпленим до стрижня перфорованим диском в мірному скляному циліндрі. Об'єм піни визначається після 40 ударів протягом 40 с, а стабільність – через 10 і 20 хв.

Згідно даних [155-157] існує основне правило, яке регулює вибір найбільш придатного типу желатину для виробництва збитих виробів: желатин типу А має кращу піноутворюючу здатність та стабільність піни, ніж желатин типу В.

Результати дослідження динаміки піноутворюючої здатності та кількості залишкового розчину желатину після збивання наведені на рис. 2.24-2.27. Аналізом експериментальних даних встановлено, що загальною тенденцією для досліджуваних модельних систем є повільне збільшення піноутворюючої здатності та зниження кількості залишкового розчину під час збивання протягом $(1...8) \times 60$ с та стабілізації цих показників протягом $(8...10) \times 60$ с. Це є підґрунтям для рекомендації зазначеної тривалості як раціональної. При цьому абсолютні значення як піноутворюючої здатності, так і кількості залишкового розчину є наближеними один до одного для модельних розчинів із

концентрацією желатину 3...5%, а зниження концентрації желатину в межах 1...2% призводить до відповідного зменшення цього показника.

При цьому істотного впливу на піноутворюючу здатність розчинів желатину температура збивання не чинить. Встановлено (рис. 2.24), що за температури збивання $50\pm 1^\circ\text{C}$ піноутворююча здатність розчинів із концентрацією желатину 3...5% протягом $(1...8)\times 60$ с лежить в межах $(210\pm 6)\%... (310\pm 9)\%$, а для розчинів із концентрацією желатину 1...2% – $(170\pm 5)\%... (300\pm 9)\%$.

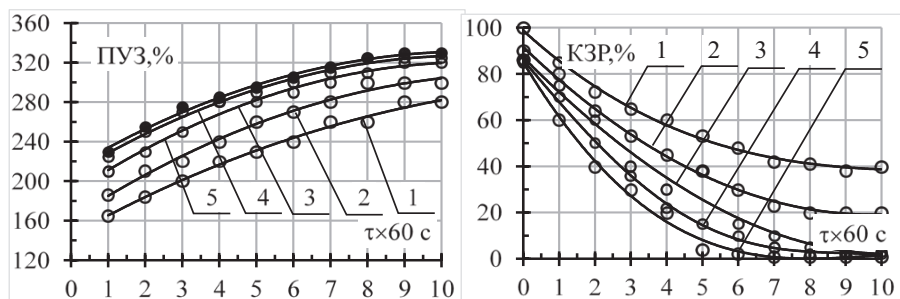


Рис. 2.24. Динаміка (а) – піноутворюючої здатності (ПУЗ, %) розчинів та (б) – кількості залишкового розчину (КЗР, %) від тривалості збивання (τ , $\times 60$ с) за температури $50\pm 1^\circ\text{C}$ та концентрації желатину: 1 – 1%, 2 – 2%, 3 – 3%, 4 – 4%, 5 – 5%

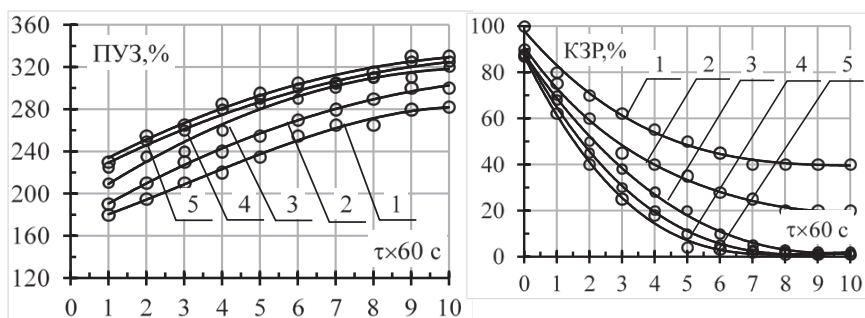


Рис. 2.25 Динаміка (а) – піноутворюючої здатності (ПУЗ, %) розчинів та (б) – кількості залишкового розчину (КЗР, %) від тривалості збивання (τ , $\times 60$ с) за температури $40\pm 1^\circ\text{C}$ та концентрації желатину: 1 – 1%, 2 – 2%, 3 – 3%, 4 – 4%, 5 – 5%

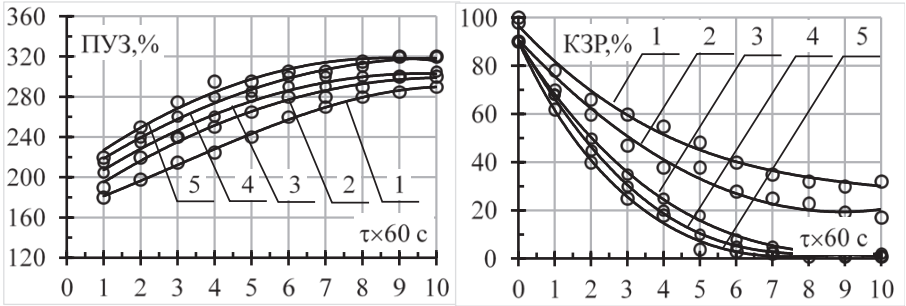


Рис. 2.26 Динаміка (а) – піноутворюючої здатності (ПУЗ, %) розчинів та (б) – кількості залишкового розчину (КЗР, %) від тривалості збивання (τ , $\times 60$ с) за температури $30 \pm 1^\circ\text{C}$ та концентрації желатину: 1 – 1%, 2 – 2%, 3 – 3%, 4 – 4%, 5 – 5%

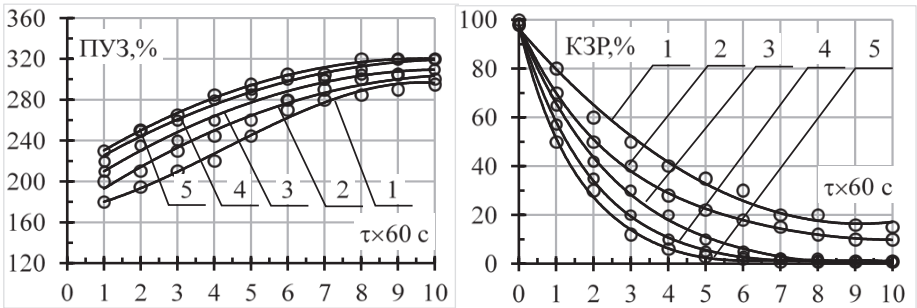


Рис. 2.27. Динаміка (а) – піноутворюючої здатності (ПУЗ, %) розчинів та (б) – кількості залишкового розчину (КЗР, %) від тривалості збивання (τ , $\times 60$ с) за температури $20 \pm 1^\circ\text{C}$ та концентрації желатину: 1 – 1%, 2 – 2%, 3 – 3%, 4 – 4%, 5 – 5%

Кількість залишкового розчину желатину під час його збивання за розглянутих параметрів повільно знижується, який повністю зникає через 5×60 с, 7×60 с та 9×60 с для розчинів із концентрацією 5%, 4% та 3% відповідно. В модельних розчинах із концентрацією желатину 2% та 1% після збивання протягом $(8 \dots 10) \times 60$ с залишається $20 \pm 1 \text{ см}^3$ та $40 \pm 2 \text{ см}^3$ відповідно.

Аналізом даних (рис. 2.24-2.27, а) встановлено, що за температури збивання $40 \pm 1^\circ\text{C}$, $30 \pm 1^\circ\text{C}$ та $20 \pm 1^\circ\text{C}$ піноутворююча здатність розчинів із концентрацією желатину 3...5% протягом $(1 \dots 8) \times 60$ с лежить в аналогічних межах (рис. 2.24, а). Це дозволяє зробити висновки, що температура збивання у межах $20 \dots 50^\circ\text{C}$ не

впливає на піноутворюючу здатність досліджуваних модельних розчинів желатину.

Кількість залишкового розчину желатину за розглянутих параметрів (рис. 2.24-2.27, б) також повільно знижується та зникає через 5×60 с, 6×60 с та 7×60 с під час його збивання за температури $40 \pm 1^\circ\text{C}$ $30 \pm 1^\circ\text{C}$ та через 4×60 с, 5×60 с та 6×60 с – за температури $20 \pm 1^\circ\text{C}$ для розчинів із концентрацією 5%, 4% та 3% відповідно.

Для розчинів із концентрацією желатину 1...2% піноутворююча здатність складає $(180 \pm 5)\%$ - $(290 \dots 300) \pm 9\%$ за температури збивання в межах $(20 \dots 40) \pm 1^\circ\text{C}$. При цьому за концентрації желатину 2% для зазначених параметрів збивання (рис. 2.24-2.27, б) кількість залишкового розчину складає $(5,0 \pm 0,3 \dots 20 \pm 1)$ см³, а для концентрації 1% – $(10,0 \pm 0,5 \dots 40 \pm 2)$ см³. Слід зауважити, що в межах встановлених значень цей показник зменшується зі зниженням температури збивання.

Наявність розчину желатину за його концентрації 1% та 2% після збивання модельних систем може свідчити про недостатню концентрацію білка та отримання кінетично нестійкої піноподібної системи.

Проведені дослідження дозволили встановити закономірності впливу температури та тривалості збивання, концентрації желатину німецької компанії Gelita із міцністю гелю 240 bloom на піноутворюючу здатність його розчинів. Було визначено, що для досліджених температур $(20 \dots 50) \pm 1^\circ\text{C}$ максимальною піноутворюючою здатністю – $(300 \pm 9 \dots 320 \pm 9)\%$ володіють модельні системи «вода-желатин» з концентрацією желатину 3...5%. Для низьких концентрацій желатину 1...2% цей показник становить $(280 \pm 8 \dots 300 \pm 9)\%$. Встановлено, що для забезпечення максимального об'єму піни необхідним є збивання протягом $(8 \dots 10) \times 60$ с.

Визначено вплив зазначених параметрів на кількість залишкового розчину як результат нестійкості піноподібних систем після збивання. Отримані дані свідчать, що при збиванні модельних систем «вода-желатин» з концентрацією желатину 1% залишається $(10,5 \pm 0,5 \dots 40 \pm 2)\%$ розчину, 2% – $(5,0 \pm 0,3 \dots 20 \pm 1)\%$,

а після збивання модельних систем концентрацією желатину 3...5% протягом $(8...10) \times 60$ с розчини не залишаються.

2.3 Обґрунтування параметрів теплової обробки напівфабрикату збивного борошняного

2.3.1 Дослідження впливу синергетичної взаємодії ксантану з желатином на величину втрат маси напівфабрикату.

З метою визначення динаміки втрат вологи, що має різні форми зв'язку з білком [158–164] під час теплової обробки в основі модельної системи з різним вмістом рецептурних інгредієнтів та в модельній системі напівфабрикату збивного, борошняного за допомогою експериментальних кривих здійснювали оцінку маси кінетично нерівноцінних молекул води методом термогравиметрії (DTG) і диференціального термічного аналізу (DTA) за неізотермічних умов (рис. 2.28).

Під час дослідження впливу рецептурних інгредієнтів на вологотримувальну здатність модельної системи напівфабрикату борошняного збивного встановлено, що процес розкладання усіх зразків відбувається по різному.

Розкладання першого зразка (желатин) і другого зразка (желатин+ксантан) (рис. 2.28 а, б) відбувалось в дві стадії в температурних діапазонах відповідно $1 - 80 \pm 3$ °C, $2 - 108 \pm 3$ °C, та $1 - 80 \pm 3$ °C, $2 - 114 \pm 3$ °C.

На кривих DTA (рис. 2.28, а, б) зафіксовано ендотермічні реакції, що проходять з інтенсивним поглинанням тепла. На кривих DTA (рис. 2.28, б) процес термічними реакціями не супроводжується [158–164]. Кожна стадія характеризує процес втрати маси, який відбувається в основі модельної системи та в модельній системі напівфабрикату борошняного збивного під дією температури.

Перша стадія характеризує початок процесу видалення іммобілізаційної вологи, яка утримується каркасом напівфабрикату борошняного збивного,

друга характеризує процес інтенсивного видалення адсорбційно і осмотично зв'язаної вологи, третя – завершення процесу інтенсивного видалення вологи з частковим видаленням хімічно зв'язаної вологи.

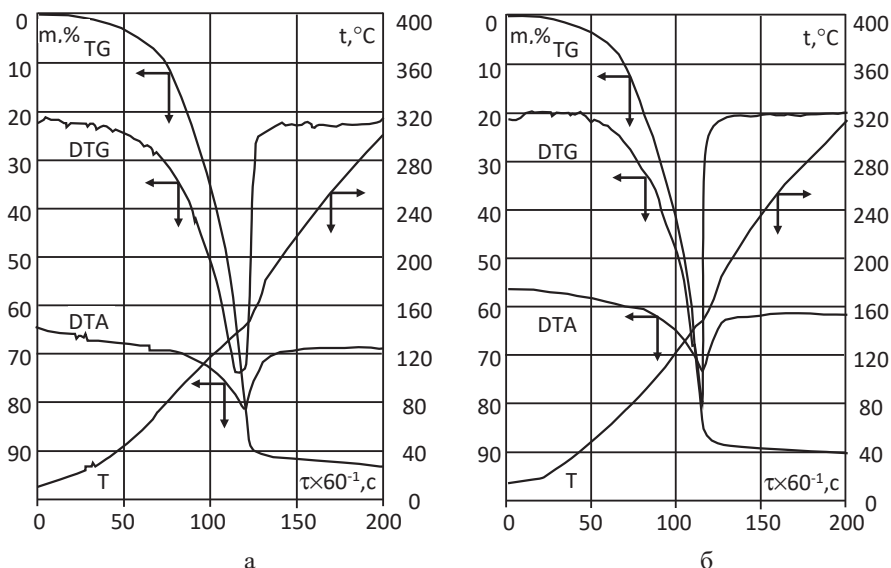


Рис. 2.28. Дериватограми основи модельної системи напівфабрикату збивного за вмісту: а– желатину 3 г і води 97 г; б –желатину 3 г, ксантану 0,2 г і води 96,8 г

З характеру кривих TG дериватограм (рис. 2.28, а, б) видно, що в температурному діапазоні 35...80°C (діапазон I – початок поліморфних перетворень білка) відбувається інтенсивне видалення вільної не зв'язаної або механічно зв'язаної води. Втрати води основою модельної системи напівфабрикату борошняного збивного (зразки 1, 2) відповідно складають 12,5±0,5 %; 10,0±0,3 %.

В температурному діапазоні 80...120 °C (діапазон II – початок теплової обробки) відбувається видалення механічно зв'язаної води, яка знаходиться в комірках білокмістких компонентів, та осмотично зв'язаної води під час процесу збивання та формування тістової заготовки. Втрати води (зразки 1, 2)

відповідно складають $65,5 \pm 0,2\%$; $32,0 \pm 0,2\%$. Вищу гідратаційну здатність має модельна система, що містить ксантан (зразок 2).

В температурному діапазоні $120 \dots 160$ °С (діапазон III – основний діапазон теплової обробки) втрати води (зразки 1, 2) відповідно складають $95,5 \pm 0,2\%$; $80,0 \pm 0,2\%$. Зменшення втрат вологи на $15,5\%$ (зразок 2) відбувається в наслідок синергетичної взаємодії ксантану з желатином очевидно, за рахунок перерозподілу асоційованих і неасоційованих гідроксильних груп, що сприяє утворенню значної кількості міжмолекулярних водневих зв'язків.

2.3.2 Дослідження каталітичного впливу ферменту трансглютаміназа в системі желатин-ксантан на величину втрат маси напівфабрикату.

На кривих DTA (рис. 2.29, а) зафіксовано ендотермічні реакції, що відбуваються з інтенсивним поглинанням тепла. На кривих DTA (рис. 2.29, б) процес термічними реакціями не супроводжується [158–164].

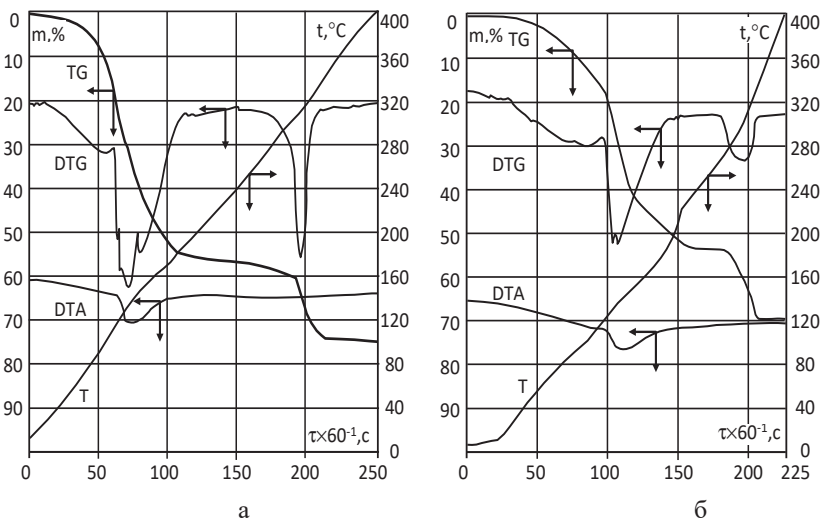


Рис. 2.29. Дериватограми основи модельної системи напівфабрикату збивного за вмісту: а – 3 г желатину + 0,2 г ксантану + 30 г цукрової пудри + 66,8 г води; б – 3 г желатину + 0,2 г ксантану + 0,09 г трансглютаміназа + 30 г цукрової пудри + 66,6 г води

Розкладання третього зразка (желатин+ксантан+цукрова пудра) і четвертого зразка (желатин+ксантан+цукрова пудра+трансглютаміназа) (рис. 2.29 а, б) проходить в три стадії в температурних діапазонах 1 –85±3 °С, 2 –120±3 °С, 3 –124±3 °С.

Аналізом кривих TG дериватограм (рис. 2.29 а, б) встановлено, що в температурному діапазоні 35...80°С (діапазон I –початок поліморфних перетворень білка) втрати води основою модельної системи напівфабрикату борошняного збивного (зразки 3, 4) відповідно складають 8,5±0,2 %; 6,5±0,2 %.

В температурному діапазоні 80...120 °С (діапазон II – початок теплової обробки) втрати води (зразки 3, 4) відповідно складають 25,5±0,2%; 23,0±0,2%.

В температурному діапазоні 120...160 °С (діапазон III – основний діапазон теплової обробки) втрати води (зразки 3, 4) відповідно складають 58,5±0,2%; 49,0±0,2%. Тобто внесення в основу модельної системи напівфабрикату борошняного збивного цукрової пудри та ферменту трансглютаміназа сприяє підвищенню гідратаційної здатності відповідно на 21,5±0,2% та на 31,0±0,2% відносно зразка 2 (система желатин-ксантан). Вищу гідратаційну здатність має модельна система, що містить фермент трансглютаміназа (зразок 4).

З аналізу кривих TG дериватограм напівфабрикату борошняного збивного (рис. 2.25 а, б) встановлено, що зменшення втрат вологи відбувається імовірно в наслідок каталітичного впливу ферменту трансглютаміназа в системі желатин-ксантан на взаємодію аміногруп лізину з γ -карбоксамідною групою пов'язаних пептидним зв'язком залишків глютаміну.

2.3.3 Дослідження втрати маси напівфабрикату борошняного збивного за умов програмованої зміни температури та визначення раціонального температурного діапазону випічки.

На кривих ДТА (рис. 2.30) процес втрати маси модельної системи напівфабрикату борошняного збивного термічними реакціями не супроводжується [158–164]. Розкладання п'ятого зразка (желатин+ксантан+

цукрова пудра+трансглютаміназа+борошно) відбувається в три стадії в температурних діапазонах 1–100±3 °С, 2 – 140±3 °С, 3 – 200±3 °С.

Аналізом кривих TG дериватограми (рис. 2.30) встановлено, що з усіх досліджуваних зразків модельної системи напівфабрикату борошняного збивного втрати води у зразку 5 найменші. В температурному діапазоні 35...80°C (діапазон I –початок поліморфних перетворень білка) втрати води складають 5,0±0,1 %.

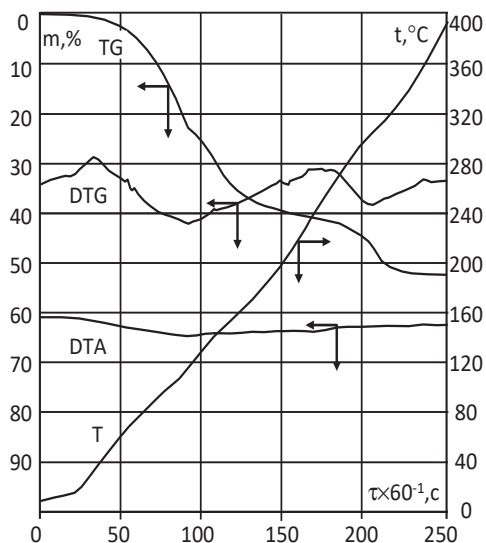


Рис. 2.30 Дериватограма модельної системи напівфабрикату збивного за вмісту: 3 г желатину + 0,2 г ксантану + 0,09 г трансглютаміназа + 30 г цукрової пудри + 66,6 г води +60 г борошна

В температурному діапазоні 80...120 °С (діапазон II – початок теплової обробки) втрати води (зразок 5) складають 21,0±0,2 %.

В температурному діапазоні 120...160 °С (діапазон III – основний діапазон теплової обробки - випічки) втрати води (зразок 5) складають 41,0±0,2 %. Тобто, внесення в модельну систему напівфабрикату збивного борошна відповідної концентрації сприяє суттєвому зменшенню втрат вологи,

імовірно, в наслідок підвищення ступеня зв'язаності груп $-OH$ з білками борошна, що зумовлює утворення міжмолекулярних водневих зв'язків із білками клейковинного комплексу. Крім того, температуру $150 \pm 5^\circ C$, яка входить до даного температурного діапазону, можна вважати раціональною для випічки напівфабрикату борошняного збивного.

2.3.4 Дослідження впливу рецептурних компонентів напівфабрикату борошняного збивного на механізм видалення вологи.

Для одержання даних про механізм видалення вологи по кривій TG розраховували ступінь змін маси α (рис. 2.27) і будували залежність $|\lg\alpha|$ від величини зворотної температури $1000/K$ для інтервалу $328 \dots 378 K$, тому що саме в цьому діапазоні найбільш інтенсивно проходять процеси дегідратації модельної системи напівфабрикату борошняного збивного про що свідчать ендоефекти на графіках дериватограм (рис. 2.31-2.32) [158-160].

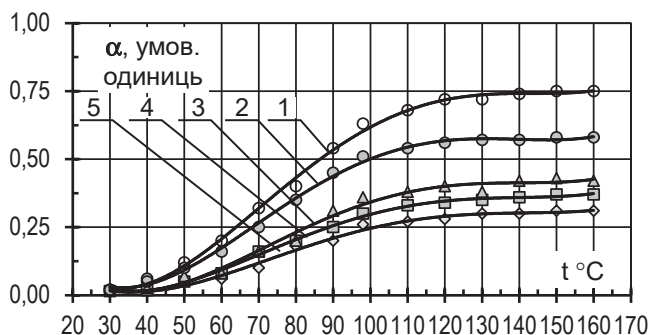


Рис. 2.31. Залежність ступеню змін маси в модельній системі напівфабрикату збивного від температури за вмісту рецептурних компонентів: 1 – желатину 3 г і 97 г води; 2 – желатину 3 г, ксантану 0,2 г і 96,8 г води; 3 – 3 г желатину + 0,2 г ксантану + 30 г цукрової пудри + 66,8 г води; 4 – 3 г желатину + 0,2 г ксантану + 0,09 г трансклятаміназа + 30 г цукрової пудри + 66,6 г води; 5 – 3 г желатину + 0,2 г ксантану + 0,09 г трансклятаміназа + 30 г цукрової пудри + 66,6 г води + 60 г борошна

Відомо, що швидкість втрати маси (крива DTG) відповідає процесу дегідратації, тому під час теплової обробки (випічки) напівфабрикату збивного використовували цей чинник для одержання залежності зміни маси від

температури. Для цього на кривій TG за постійних температурних інтервалів у 10 °С знаходили зміну маси Δm_1 зразка напівфабрикату борошняного збивного, що відповідає кількості вологи, яка випарувалася під дією температурного впливу [158, 159, 163, 165].

Ступінь зміни маси α (рис. 2.31) розраховували як відношення Δm_1 до загальної кількості вологи, яка міститься в основі модельної системи (зразки 1, 2, 3, 4) і в модельній системі напівфабрикату борошняного збивного (зразок 5) і видаленої наприкінці процесу дегідратації (крива TG).

Криві TG, отримані у координатах $\alpha-t$ (рис. 2.32), мають S-подібний вигляд, що характеризує складні форми взаємодії води і сухих речовин основи та модельної системи напівфабрикату борошняного збивного і передбачає різницю у швидкості вивільнення води на різних ділянках кривих. Отже, криві залежності зміни маси модельної системи напівфабрикату борошняного збивного від температури дозволяють вивчити енергію активації води, кінетику нерівноцінних форм зв'язку вологи і відбивають різну швидкість дегідратації готового продукту [158-160, 163, 165].

На першій стадії, за температури 303...323 К (рис. 2.32 ділянка AB), відбувається видалення «вільної» або механічно зв'язаної (капілярної) вологи, що має невисоку енергію зв'язку білком основи і напівфабрикату борошняного збивного.

Спочатку вивільнюється вода, що утворює структурну сітку молекул води, зв'язаних між собою водневими зв'язками. При цьому десорбція капілярної води характеризується більш низькими величинами енергії активації порівняно з водою, яка вивільнюється на другій стадії процесу [158-160]. На другій стадії (ділянка BC), у процесі нагрівання за температури 323...378 К частина осмотично та імобілізаційно зв'язаної вологи, що утримується в замкнутих осередках білкових міцел напівфабрикату збивного, вивільнюється внаслідок розгортання їхніх поліпептидних ланцюгів у результаті порушення міцелярних і гідрофобних взаємодій білків і вуглеводів з водою [158-160].

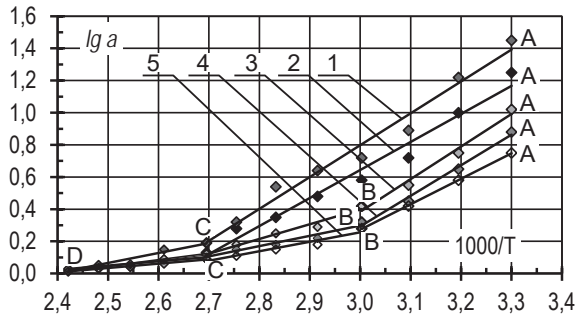


Рис. 2.32. Залежність логарифма ступеню змін маси в модельній системі напівфабрикату збивного від температури за вмісту рецептурних компонентів: 1 – желатину 3 г і 97 г води; 2 – желатину 3 г, ксантану 0,2 г і 96,8 г води; 3 – 3 г желатину + 0,2 г ксантану + 30 г цукрової пудри + 66,8 г води; 4 – 3 г желатину + 0,2 г ксантану + 0,09 г трансглутаміназа + 30 г цукрової пудри + 66,6 г води; 5 – 3 г желатину + 0,2 г ксантану + 0,09 г трансглутаміназа + 30 г цукрової пудри + 66,6 г води + 60 г борошна

В інтервалі температур 378...416 К на третій стадії (ділянка CD) починається вивільнення частини – 41% слабо зв'язаної адсорбційної вологи полімолекулярних шарів усередині часток модельної системи напівфабрикату збивного з виділенням газоподібних фракцій. Вода, що при цьому виділяється, утворює кілька наступних шарів молекул, більш міцно зв'язаних з білком модельної системи напівфабрикату борошняного збивного.

2.4 Дослідження форм звязку вологи в модельних системах напівфабрикату збивного борошняного під час заморожування-нагрівання методом термограм диференціально-сканувальної калориметрії (ДСК)

Вода – це важлива речовина у харчових продуктах, оскільки обумовлює їх реологічні характеристики. Ступінь взаємодії води з хімічними компонентами і вплив на консистенцію харчового продукту визначається як її термодинамічним станом, так званим хімічним потенціалом (або активністю води), так і її кількістю в продукті – вологовмістом. Проте масова частка вологи вказує на кількість вологи, але не характеризує її відношення до хімічних, біохімічних і мікробіологічних змін

в продукті. Вода в харчових продуктах завдяки своїм структурним зв'язкам характеризується різними властивостями, доступністю, що дозволяє принципово розділити її за цими ознаками на вільну та зв'язану [165, 166].

Тому в технології продуктів харчування поряд з такою характеристикою як загальна вологість виділяють не менш важливі показники зв'язаної вологи, вологоутримуючої та вологовиділяючої здатності. Одним з впливових чинників у забезпеченні стійкості гелевої системи під час зберігання є співвідношення вільної і зв'язаної вологи, що часто є домінуючим показником, який характеризує технологічну, товарознавчу та мікробіальну стабільність продуктів [165, 166].

Великого наукового інтересу набувають дослідження форм зв'язку вологи в модельних системах напівфабрикату збивного борошняного, що містять желатин, ксантан і фермент трансглютаміназу в діапазоні температур від $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $240\text{ }^{\circ}\text{C}$ та можуть суттєво вплинути на кінцеву якість готового продукту. Ці дослідження здійснювали за допомогою методу диференціально-сканувальної калориметрії [164, 167, 168].

Об'єктами дослідження форм зв'язку вологи були наступні модельні системи напівфабрикату збивного борошняного: желатин (3%) та вода (92%); желатин (3%), ксантан (0,2%) та вода (96,8%); желатин (3%), ксантан (0,2%), цукрова пудра (30%) та вода (66,8); желатин (3%), ксантан (0,2%), цукрова пудра (30%), трансглютаміназа (0,09%) та вода (66,71%); желатин (3%), ксантан (0,2%), цукрова пудра (30%), трансглютаміназа (0,09%), борошно (60%) та вода (6,71%).

Термограми досліджуваних модельних систем (рис. 2.33-2.37) отримували за умови нагрівання до температури 240°C після заморожування до -30°C . ДСК-термограми побудовані в наступних координатах: по осі абсцис – температура в градусах Цельсія t ; по осі ординат j_q – тепловий потік пронормований на максимальну амплітуду, яка досягається під час плавлення відповідного зразка. Нормування теплового потоку проводилось з метою встановлення більш наочного вигляду ДСК-термограм для їх порівняння між собою.

Для детального аналізу особливостей нагрівання та точного встановлення діапазонів температур, за яких мають місце піки поглинання теплоти в кожній з модельних систем напівфабрикату збивного борошняного в дослідженнях (рис. 2.33-2.37) наведено ДСК-термограми разом з інтегральним значенням теплового потоку.

Значення температур, за яких має місце початок піку поглинання теплоти досліджуваним зразком, відповідають початку стрибкоподібного зростання інтегральної кривої. Відповідно, кінцева температура піку поглинання визначалася за точкою, яка відповідає закінченню стрибкоподібного зростання тієї ж інтегральної кривої.

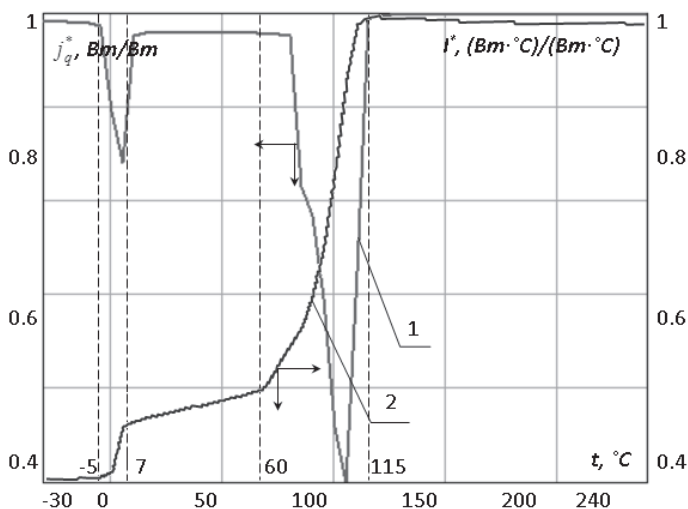


Рис. 2.33. Залежність теплового потоку (1) та його інтегрального значення (2) від температури за вмісту модельної системи: желатин (3%), вода (97%)

Відомо [165, 166], що для вільної води фазовий перехід із твердого стану до рідкого відбувається за температури 0°C. З аналізу ДСК-термограм (рис. 2.33) видно, що фазовий перехід системної рідини модельної системи із твердого та твердоаморфного стану в рідкий відбувається в діапазоні температур від -5°C до 7°C. Для модельної системи напівфабрикату збивного

борошняного, яка містить желатин встановлено, що діапазон температур, за якого відбувається фазовий перехід I роду (перехід системної води із рідкого стану в газоподібний) знаходиться в межах від 60°C до 115°C. Очевидно, причиною цього є певна інерційність методу, а також наявність різних форм зв'язку системної води з сухими речовинами модельної системи, що свідчить про утворення первинної гідратної структури й зв'язування вологи.

В модельній системі напівфабрикату збивного борошняного, яка містить желатин і ксантан (рис.2.34), ксантан використовується як зшиваючий агент з утворенням потрійних спіралей, вірогідно в наслідок ковалентного зв'язування між собою двох полімерів, що призводить до більш інтенсивного структурування модельної системи та зменшення рухливості молекул води.

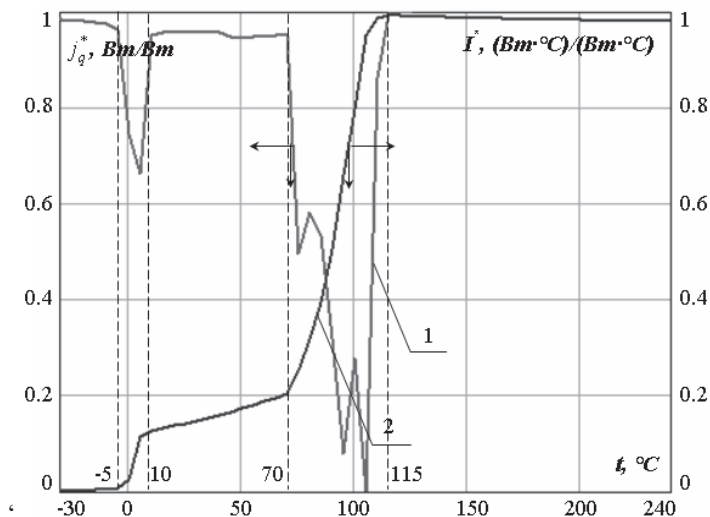


Рис. 2.34. Залежність теплового потоку (1) та його інтегрального значення (2) від температури за вмісту модельної системи: желатин (3%), ксантан (0,2%), вода (96,8%)

З аналізу ДСК-термограм (рис. 2.34) видно, що фазовий перехід вільної води модельної системи із твердого та твердоаморфного стану в рідкий відбувається в діапазоні температур від -5°C до 10°C. Встановлено, що діапазон температур для даної модельної системи, за якого відбувається фазовий перехід

I роду (перехід системної води із рідкого стану в газоподібний) знаходиться в межах від 70°C до 115°C. Очевидно, взаємодія ксантану з желатином, сприяючи утворенню значної кількості міжмолекулярних водневих зв'язків, призводить до зменшення кількості вільної води в системі.

При нагріванні в діапазоні $t=75...90^\circ\text{C}$ спостерігається два ендотермічних переходи, пов'язаних з розгортанням макромолекул. При подальшому нагріванні в діапазоні температур 80...110° C спостерігався екзотермічний перехід з виділенням теплоти набрякання. Це явище, очевидно, викликане внутрішньо-структурним етапом набрякання системи, при якому, зі збільшенням коефіцієнта дифузії, молекули води починають проникати усередину макромолекул, утворюючи нові внутрішньо-структурні зв'язки.

Адсорбування води модельної системи напівфабрикату збивного борошняного молекулами ксантану з утворенням мережі з потрійних спіралей, взаємодія з молекулами желатину, а також внесення в систему цукрової пудри підвищує її гідратаційну здатність (рис.2.35).

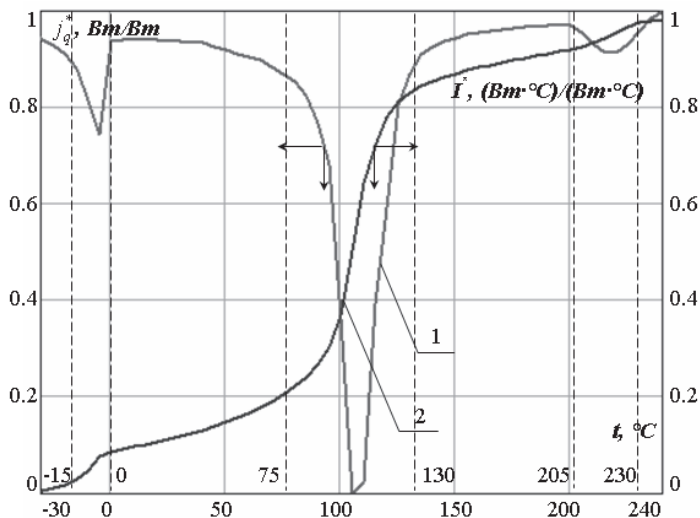


Рис. 2.35. Залежність теплового потоку (1) та його інтегрального значення (2) від температури за вмісту модельної системи: желатин (3%), ксантан (0,2%), цукрова пудра (30%), вода (66,8%)

В модельній системі напівфабрикату збивного борошняного, яка містить желатин, ксантан, цукрову пудру і фермент транsgлютаміназу (рис.2.36) внаслідок високої реакційної здатності транsgлютаміназа відбувається зміцнення ковалентних зв'язків, що каталізуються транsgлютаміназою та забезпечується більш вищий рівень зшивання структури.

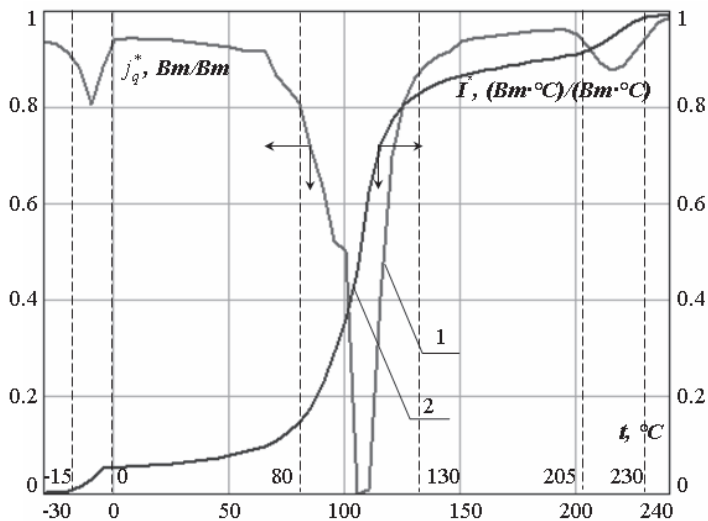


Рис. 2.36 – Залежність теплового потоку (1) та його інтегрального значення (2) від температури за вмісту модельної системи: желатин (3%), ксантан (0,2%), цукрова пудра (30%), транsgлютаміназа (0,09%), вода (66,71%)

З аналізу ДСК-термограм (рис. 2.36) видно, що фазовий перехід вільної води модельної системи твердого та твердоаморфного стану в рідкий відбувається в діапазоні температур від -15°C до 0°C , як і в попереднього зразка. При цьому діапазон температур, за якого відбувається фазовий перехід I роду (перехід вільної води із рідкого стану в газоподібний) змістився в бік високих температур на $+5^{\circ}\text{C}$ і знаходиться в межах від 80°C до 130°C , очевидно, в наслідок каталітичного впливу ферменту транsgлютаміназа в системі желатин-ксантан.

Встановлено (рис.2.37), що при введенні борошна в модельну систему напівфабрикату збивного ширина діапазону температур і для першого, і для другого піку поглинання збільшується в наслідок зменшення частини системної води, яка має властивості близькі до вільної (об'ємної) води. Цьому сприяє збільшення кількості нових форм зв'язку води (зокрема осмотичної вологи та вологи моно- і поліадсорбції) з сухими речовинами через утворення колоїдів (розчин желатину, розчин ксантану), зміни концентрації розчинених речовин у воді (розчин цукрової пудри), набухання полісахаридів (колоїдний розчин крохмалю борошна), утворення поперечних зв'язків між молекулами клейковинного білка (внаслідок каталітичної дії ферменту трансглютаміназа).

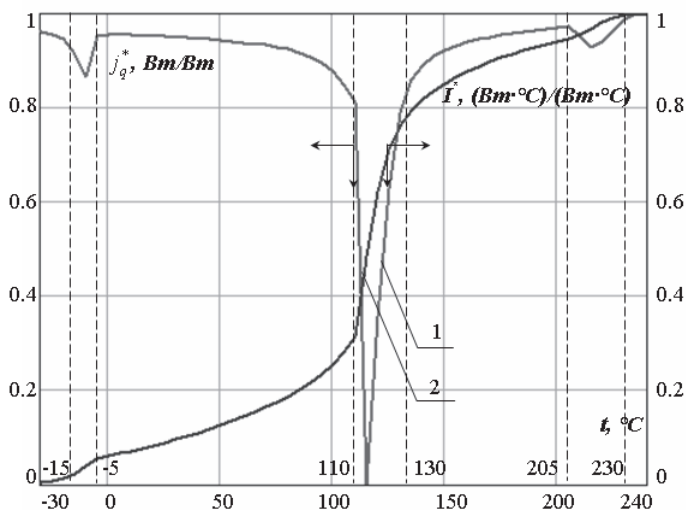


Рис. 2.37. Залежність теплового потоку (1) та його інтегрального значення (2) від температури за вмісту модельної системи: желатин (3%), ксантан (0,2%), цукрова пудра (30%), трансглютаміназа (0,09%), борошна (50%), вода (16,71%)

З аналізу ДСК-термограм (рис. 2.37) видно, що фазовий перехід вільної води модельної системи із твердого та твердоаморфного стану в рідкий змістився в бік низьких температур на -5°C і відбувається в діапазоні

температур від -15°C до -5°C . При цьому діапазон температур, за якого відбувається фазовий перехід I роду (перехід системної води з рідкого стану в газоподібний) змістився в бік високих температур ще на $+30^{\circ}\text{C}$ і знаходиться в межах від 110°C до 130°C , очевидно, в наслідок впливу ферменту трансглютаміназа забезпечується більш високий рівень зшивки макромолекул білкового каркасу, підвищується ступінь зв'язаності груп $-\text{OH}$ з білками борошна, що зумовлює утворення міжмолекулярних водневих зв'язків із білками клейковинного комплексу і суттєво уповільнює процес дегідратації.

Отже, аналізом ДСК-термограм (рис.2.33-2.37) встановлено, що термограми в цілому мають схожий характер. Відмінності полягають у формі максимумів поглинання та інтервалі температур їх знаходження на осі абсцис. Можна зробити деякі загальні висновки, що витікають з виду отриманих ДСК-термограм.

Так перший пік, що знаходиться в діапазоні температур від -15°C до 10°C , відповідає переходу системної води із кристалічного та твердоаморфного стану до рідкого стану. Другий пік поглинання, що спостерігається в діапазоні температур від 60°C до 130°C , відповідає переходу системної води досліджуваних модельних систем із рідкого стану в газоподібний. Третій пік, наявний лише для трьох зразків, а саме, що містить цукрову пудру (рис.2.35); що містить цукрову пудру та трансглютаміназу (рис.2.36), що містить цукрову пудру, трансглютаміназу та борошно (рис.2.37), спостерігається в діапазоні температур від 205°C до 230°C . Очевидно даний пік відповідає деструкції полісахаридів, що містять означені модельні системи, а саме: цукрової пудри та крохмалю борошна.

Підтвердженням результату утворення нових форм зв'язку системної води з сухими речовинами є «розщеплення» температури її фазових переходів I роду і, як наслідок, розширення та зміщення діапазону температур, за яких дані переходи мають місце. Ці розширення характеризуються наявністю фізико-хімічно зв'язаної води, а саме, осмотичної та моно- і поліадсорбційної вологи в модельних системах напівфабрикату збивного борошняного, які містять крім

желатину й інші інгредієнти: ксантан, цукрову пудру, фермент трансглютаміназу, борошно.

2.5 Дослідження структурно-механічних характеристик тістової заготовки напівфабрикату збивного борошняного

Структурно-механічні властивості реальних тіл, дисперсних і високомолекулярних систем безпосередньо зв'язані з молекулярними взаємодіями, що відбуваються в них, особливостями будови і теплового руху їхніх структурних елементів. Тобто, структурно-механічні властивості характеризують виникнення в системі напівфабрикату збивного борошняного структур різного виду. З одного боку, пружко-пластично-в'язкісні властивості з іншого боку властивості міцності модельної системи напівфабрикату визначають характер її деформаційних процесів і процесів руйнування.

Як відомо головне в процесі тістоутворення - формування необхідної структури тіста і отримання системи із заданими властивостями. На початку замісу тіста борошно контактує з водою, цукровою пудрою, жиром, сіллю та іншими компонентами. При цьому в утвореному тісті починає відбуватися низка процесів. Найбільшого значення мають фізичні, колоїдні та біохімічні процеси, що забезпечують консистенцію тіста – сукупність реологічних властивостей, які характеризують його опірність до самотекучості [3, 10, 48, 169].

Ефективним компонентом, що бере участь у структуроутворенні тіста є фермент трансглютаміназа. Фермент ТГ сприяє створенню з білкових ланцюгів більш великі протеїнові сполуки. Завдяки унікальній здатності фермента ТГ, забезпечується зшивання не тільки функціональних білків борошна, але й клейковинних білків [43, 170, 171].

В дослідженнях опірність структури тіста для напівфабрикату збивного борошняного ми характеризували граничним напруженням зсуву незруйнованої структури, яке досліджували за допомогою напівавтоматичного пенетрометра Labor з напівсферичним індентором [172].

Граничне напруження зсуву визначали розрахунковим методом за [172].

На основі досліджень залежності граничного напруження зсуву [8] модельних систем свіжовиготовленого (рис. 2.38) тіста для напівфабрикату збивного борошняного від вмісту основних структуроутворюючих компонентів, органолептичних досліджень консистенції було встановлено залежність змін структури модельної системи тіста для напівфабрикату від співвідношення основних рецептурних компонентів.

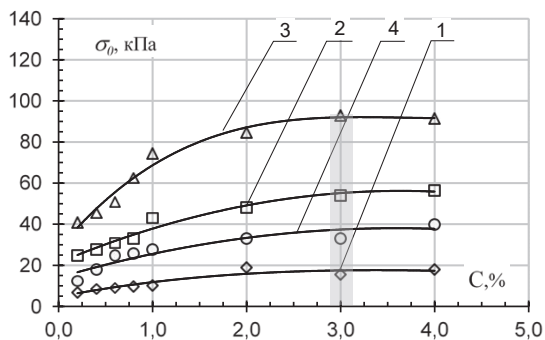


Рис. 2.38. Вплив на граничне напруження зсуву свіжовиготовленого тіста напівфабрикату збивного желатину в композиції з ксантаном 0,2% за взаємодії з ферментом трансглютаміназа, %: 1- 0,05; 2- 0,07; 3- 0,09; 4- контроль

Так в модельній системі свіжовиготовленого тіста напівфабрикату збивного борошняного (рис. 2.38), яка містить желатину 3,0% в композиції з ксантаном 0,2% за концентрації 0,09% ферменту трансглютаміназа відповідає консистенція, що визначається як щільна і пружна з граничним напруженням зсуву $86,0 \pm 1,0$ кПа, за концентрації 0,07% – як щільна, еластична і в міру пружна з граничним напруженням зсуву $58,0 \pm 1,0$ кПа, за концентрації 0,05% – як м'яка, еластична, пластична з граничним напруженням зсуву $19 \pm 1,0$ кПа.

Доведено, що раціональною концентрацією ферменту трансглютаміназа в рецептурі тіста модельної системи напівфабрикату збивного борошняного є концентрація $0,07 \pm 0,01$ %, яка найкраще відповідає значенню граничного напруження зсуву тіста контрольного зразка.

2.6 Оптимізація впливу концентрацій структуруючих компонентів модельних систем напівфабрикату збивного борошняного на параметри в'язкості та вологоутримуючої здатності тістової заготовки

Для перевірки адекватного і ефективного використання основних структуруючих компонентів тіста напівфабрикату збивного борошняного, з метою оптимізації їх концентрацій та визначення оптимальних меж впливу на фізико-хімічні властивості було обрано тривірневий план Бокса-Бенкена [91,92] для моделювання в'язкості η (Па·с) і вологоутримувальної здатності ВУЗ (%) - основних параметрів оптимізації. Параметри оптимізації залежали від вмісту структуруючих компонентів: глютамінази $m_{тг}$, желатину $m_{ж}$, ксантану $m_{к}$, а також від значення факторів та інтервалів їх варіювання.

Рівні варіювання факторів були обрані за результатами та аналізом попередніх експериментальних досліджень модельних систем напівфабрикату збивного, а саме:

- дослідження впливу концентрацій рецептурних компонентів та температури на в'язкість модельних систем;
- дослідження механізму формування поліелектролітних комплексів желатин–ксантан у присутності ферменту ТГ за допомогою ІЧ-спектроскопії;
- дослідження впливу технологічних чинників на процес піноутворення системи «вода-желатин-ксантан» з модифікацією ферментом транглютаміназа (розділ 2.2);
- дослідження впливу ферменту транглютаміназа на вологоутримувальну здатність тіста напівфабрикату збивного борошняного;
- обґрунтування параметрів теплової обробки напівфабрикату збивного борошняного;
- дослідження форм звязку води в модельних системах напівфабрикату збивного борошняного під час заморожування-нагрівання методом термограм диференціально-сканувальної калориметрії;
- дослідження структурно-механічних характеристик тістової заготовки напівфабрикату збивного борошняного.

Нижні і верхні межі варіювання компонентів були визначені експериментально (рис. 2.39...2.42) в ході створення розчинів і вимірювання їхньої в'язкості. Дослідження проводили на модельних системах, що містили фермент трансглютаміназу, желатин і ксантан.

Методами кореляційно-регресійного аналізу в рамках парних моделей: фермент трансглютаміназа-желатин, фермент трансглютаміназа-ксантан желатин-ксантан були визначені раціональні концентрації компонентів модельних систем напівфабрикату збивного борошняного. За основу приймалась адекватність фізико-хімічної моделі в'язкості, подібність форм зв'язку, рівні факторів, коефіцієнти термінації.

Отриманими залежностями ліній рівних значень в'язкості як функції від концентрації основних компонентів $\eta=f(x_i;x_j)$ і ВУЗ як функції від концентрації основних компонентів $W=f(x_i;x_j)$ доведено, що у межах парної моделі за концентрацій ферменту трансглютаміназа 0.05...0.09% та желатину 1.0...3.0% оптимальне значення в'язкості знаходиться в інтервалі $(1,15\pm 0,1)\times 10^{-3}$ Па·с; (рис. 2.39, а), оптимальне значення ВУЗ знаходиться в інтервалі $76\pm 3\%$ (рис. 2.39, б).

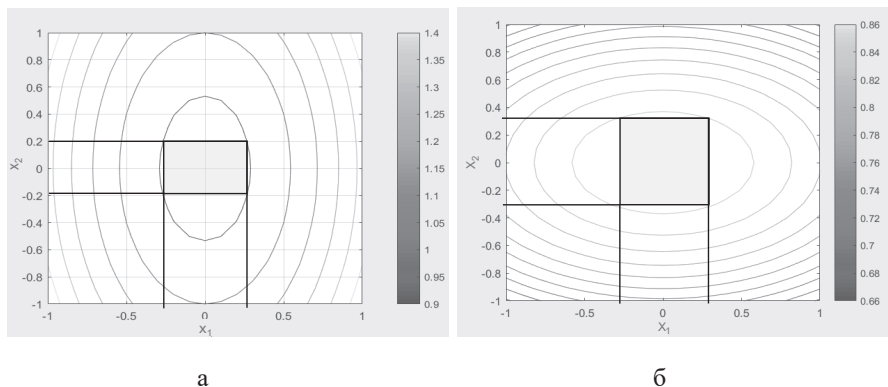


Рис. 2.39. Залежність ліній рівних значень в'язкості (а); ВУЗ (б) парної моделі напівфабрикату збивного борошняного від вмісту основних компонентів: x_1 – фермент трансглютаміназа; x_2 – желатин

У межах парної моделі за концентрацій ферменту трансглютаміназа 0.05...0.09% та ксантану 0,1...0,3% оптимальне значення в'язкості знаходиться

в інтервалі $(1,0 \pm 0,1) \times 10^{-3}$ Па·с (рис. 2.40, а); оптимальне значення ВУЗ знаходиться в інтервалі $78 \pm 3\%$ (рис. 2.40, б).

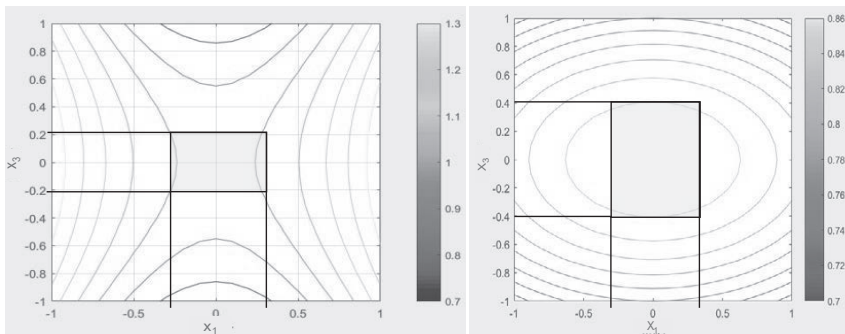


Рис. 2.40. Залежність ліній рівних значень в'язкості (а); ВУЗ (б) парної моделі напівфабрикату збивного борошняного від вмісту основних компонентів: x_1 – фермент транглуаміназа; x_3 – ксантан

У межах парної моделі за концентрації желатину 1.0...3.0% та ксантану 0,1...0,3% оптимальне значення в'язкості знаходиться в інтервалі $(1,45 \pm 0,1) \times 10^{-3}$ Па·с (рис. 2.41, а); оптимальне значення ВУЗ знаходиться в інтервалі $75 \pm 3\%$ (рис. 2.41, б).

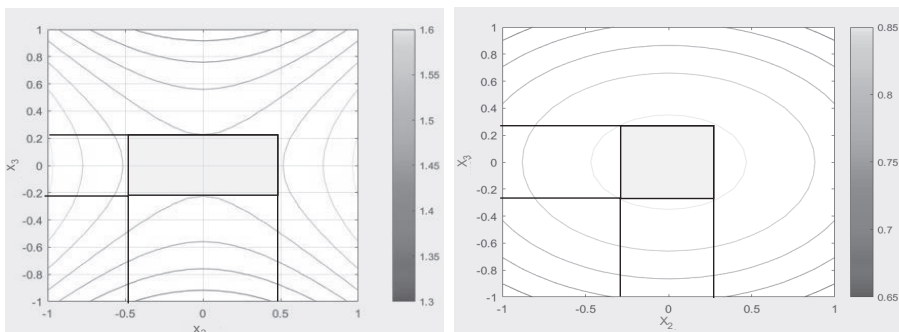


Рис. 2.41. Залежність ліній рівних значень в'язкості (а); ВУЗ (б) парної моделі напівфабрикату збивного борошняного від вмісту основних компонентів: x_2 – желатин; x_3 – ксантан

Згідно з критерієм Кохрена не менше ніж 95% статистичної залежності в'язкості і вологоутримувальної здатності від концентрації основних

компонентів модельної системи напівфабрикату збивного борошняного описується одержаними регресійними кривими [90, 91, 92].

Після визначення раціональних меж параметрів була побудована тривимірна модель (рис. 2.42) залежності в'язкості від концентрації двох параметрів ($C_3^2 \Rightarrow 3$ варіанти).

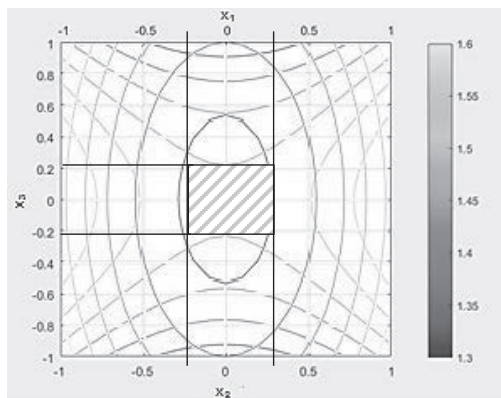


Рис. 2.42. Залежність ліній рівних значень в'язкості парної моделі напівфабрикату збивного борошняного від вмісту основних компонентів: x_1 – фермент трансклятаміназа; x_2 – желатин; x_3 – ксантан

Проведене математичне моделювання дозволило визначити оптимальні значення основних структуруючих компонентів у базовій рецептурі модельної системи напівфабрикату збивного борошняного: ферменту трансклятаміназа 0.05...0.09% та желатину 1.0...3.0% ксантану 0,1...0,3%; оптимальне значення в'язкості в інтервалі $1,45 \pm 0,1$ Па·с та вологоутримувальної здатності (ВУЗ) в інтервалі $78,0 \pm 3,0\%$, що узгоджується з попередніми експериментальними дослідженнями.

Запропонована нами модельна система напівфабрикату збивного борошняного в своєму складі не містить яечних продуктів, характерних для даного типу продукції – бісквітів, крім того, додавання до рецептури ферменту трансклятаміназа дозволяє сформувати стійку білкову каркасну сітку в напівфабрикаті збивному борошняному, що дає можливість зберігати напівфабрикат у вигляді сухої суміші протягом тривалого часу.

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ НАПІВФАБРИКАТУ БОРОШНЯНОГО ЗБИВНОГО З ВИКОРИСТАННЯМ ЖЕЛАТИНУ І ФЕРМЕНТУ ТРАНСГЛЮТАМІНАЗА

3.1 Розробка рецептури та технології напівфабрикату борошняного збивного

Низка експериментальних досліджень з окремими основними рецептурними компонентами, їх поліелектролітними комплексами: желатин+ксантан+трансглютаміназа, желатин+ксантан, желатин+ксантан+цукрова пудра, желатин+ ксантан+цукрова пудра+трансглютаміназа і готовим напівфабрикатом дозволив нам науково обґрунтувати рецептуру (табл. 3.1) [93, 94] нормативно закріплену в розроблених та затверджених технічних умовах ТУ У 10.6-42087560-001:2019 “ Суміш суха для напівфабрикату збивного ” (додаток А) та схему технологічного процесу виробництва (рис.3.2) напівфабрикату борошняного збивного, нормативно закріплену в розробленій та затвердженій технологічній інструкції.

Під час визначення рецептурного складу з метою збереження основних закономірностей технологічного процесу, було розроблено модель технологічної схеми отримання напівфабрикату борошняного збивного як технологічну систему (рис.3.1), функціональні складові частини якої методом декомпозиційно-агрегативного підходу можна виділити у вигляді окремих підсистем А₁, А₂, В, С, D.

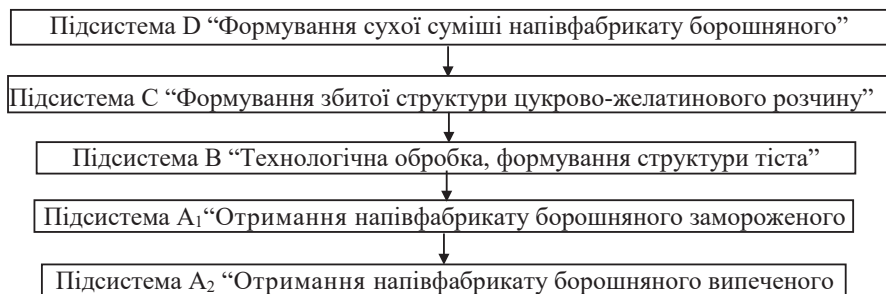


Рис. 3.1. Модель технологічної системи виробництва напівфабрикату борошняного збивного

Таблиця 3.1

Зведена рецептура напівфабрикату борошняного збивного на 100 кг

Сировина	Масова частка сухих речовин, %	Загальні витрати сировини з урахуванням втрат в технологічному процесі, кг	
		в натурі	в сухих речовинах
Желатин	84,0	3,0	2,52
Камідь ксантанова	85,0	0,2	0,05
Фермент транглутаминаза	99,9	0,07	0,09
Цукрова пудра	99,85	29,0	0,09
Борошно пшеничне в/г	85,5	50,0	42,75
Ароматизатор ідентичний натуральному «Крем-карамель»	99,85	0,2	0,19
Вода питна		29,38	–
Всього		111,85	45,69
Вихід		100,0	

Для обґрунтування технологічних стадій (рис. 3.2) розроблену модель технологічної схеми виробництва напівфабрикату борошняного збивного (рис. 3.1) як цілісну технологічну систему ми декомпозували в наступні підсистеми:

Підсистема A_2 “Отримання напівфабрикату борошняного випеченого” утворюється внаслідок синтезу підсистеми В “Технологічна обробка, формування структури тіста”. Підсистема A_1 “Отримання напівфабрикату борошняного замороженого” – також утворюється внаслідок синтезу підсистеми В “Технологічна обробка, формування структури тіста”, якщо напівфабрикат підлягає тривалому зберіганню.

В свою чергу утворення підсистеми В “Технологічна обробка, формування структури тіста” відбувається в процесі синтезу підсистеми С " С “Формування

збитої структури цукрово-желатинового розчину”, що ієрархічно залежить від підсистеми D “Формування сухої суміші напівфабрикату борошняного”.

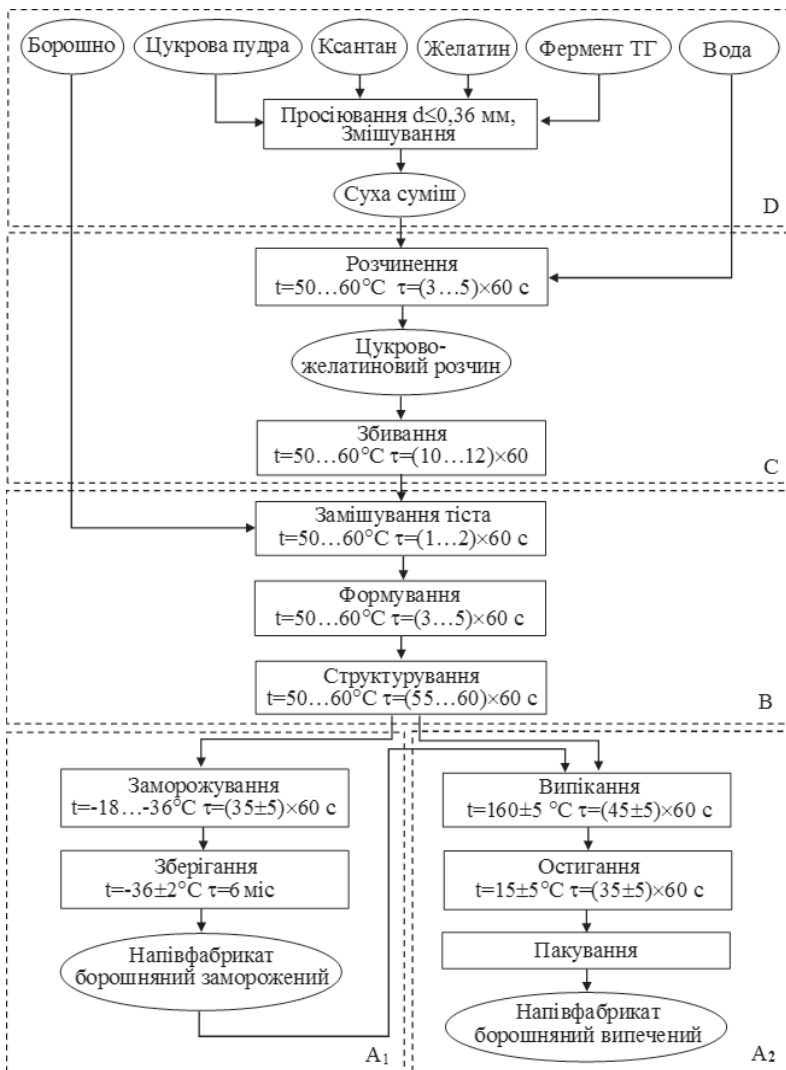


Рис. 3.2. Технологічна схема напівфабрикату борошняного збивного

Отже, враховуючи те, що існування даної технологічної системи в цілому забезпечується функціонуванням та ієрархічною залежністю її окремих підсистем

A₁, A₂, B, C, D, для дослідження і наукового обґрунтування технологічних стадій отримання напівфабрикату борошняного збивного в межах цих підсистем ми декомпозували їх до окремих завдань (табл.3.2), вирішення яких в цілому забезпечує досягнення основної мети технологічної системи [132, 140, 144, 173, 174].

Таблиця 3.2

Структура та завдання складових частин технологічної системи

Підсистема		Завдання підсистеми
позначення	назва	
A ₂	Отримання напівфабрикату борошняного випеченого	Отримання напівфабрикату борошняного випеченого здатного зберігати задані властивості під час виготовлення тістечок та реалізації готової продукції, обґрунтування температури та тривалості теплової обробки.
A ₁	Отримання напівфабрикату борошняного замороженого	Отримання напівфабрикату борошняного замороженого здатного зберігати задані властивості до випічки протягом терміну зберігання за реалізації функціонально-технологічних властивостей рецептурних інгредієнтів, обґрунтування температури та тривалості зберігання.
B	Технологічна обробка, формування структури тіста	Обґрунтування температури та тривалості замішування, формування та структурування тіста, обґрунтування концентрації смако-ароматичних інгредієнтів.
C	Формування збитої структури цукрово-желатинового розчину	Обґрунтування концентрації рецептурних компонентів в композиції желатин-ксантан-цукрова пудра в присутності ферменту ТГ, технологічних параметрів розчинення та збивання цукрово-желатинового розчину.
D	Формування сухої суміші напівфабрикату борошняного	Формування необхідної дисперсності і однорідності сухої суміші для забезпечення швидкості та якості її розчинення.

Підсистема D “Формування сухої суміші напівфабрикату борошняного” забезпечує утворення однорідної сухої суміші, яка дозволить формувати

необхідну якість розчинення при мінімальній тривалості процесу за рахунок раціональної дисперсності і співвідношення рецептурних компонентів.

Експериментально встановлено раціональне значення розмірів часток рецептурних компонентів сухої суміші. Необхідні умови швидкого розчинення сухої суміші та отримання розчину відповідної якості забезпечується розміром часток $0,2 \pm 0,05$ мм (рис. 2.18-2.20) інгредієнтів: желатину за концентрації $3,0 \pm 0,2\%$ та ксантану за концентрації $0,2 \pm 0,05\%$ за температури розчинення $50,0 \pm 2,0^\circ\text{C}$ (рис. 2.21).

Підсистема С “Формування збитої структури цукрово-желатинового розчину” забезпечує утворення цукрово-желатинового розчину з пінною структурою, що впливає на тривалість структуроутворення та термічну стійкість під час теплової обробки, на структурно-механічні показники, підвищує харчову цінність напівфабрикату борошняного.

Реалізацію завдань даної підсистеми здійснювали, розчиняючи та збиваючи підготовлені рецептурні компоненти за температури $50 \pm 2^\circ\text{C}$.

Відомо, що бісквітне тісто відноситься до слабкоструктурованих систем. Саме тому в технології напівфабрикату збивного борошняного для забезпечення необхідних умов гідратації білку під час збивання цукрово-желатинового розчину, структурування тістової заготовки та випікання ми використовували желатин, як основний піноутворюючий інгредієнт та його високою здатністю створювати ізопептидні зв'язки за каталітичного впливу трансглютамінази, ксантан в якості додаткового загущувача системи і фермент трансглютаміназу як стабілізатор стуктури [48, 51, 143].

Також з урахуванням сучасних тенденцій щодо яєчних продуктів, які входять до списку харчових продуктів, що можуть спричинити алергічні реакції або непереносимість, в рецептурі замість меланжу використовується желатин в композиції з ксантаном за присутності ферменту ТГ, що при збиванні з цукровою пудрою дозволяє сформувати стійку білкову каркасну сітку в напівфабрикаті борошняному. При цьому підвищується в'язкість вірогідно за рахунок часткового зв'язування вологи та більш активним утворенням

поліелектролітних комплексів желатину і ксантану за присутності цукрової пудри.

Нааявність великої кількості цукру в тісті без жиру надає виробам надмірну твердість. Також великий вплив на якість тіста і виробів надає крупність часток цукру. Для отримання пластичного тіста, в якому різко обмежений вміст води, ми використовували не цукор-пісок, а цукрову пудру. Це пов'язано з тим, що в порівняно невеликій кількості води не може повністю розчинитися вся кількість цукру передбачена рецептурою і залишаються нерозчиненими кристали, що будуть видимі на поверхні напівфабрикату і погіршать його якість [140, 167, 168].

Встановлено, що в межах температур $(30...50)\pm 1^\circ\text{C}$ максимальною піноутворюючою здатністю – $(300\pm 9...320\pm 9)\%$ володіють модельні системи «вода-желатин» з концентрацією желатину 3...5%. Експериментально доведено що максимальний об'єм піни забезпечує збивання протягом $(8...10)\times 60$ с.

Підсистема В “Технологічна обробка, формування структури тіста” забезпечує отримання тіста на основі збитого цукрово-желатинового розчину замішуванням борошна разом з ароматизатором, формуванням у силіконових формах або з пергаментного паперу та структуруванням протягом 60 ± 5 хв за температури 50°C з наступним нагріванням тістової маси до $90...95^\circ\text{C}$ для інактивації ферменту ТГ. Каталітичний вплив ТГ зумовлює можливе утворення міжмолекулярних водневих зв'язків із білками клейковинного комплексу борошна, сприяє формуванню текстури та смакових якостей готового продукту.

Введення в рецептуру ароматизатора продиктовано необхідністю надання специфічних органолептичних властивостей напівфабрикату борошняному.

Експериментально встановлено, що введення в композицію желатин-ксантан ферменту трансглютаміназа сприяє підвищенню гідратаційної здатності на $31,0\pm 0,2\%$ та термічної стійкості під час випікання напівфабрикату.

При введенні желатину менше 2,5% тістова маса не збільшиться в об'ємі. При введенні желатину більше 3,0% структура напівфабрикату буде занадто

пружною, що буде ускладнювати подальшу обробку напівфабрикатів збивних.

Введення камеді ксантанової менше 0,1% на структурні властивості тістової маси не вплине, при введенні камеді ксантанової у кількості 0,3% густина тістової маси значно збільшується.

При введенні цукрової пудри менше 27,7% або більше 32% бажана стійка дрібна структура дисперсної системи тістової маси не утвориться. Збільшення вмісту цукрової пудри призводить до значного підвищення в'язкості та появи надто солодкого смаку. Зменшення вмісту цукрової пудри призводить до зменшення кількості сухих речовин та погіршення смакових властивостей готових виробів.

Збільшення вмісту ферменту трансглютаміназа понад 0,1% призводить до підвищення швидкості зшивання структури та призведе до надто швидкого зростання міцності, що ускладнить процес перемішування. При зменшенні вмісту трансглютаміназа менше 0,05% готовий продукт не набуває необхідної структури.

При введенні борошна пшеничного менше 50% тістова маса не набуває необхідної структури і буде занадто рідкою. При додаванні борошна більше 60,0% тістова маса утвориться занадто густою.

Підсистема А₁ “Отримання напівфабрикату борошняного замороженого”
Для реалізації завдань підсистеми структуровану та інактивовану ТГ тістову заготовку заморожували за температури від -18°C до -36°C протягом 35±5 хв. в камері шокового заморожування, пакували під вакуумом в поліетиленову плівку Polyethylene film FLT 0.110 ТУ У 25.2-14022407-00 8 2010 і зберігали в холодильній камері за температури -36°C протягом 6 місяців.

Підсистема А₂ “Отримання напівфабрикату борошняного випеченого”
Для реалізації завдань підсистеми свіжовиготовлену структуровану та інактивовану ТГ тістову заготовку, або після зберігання в холодильній камері випікали без розморожування за температури 210±5 °С протягом 40-45хв. Після випікання і остигання – 20-30 хв, виймання з форм та вистоювання 8-10 годин за температури 15±2°C для охолодження, пакували та реалізовували.

3.2 Дослідження харчової та біологічної цінності напівфабрикату збивного борошняного

Харчова цінність продуктів харчування визначається вмістом в них білків, жирів, вуглеводів, мінеральних речовин та вітамінів. В розробленому напівфабрикаті борошняному збивному випеченому, вміст харчових речовин в кожному окремому найменуванні буде індивідуальним, однак коливання абсолютних значень показників будуть незначними і лежатимуть в межах раціональної концентрації рецептурних компонентів. У зв'язку з цим дослідження харчової цінності та їх зміни під впливом різних технологічних чинників вважаємо можливим проводити на конкретному прикладі напівфабрикату борошняного збивного.

Показники харчової цінності визначали за відомими методиками [80, 97, 98, 100, 102, 103].

Загальний хімічний склад (табл. 3.3) і харчову цінність (табл. 3.4) напівфабрикату борошняного збивного визначали за вмістом у її складі білків, жирів, вітамінів та мінеральних речовин. [96, 103, 108, 109, 110].

Таблиця 3.3

Загальний хімічний склад напівфабрикату борошняного збивного

Найменування	Вміст, %	В с.р.%
Масова частка вологи	54,3±1,0	0
Масова частка сухих	45,7±1,0	100
Масова частка білка	8,9±0,1	19,5
Масова частка жиру	1,4±0,1	3,06
Масова частка вуглеводів	28,2±0,3	61,7
Масова частка золи	7,2±0,1	15,7

Аналізуючи загальний хімічний склад (табл.3.3) слід відмітити, що у рецептурі напівфабрикату борошняного збивного міститься 8,9±0,3% білкових речовин, які складають 19,5% від загального вмісту сухих речовин і забезпечуються основним білокмістким рецептурним компонентом – борошном та незначно желатином.

Слід відмітити значний вміст вуглеводів, які складають 52,9% від загального вмісту сухих речовин

З точки зору біологічної цінності крім загального вмісту білка в продукті досить важливим є і його якість, яка характеризується в першу чергу, вмістом і співвідношенням есенціальних амінокислот.

Вміст аміногруп у пробах визначали за методом Лоурі, який базується на утворенні фарбованих продуктів при взаємодії реактиву Фоліна з лужними розчинами білків за калібрувальним графіком. Інтенсивність кольору залежить від вмісту в дослідному білку амінокислот триптофану та тирозину.

На доступність амінокислот впливає низка чинників, зв'язаних головним чином з їхнім неповним перетравлюванням, що спостерігається за наявності перехресних зв'язків у молекулі білка в присутності інгібіторів протеаз, а також при інгібуванні пептидами і пептидоподібними з'єднаннями всмоктування амінокислот [102...107].

Для встановлення біологічної цінності напівфабрикату борошняного збивного визначали її амінокислотний склад (табл.3.4).

Таблиця 3.4

Вміст амінокислот в напівфабрикаті збивному борошняному

Амінокислота	Вміст	
	мг/%	%
1	2	3
Незамінні амінокислоти		
Валін	292,7	4,27
Ізолейцин	249,9	3,64
Лейцин	473,3	6,90
Лізін	231,6	3,38
Метионін	93,0	1,36
Треонін	198,2	2,89
Триптофан	47,5	0,69
Фенілаланін	285,6	4,17
Разом	1871,7	27,30

Кінець таблиці 3.4

1	2	3
Замінні амінокислоти		
Аспарагінова кислота	326,8	4,77
Аргінін	413,8	6,04
Аланін	415,4	6,06
Гістидін	115,9	1,69
Глутамінова кислота	1709,4	24,93
Пролін	916,2	13,36
Серін	318,5	4,64
Тирозин	93,9	1,37
Цистін	105,0	1,53
Гліцин	570,0	8,31
Разом	4984,8	72,70
Всього	6856,5	100,00

В ході досліджень (табл.3.4) ідентифіковано і кількісно визначено 18 амінокислот, сумарний вміст есенціальних амінокислот складає 27,3%, що дозволяє характеризувати напівфабрикат борошняний збивний, як продукт високої біологічної цінності.

Збалансованість амінокислотного складу, його первинна структура, зокрема вміст і кількісне співвідношення незамінних амінокислот (табл.3.5), є одним з найважливіших показників харчової цінності напівфабрикату збивного борошняного [102, 103].

Аналізом вмісту амінокислот порівняно з фізіологічними нормами харчування, встановлено, що співвідношення амінокислот має певні відмінності від оптимального. Спостерігається недостатній вміст таких амінокислот як лізин, метіонін та дефіцит амінокислоти триптофан [102, 103].

Біологічна цінність напівфабрикату збивного борошняного

Амінокислота	Шкала ФАО/ВООЗ		НЗБ	
	мг/1г білка	Амінокислотний скор	мг/1г білка	Амінокислотний скор
Валін	50	1,0	47	0,40
Ізолейцин+ лейцин	110	1,0	134	0,90
Лізин	55	1,0	27	0,25
Метіонін	25	1,0	10	0,52
Треонін	40	1,0	31	0,67
Триптофан	10	1,0	10	-
Фенілаланін + тирозін	60	1,0	89	1,05

Відомо, що споживчі властивості напівфабрикату збивного борошняного випеченого визначаються, окрім органолептичних і фізико-хімічних показників якості, харчовою цінністю та фізіологічною дією на організм людини. Оскільки основними компонентами загального хімічного складу готового продукту є білок $8,9\pm 0,1\%$ і вуглеводи - $28,2\pm 0,3\%$ (табл. 3.3) та, зважаючи на те, що в перерахунку на сухі речовини вміст білка складає 19,5%, вуглеводів – 61,7%, є необхідність, дослідити їх гідроліз за умов *in vitro* [175-178].

Підвищення харчової цінності готового виробу типу бісквіт визначається не тільки вмістом фізіологічно функціональних інгредієнтів, таких як білок та вуглеводи, що містяться у ньому, але й ступенем їх засвоюваності у організмі людини. Тому, нами було визначено ступінь перетравлюваності *in vitro* білкових речовин (рис. 3.3) та вуглеводів (рис. 3.4) напівфабрикату збивного борошняного випеченого. Інтенсивність перетравлюваності білків напівфабрикату збивного борошняного випеченого встановлювали за приростом масової частки кінцевих продуктів ферментативного гідролізу білкових речовин – вільних амінокислот (рис. 4.3) та масової частки редукуючих цукрів (рис. 4.4).

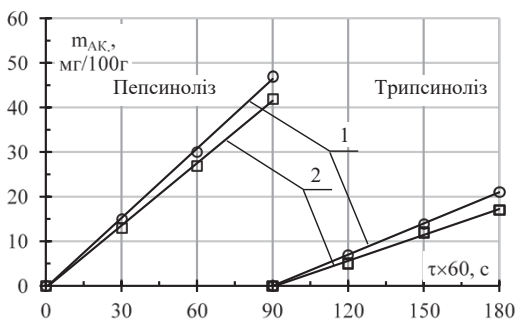


Рис. 3.3. Перетравлюваність *in vitro* білків: 1 - напівфабрикату збивного борошняного випеченого; 2 – контроль

Підтверджено (рис. 3.3), що швидкість ферментативного гідролізу білка напівфабрикату збивного борошняного випеченого проходить в два етапи. Незначне зниження ступеня перетравлюваності білків напівфабрикату збивного борошняного випеченого, що містить желатино-ксантановий комплекс за присутності ферменту ТГ на 5,1% на стадії пепсинолізу і на 7,2% на стадії трипсинолізу порівняно з контрольним зразком можна пояснити синергетичною взаємодією ксантану з желатином та перерозподілу асоційованих і неасоційованих гідроксильних груп, утворенням міжмолекулярних водневих зв'язків із білками клейковинного комплексу борошна, що ускладнює доступ протеолітичних ферментів до субстрату за рахунок утворення білок-полісахаридних комплексів, підвищення ступеня зшивання структури та ступеня зв'язаності груп –ОН, також і за рахунок енергії активації зв'язаної води [176].

Інтенсивність ферментативного гідролізу вуглеводів напівфабрикату збивного борошняного випеченого досліджували аналізуючи приріст масової частки редуруючих цукрів в перерахунку на суху речовину (рис. 3.4) у витяжці з м'якушки готового напівфабрикату протягом гідролізу. Визначення продуктів гідролізу вуглеводів (редуючих цукрів), накопичених в процесі гідролізу

проводили за методом Бертрана [177]. Як контрольний зразок використовували бісквіт виготовлений за традиційною технологією.

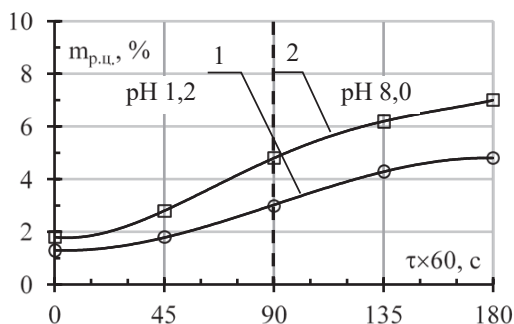


Рис. 3.4. Перетравлюваність in vitro вуглеводів: 1 - напівфабрикату збивного борошняного випеченого; 2 - контроль

Основним вуглеводом напівфабрикату збивного борошняного випеченого є крохмаль. Ступінь його перетравлюваності можна характеризувати швидкістю ферментативного гідролізу в шлунково-кишковому тракті під дією ферментів амілолітичної дії.

Встановлено (рис. 3.4), що швидкість ферментативного гідролізу вуглеводів напівфабрикату збивного борошняного випеченого, що містить гідроколоїди желатин і ксантан в присутності ферменту ТГ на 2,2% нижча порівняно зі швидкістю трансформації вуглеводів контрольного зразка. Так, через 180×60 с гідролізу напівфабрикату збивного накопичується 4,8% редукуючих цукрів, а контрольного зразка – бісквіту виготовленого за традиційною технологією – 7,0%.

Це можна пояснити утворенням білок-полісахаридних комплексів, зшиванням структури напівфабрикату збивного борошняного випеченого, що підвищує в'язкість системи та знижує доступність вуглеводів для дії травних ферментів [176].

Отже, чим міцніше зв'язана вода, тим вона менше підтримує процеси, що руйнують харчовий продукт, менше підтримує гідролітичні процеси у розроблених виробках уповільнюючи процес перетравлення білкових речовин

напівфабрикату збивного борошняного випеченого, і на пепсиновій, і на трипсиновій стадії та зменшуючи швидкість ферментативного гідролізу вуглеводів ніж контрольного зразка, що є позитивним, оскільки знижується вуглеводне навантаження на організм. [178].

Проведені дослідження мінерального складу (табл. 3.6) показали, що зольний залишок напівфабрикату збивного борошняного містить макро– та мікроелементи. Напівфабрикат борошняний збивний випечений є суттєвим джерелом калію, фосфору, сірки, кальцію. Крім того він багатий вмістом таких важливих мінеральних речовин, як магній і натрій.

Таблиця 3.6

Результати досліджень мінерального складу напівфабрикату збивного борошняного

Найменування	Вміст мг/100г
Калій, K	122,0±0,1
Кальцій, Ca	18,0±0,1
Кремній, Si	4,0±0,1
Магній, Mg	16,0±0,1
Натрій, Na	3,0±0,1
Сірка, S	70,0±0,1
Фосфор, P	86,0±0,1

Вивчення вітамінного складу напівфабрикату збивного борошняного (табл.3.7) показало, що продукт багатий на (B4) холін - водорозчинний вітамін, необхідний для лікування захворювань печінки та при атеросклерозі. Найважливішим з біологічної точки зору є фосфохолін, який грає важливу роль в різних синтезах, наприклад, анаболізмі лецитину і метіоніну.

Результати досліджень вітамінного складу напівфабрикату збивного борошняного після випічки

Найменування	Вміст мг/100г
В1, тіамін	0,08
В2, рибофлавін	0,03
В4, холін	26,0
В5, пантотенова к-та	0,15
В6, піридоксин	0,09
В9, фолати	0,0274
Е, альфа токоферол	0,85
Н, біотин	0,0009
РР,	2,4
Ніацин	0,7

Відомо, що рівень рухливості води визначає її здатність брати участь в фізико-хімічних процесах і сприяти розвитку мікроорганізмів [167]. За наявності високого осмотичного тиску в продуктах розвиток мікроорганізмів блокується внаслідок зневоднення їх клітин. Тобто за рахунок переходу молекул води в зв'язаний стан відбувається уповільнення процесу мікробіологічного пошкодження хлібобулочних та бісквітних виробів [168].

Мікробіологічні дослідження напівфабрикату збивного борошняного свіжо- випеченого і після зберігання 8 діб за температури +2...+6°C наведені в табл. 3.8, токсикологічні дослідження наведені в табл. 3.9. Встановлено (табл. 3.10), що колиформні бактерії (БГКП) в готовому продукті, що зберігався, були стабільно відсутні; патогенних мікроорганізмів, сальмонел, staphylococcus aureus, дріжджів і пліснявих грибів в досліджуваних зразках не виявлено.

Проведеними дослідженнями доведено, що мікробіологічні показники і узгоджуються з нормативами МБТіСН №5061. Вимоги НД МБТ № 5061-89.

**Результати мікробіологічних досліджень
напівфабрикату збивного борошняного випеченого**

Показник	Вимоги НД МБТ № 5061-89	Результати досліджень	
		свіжо- випечений зразок	після зберігання 8 діб
Мезофільні аеробні та факультативно-анаеробні мікроорганізми КУО в 1 г продукту	Не більше 5×10^2	не виявлено	$0,8 \times 10^1$
Бактерії групи кишкової палички, в т. ч. поліморфні в 0,01 г продукту	не допускаються	не виявлено	не виявлено
Коагулазопозитивні стафілококи в 0,01 г	не допускаються	не виявлено	не виявлено
Патогенні мікроорганізми, в т. ч. бактерії сальмонела в 25г	не допускаються	не виявлено	не виявлено
Дріжджі КОЕ в 1 г	не допускаються	не виявлено	не виявлено
Плісняві гриби КОЕ в 1 г	не допускаються	не виявлено	не виявлено

Отже, за мікробіологічними показниками напівфабрикат збивний борошняний випечений після зберігання протягом 8 діб безпечний до споживання і відповідає встановленим нормативам.

**Результати токсикологічних досліджень напівфабрикату збивного
борошняного випеченого**

Показник	Допустимий рівень, мг/кг, не більше	Фактичний вміст, мг/кг
Свинець	0,5	0,1
Кадмій	0,1	0,03
Миш'як	0,3	0,1
Мідь	10,0	7,2
Ртуть	0,02	0,01
Афлатоксин В ₁	0,005	0,003

Як показали результати токсикологічних досліджень (табл. 3.9), напівфабрикату збивного борошняного випеченого відповідають критеріям безпеки щодо вмісту токсичних елементів значно менше нормативних вимог і узгоджуються з нормативами МБТиСН №5061 та ДГН №256 до даної продукції [108].

Отже, можна зробити висновок, що за результатами мікробіологічних досліджень (табл. 3.8) напівфабрикату збивного борошняного випеченого в упакованому вигляді можна зберігати протягом 8 діб за температури $+2...6^{\circ}\text{C}$.

3.3 Вивчення фізико-хімічних і мікробіологічних характеристик тіста напівфабрикату збивного борошняного під час зберігання

3.3.1 Зміни структурно-механічних характеристик.

Для дослідження змін структурно-механічних характеристик тістової заготовки для напівфабрикату збивного борошняного під час зберігання, тісто, після інактивації ферменту трансглютаміназа, заморожували за температури $-36,0\pm 2,0^{\circ}\text{C}$ і зберігали за температури $-36,0\pm 2,0^{\circ}\text{C}$ протягом 8 місяців. Дослідження граничного напруження зсуву тіста модельної системи напівфабрикату збивного борошняного (рис. 3.5), яка містить желатину 3,0% в композиції з ксантаном 0,2% за взаємодії з ферментом трансглютаміназа різної концентрації проводили після розморожування через певні проміжки часу зберігання.

Доведено (рис. 3.5), що при збільшенні вмісту ферменту трансглютаміназа в межах 0,05...0,09 граничне напруження зсуву під час зберігання тіста модельної системи напівфабрикату збивного борошняного збільшується від 30 до 120 кПа, очевидно, в наслідок утворення міжмолекулярних водневих зв'язків із білками клейковинного комплексу борошна і підвищення ступеня зв'язаності груп $-\text{OH}$ в системі з борошном.

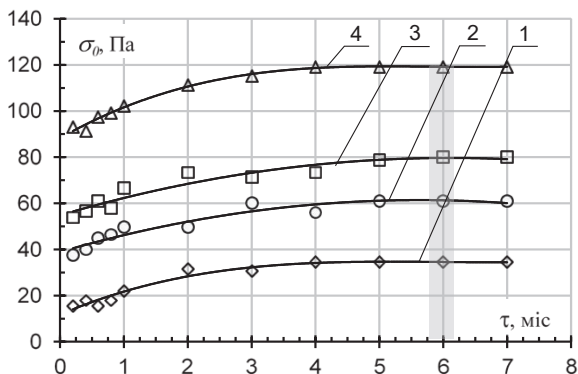


Рис. 3.5. Вплив желатину 3,0% в композиції з ксантаном 0,2% за взаємодії з ферментом трансглютаміназа, %: 1- 0,05; 2- 0,07; 3- 0,09; 4- контроль, на граничне напруження зсуву тіста напівфабрикату збивного борошняного під час зберігання за температури -36°C

Аналізом граничного напруження зсуву тіста модельної системи напівфабрикату збивного борошняного під час зберігання (рис. 3.5) встановлено, що при зберіганні протягом перших 3 місяців за концентрації ферменту трансглютаміназа 0,05%, відбувається підвищення граничного напруження зсуву на 14 кПа і складає 30 кПа, за концентрації ферменту трансглютаміназа 0,07%, підвищується на 21 кПа і складає 89 кПа, що лише на 8 кПа більше і найкраще відповідає значенню граничного напруження зсуву тіста контрольного зразка. За концентрації ферменту трансглютаміназа 0,09%, граничне напруження зсуву підвищується на 28 кПа і складає 120 кПа. При зберіганні протягом наступних 2 місяців граничне напруження зсуву зростає несуттєво і, за концентрації ферменту трансглютаміназа від 0,05 до 0,09%, знаходиться в межах 5...6 кПа.

Отже, зважаючи на динаміку граничного напруження зсуву тістової заготовки напівфабрикату збивного борошняного, зберігання за температури -36°C протягом 6 місяців є раціональною тривалістю, а також раціональною концентрацією ферменту трансглютаміназа в рецептурі тіста модельної

системи напівфабрикату збивного борошняного є 0,07%, що найкраще відповідає значенню граничного наруження зсуву тіста контрольного зразка.

3.3.2 Зміни вологоутримувальної здатності.

У білкових продуктах вода міститься в різних формах. Одна її частина представлена вільною водою, а інша – так званою зв'язаною водою. Кількісний вміст вологи в продукті, а також співвідношення вільної і зв'язаної води відіграють важливу роль у структуроутворенні і стабілізації системи. Важливою властивістю білків харчових продуктів є їхня гідратація, або здатність зв'язувати воду. Відомо, що вологоутримуюча здатність значною мірою визначає органолептичні властивості багатьох харчових продуктів і тісно корелює з пружністю, соковитістю, ніжністю готових продуктів [169, 170].

При замішуванні тіста напівфабрикату збивного борошняного частки борошна, набухаючи, починають швидко вбирати воду. Злипання набряклих часток борошна в суцільну масу, яке відбувається в результаті механічної дії мішалки при замішуванні і забезпечує утворення тіста. Провідна роль в утворенні тіста з властивими йому властивостями пружності, пластичності і в'язкості належить білковим речовинам борошна. Нерозчинні у воді білкові речовини борошна (гліадин і глютенін), що утворюють клейковину, зв'язують у тісті воду не тільки адсорбційно, але й осмотично. Осмотичне набухання відбувається в результаті дифузії молекул води всередину клітин молекули білка. Осмотичне зв'язування води в основному й викликає набухання білків. Білки клейковини здатні набухати в холодній воді і утримувати воду в кількості, приблизно в 2-2,5 рази більшій за свою масу. Набряклі білкові речовини при замісі утворюють в тісті губчастий «каркас», який в значній мірі обумовлює специфічні фізичні властивості тіста - його розтяжність і пружність. Цей білковий структурний каркас часто називають клейковинним [160, 170, 181].

Взаємодія білкових речовин борошна з водою складається з двох основних стадій, тісно пов'язаних між собою. Перша стадія набухання полягає в

адсорбційному зв'язуванні води з утворенням навколо часток борошна водних оболонки. При цьому взаємодія води з гідрофільними групами відбувається не тільки на поверхні часток борошна, але й усередині них. Перша стадія набрякання є екзотермічним процесом (з виділенням тепла) і не супроводжується значним збільшенням обсягу часток, тому що кількість води, зв'язаної таким чином невелика і складає близько 30%. Друга стадія являє собою так зване осмотичне набухання, що відбувається в результаті дифузії молекул води всередину часток борошна. Друга стадія набрякання протікає без виділення теплоти, але зі значним збільшенням обсягу міцел білка, тому що кількість води, зв'язана білками таким чином, становить понад 200%. Більшість білків, в тому числі білки клейковини, не однорідні і являють собою комплекс різних фракцій з різною молекулярною масою і різною водопоглинальною здатністю [140, 169, 170].

У технологічному процесі виробництва напівфабрикату збивного борошняного вода є активним учасником багатьох реакцій (гідроліз, гідратація, набрякання білків, збивання та ін). Вільна волога забезпечує розчинення інгредієнтів сухої суміші і формування збитої піноподібної структури желатино-цукрового розчину, а зв'язана вода обумовлює стабільність і термостійкість модельної системи [140, 169, 170].

Виходячи з досвіду виготовлення напівфабрикату збивного борошняного за традиційними технологіями, підвищення частки зв'язаної вологи в збитому структурованому тісті, підготовленому до випікання, здійснювалось регулюванням вмісту цукрової пудри в рецептурі для підвищення відсотку сухих речовин [140, 169, 170].

Під час зберігання тіста напівфабрикату збивного борошняного за температури -36°C відбувається перерозподіл зв'язаної і вільної вологи. Вільна вода виморожується і, внаслідок переходу частини слабо зв'язаної води у вільний стан, система набуває нового рівноважного стану.

Відомо, що молекули полісахаридів являють собою згорнуті в клубок ланцюги, які у разі потрапляння у воду або в середовище, що містить вільну

вологу, розкручуються, тим самим обмежуючи рухливість молекул води. Таким чином, присутність полісахаридів у розчині призводить до збільшення його в'язкості, а це впливає на структуру криги та перешкоджає переміщенню вимороженої води [182-185].

Введення желатину, ксантану і ферменту трансглютаміназа в рецептуру напівфабрикату дозволяє зв'язати та іммобілізувати велику кількість води, що дає можливість регулювати в'язкість системи, текстуру, зменшити поверхневий натяг, сформувати структуровані шари на поверхні розділу фаз і забезпечити стабілізацію білково-вуглеводного комплексу в умовах значного зниження температури.

Дослідження вологоутримувальної здатності тіста напівфабрикату збивного борошняного упакованого в пергамент (рис. 3.6) здійснювали за зберігання при температурі -36°C протягом 8 місяців. Метою даних досліджень було встановлення раціональної тривалості зберігання тіста напівфабрикату до моменту випічки.

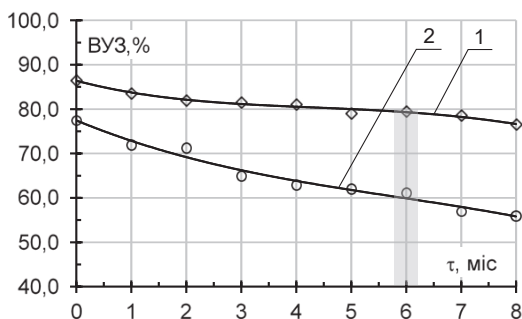


Рис.3.6. Динаміка вологоутримувальної здатності тіста напівфабрикату збивного борошняного протягом зберігання: 1- з желатином 3,0%, ксантаном 0,2%, ферментом ТГ 0,09% (після інактивації); 2- контрольний зразок

Експериментально доведено (рис. 3.6), що за температури -36°C раціональною тривалістю зберігання тіста напівфабрикату збивного борошняного є 6 місяців. Використання гідроколідів желатину, ксантану і

ферменту трансглютаміназа в рецептурі напівфабрикату забезпечує ВУЗ системи в межах $80,0 \pm 5,0\%$, що на 20% вище ніж у контрольного зразка.

Встановлено, що взаємодією желатину концентрацією $3,0 \pm 0,5\%$ із ксантаном концентрацією $0,2 \pm 0,05$ за каталітичного впливу ферменту трансглютаміназа в концентрацією 0,09% забезпечується здатність білкових речовин тіста напівфабрикату збивного борошняного утримувати вологу в межах $80,0 \pm 5,0\%$, протягом 6 місяців.

Тобто можна спрогнозувати зниження кількісних втрат готового продукту під час випікання напівфабрикату збивного борошняного за використання ксантану і ферменту трансглютаміназа в поєднанні з желатином в якості піноутворюючого інгредієнту.

Отже, за результатами досліджень вологоутримувальної здатності тіста (рис. 3.6) напівфабрикату збивного борошняного в упакованому вигляді можна зберігати протягом 6 міс. за температури $-36\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.3.3 Зміни мікробіологічних характеристик.

Заморожування є найбільш розповсюдженим способом зберігання харчових продуктів. При цьому необхідний ефект досягається не за рахунок утворення криги, а за рахунок впливу низьких температур [186-190].

Утворення криги у клітинних структурах тістової заготовки напівфабрикату борошняного збивного має два важливих наслідки. По-перше неводні компоненти концентруються в незамерзаючій фазі (незамерзаюча фаза зв'язаної води існує у харчових продуктах за будь-яких низьких температур зберігання). По-друге вся вільна вода збільшується у об'ємі на $\sim 9\%$, кристалізуючись і перетворюючись у кригу [186-190].

Проведені мікробіологічні дослідження тіста напівфабрикату збивного борошняного після зберігання за температури $-36\text{ }^{\circ}\text{C}$ наведені в табл. 3.10.

Таблиця 3.10

Результати мікробіологічних досліджень тіста напівфабрикату збивного борошняного після зберігання за температури -36 °С

Показник	Вимоги НД МБТ № 5061-89	Результати досліджень	
		свіжовиго товлене тісто	після зберігання 8 міс
Мезофільні аеробні та факультативно-анаеробні ікроорганізми КУО в 1 г продукту	не більше 5×10^2	не виявлено	$0,8 \times 10^2$
Бактерії групи кишкової палички, в т. ч. поліморфні в 0,01 г продукту	не допускаються	не виявлено	не виявлено
Коагулазопозитивні стафілококи в 0,01 г	не допускаються	не виявлено	не виявлено
Патогенні мікроорганізми, в т. ч. бактерії сальмонела в 25г	не допускаються	не виявлено	не виявлено
Дріжджі КОЕ в 1 г	не допускаються	не виявлено	не виявлено
Плісняві гриби КОЕ в 1 г	не допускаються	не виявлено	не виявлено

Під час заморожування вільна вода переходить у кристалічний стан, що призводить до концентрування усіх неводних компонентів у зменшеній кількості незамерзаючої зв'язаної води. При цьому незамерзаюча фаза суттєво змінює рН, титровану кислотність, в'язкість, іонну силу, точку замерзання, поверхневий натяг та окисно-відновний потенціал. Тобто зв'язаний стан молекул води в сприяє уповільненню процесів мікробіологічного псування харчових продуктів [168].

Встановлено (табл. 3.10), що колиформні бактерії (БГКП) в тістовій заготовці напівфабрикату, яка зберігалася за температури – 36 °С протягом 6 місяців, були стабільно відсутні; патогенних мікроорганізмів, сальмонел, *staphylococcus aureus*, дріжджів і пліснявих грибів в досліджуваних зразках не виявлено. Отже, за результатами мікробіологічних досліджень (табл. 3.10) напівфабрикату збивного борошняного в упакованому вигляді можна зберігати протягом 6 міс. за температури -36 °С.

3.4 Вивчення фізико-хімічних характеристик напівфабрикату збивного борошняного випеченого під час зберігання

3.4.1 Дослідження процесу черствіння.

Черствіння напівфабрикату збивного борошняного випеченого пов'язане з процесами зміни стану крохмалю та клейковини борошна. Під час випікання зерна крохмалю частково клейстеризуються, зв'язують вільну вологу тіста та воду, що виділяється внаслідок коагуляції білків. А крохмаль частково переходить із кристалічного стану в аморфний, зерна його набрякають і збільшуються в об'ємі. При зберіганні напівфабрикату збивного борошняного випеченого відбувається зворотний процес: клейстеризований крохмаль з аморфного стану частково переходить у кристалічний і відбувається його ретроградація [191, 192].

Під час випікання денатурована клейковина втрачає вологу, знижується її гідратаційна здатність, а це призводить до ущільнення структури. Оскільки в бісквітних напівфабрикатах клейковина утворює каркас із тонких плівок, в якому розміщені частково клейстеризовані зерна крохмалю, можна припустити, що втрата води білками спричиняє підвищення жорсткості м'якушки. Тобто процес черствіння обумовлюється і ретроградацією крохмалю, і також трансформацією клейковинних білків [10, 191, 192].

Одним із раціональних способів забезпечення свіжості напівфабрикату збивного борошняного випеченого під час зберігання є використання інгредієнтів желатину і ксантану, які в поєднанні з ферментом трансглютаміназа мають широкий спектр технологічних властивостей і водночас сприяють поліпшенню споживних характеристик виробів, коригуванню поживної цінності, подовженню терміну зберігання.

Процес черствіння напівфабрикату збивного борошняного випеченого аналізували дослідженням ступеня усихання готових виробів під час зберігання (рис. 3.7). Зменшення цього показника підтверджує зростання ступеня зв'язування вільної вологи, що дозволяє збільшити термін зберігання готових виробів.

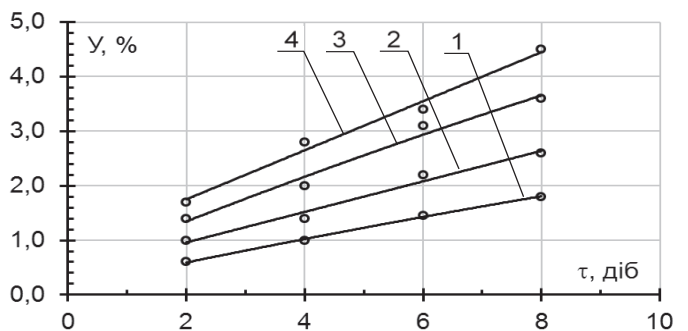


Рис. 3.7 Динаміка усихання напівфабрикату збивного борошняного випеченого за концентрації желатину 3,0%, ксантану 0, 2% з різним вмістом ферменту ТГ, %: 1- 0,05; 2- 0,07; 3- 0,09; 4 – контрольний зразок

Аналізом кривих (рис.3.7) встановлено зменшення ступеня усихання на 0,9% за зберігання протягом 2 діб та на 2,7% за зберігання протягом 8 діб відносно контрольного зразка готових виробів напівфабрикату збивного борошняного випеченого, які в рецептурі містять желатино-ксантановий комплекс за присутності ферменту трансглютаміназа межах 0,05...0,09%.

Отже, уповільнення черствіння напівфабрикату збивного борошняного випеченого пояснюється взаємодією гідроколоїдів желатину і ксантану з ферментом трансглютаміназа, що перешкоджає випаровуванню вологи із набряклих зерен крохмалю, утворенням міжмолекулярних водневих зв'язків, які окутують молекули крохмалю й захищають готовий виріб від швидкого усихання.

3.4.2 Дослідження деформації м'якушки.

Усихання напівфабрикату збивного борошняного випеченого під час зберігання сприяє також уповільненню швидкості зменшення показника деформації його м'якушки [10, 180]. Дослідження деформації м'якушки проводили через кожні 2 доби зберігання (рис.3.8).

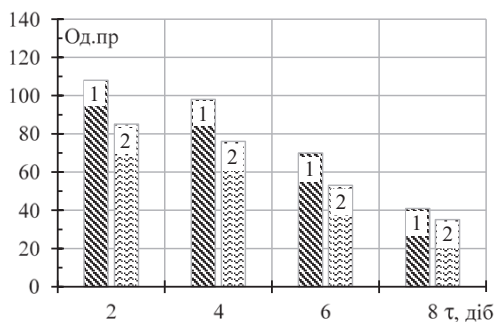


Рис. 3.8 Динаміка деформації м'якушки протягом зберігання напівфабрикату збивного борошняного випеченого - 1 (за вмісту: желатину 3,0%, ксантану 0, 2% ферменту ТГ, 0,09%); контрольного зразка - 2

Отриманими експериментальними даними підтверджено зниження цього показника і в досліджуваному зразку, і в контрольному. Однак кількісні значення зразка, що містить желатин і ксантан за присутності ферменту трансглютаміназа вищі, ніж у контрольного.

Встановлено, що значення деформації м'якушки зразка напівфабрикату збивного борошняного випеченого через 2 доби зберігання більше ніж у контрольного на 21,3 %, через 4 – на 22,4%, через 6 діб – на 24,3%, через 8 діб – на 14,6 %. Через 6 діб зберігання деформація м'якушки зразка напівфабрикату збивного борошняного випеченого зменшилася на 35,2% і склала 70 од. приладу, а контрольного зразка на 37, 6% і склала 53 од. приладу.

Отже, встановлено, що через 6 діб зберігання напівфабрикату збивного борошняного випеченого усихання відбувається повільніше на 2,4% ніж контрольного зразка вірогідно в наслідок зменшення кількості вільної води в готовому продукті. За раціональну тривалість зберігання приймаємо 6 діб. При подальшому зберіганні спостерігається швидке черствіння продукту, що підтверджується значним зменшенням деформації напівфабрикату збивного борошняного випеченого і контрольного зразка. Різниця деформації м'якушки між зразками склала лише 14,6%.

3.4.3 Дослідження крихкості м'якушки.

Крихкість напівфабрикату збивного борошняного випеченого характеризує його свіжість або ступінь черствіння [79, 80, 193, 194]. Дослідження крихкості м'якушки проводили через кожні 2 доби зберігання (рис. 3.9).

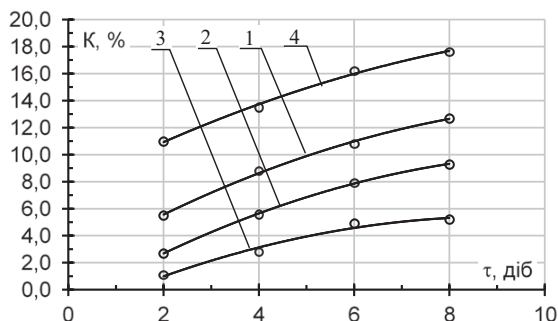


Рис. 3.9. Динаміка крихкості м'якушки напівфабрикату збивного борошняного випеченого за концентрації желатину 3,0%, ксантану 0, 2% з різним вмістом ферменту ТГ, %: 1- 0,05; 2- 0,07; 3- 0,09; 4 – контрольний зразок

Аналізом крихкості м'якушки напівфабрикату збивного борошняного випеченого (рис. 3.9), встановлено, що крихкість контрольного зразка та зразків напівфабрикату з різним вмістом ферменту ТГ протягом 8 діб зберігання збільшується. Однак, через 2 доби зберігання крихкість досліджуваних зразків була менша відносно контрольного за вмісту ферменту трансглютаміназа (%) відповідно 0,05 на 10%; - 0,07 на 24,5%; 0,09 на 59%. Через 8 діб зберігання крихкість досліджуваних зразків була менша від контрольного зразка відповідно на 30,7%; 52,8%; 72,2%.

Дослідженнями доведено, що під час зберігання напівфабрикату збивного борошняного випеченого протягом 8 діб деформація м'якушки зменшується, а крихкість збільшується. Усихання зразків напівфабрикату збивного борошняного випеченого відбувається повільніше, ніж у контрольного зразка.

Тобто, можна припустити, що крихкість зменшується внаслідок взаємодії гідроколоїдів, які забезпечують зв'язування вільної води.

3.5 Дослідження органолептичних показників якості напівфабрикату збивного борошняного випеченого

3.5.1 Дослідження пористості напівфабрикату збивного борошняного.

Відомо, що якість бісквітних напівфабрикатів визначають за об'ємом, пористістю, еластичністю м'якушки, вологістю, смаком, ароматом, кольором та станом скоринки [80, 81, 195, 196, 197]. Під час дослідження якості напівфабрикату збивного борошняного випеченого, нами було приділено особливу увагу пористості, яка, перш за все, характеризує органолептичні, структурно-механічні та технологічні показники готових виробів. Значення загальної пористості напівфабрикату збивного борошняного ми приймали як кількісну характеристику пишності готового виробу, зважаючи на те, що збільшення цього показника, вказує на зростання об'єму виробу і зниження його твердості.

Для встановлення змін структурно-механічних властивостей досліджували пористість напівфабрикату збивного борошняного випеченого з різним вмістом ферменту трансглютаміназа (рис.3.10).

З аналізу графіків (рис.3.10) видно, що введення до рецептури ферменту трансглютаміназа в межах 0,05...0,09% підвищує пористість структури напівфабрикату збивного борошняного випеченого від 4 до 9%. Очевидно, утворення міжмолекулярних водневих зв'язків із білками клейковинного комплексу борошна в наслідок каталітичного впливу трансглютаміназа, сприяє зменшенню ступеня поглинання вільної води клейковиною борошна [198], що забезпечує формування більш м'якої структури з тонкостінною пористістю та поліпшить смакові якості готового виробу і позитивно позначиться на сповільненні процесу черствіння готового виробу, а отже на збільшенні термінів його зберігання зі збереженням напівфабрикату знаходиться в нормативних межах [199, 200].

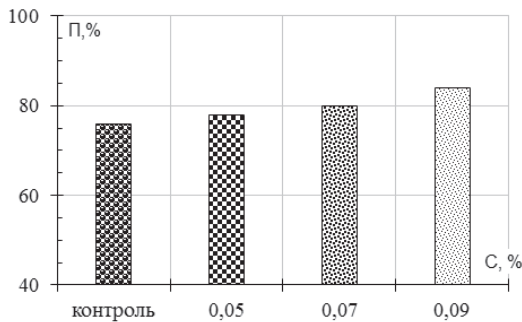


Рис. 3.10 Вплив ферменту трансглютаміназа на пористість структури напівфабрикату збивного борошняного випеченого за концентрації желатину 3,0%, ксантану 0, 2% з різним вмістом ферменту ТГ

Отже, за експериментальними даними всіх розглянутих зразків напівфабрикату збивного борошняного випеченого за концентрації желатину 3,0%, ксантану 0, 2% з різним вмістом ферменту ТГ пористість складає від 70% до 82%, що відповідає середнім і високим показникам даної продукції і вказує на добре пророблене тісто.

3.5.2 Визначення основних органолептичних показників якості.

Органолептичні властивості харчових продуктів оцінюються органами почуттів (смак, запах, консистенція, колір, зовнішній вигляд і т.ін.). Органолептичний аналіз харчових і смакових продуктів проводиться за допомогою дегустацій, тобто досліджень, які здійснюються за допомогою органів почуттів фахівця – дегустатора без застосування вимірювальних приладів [201].

Для визначення основних органолептичних показників якості напівфабрикату збивного борошняного випеченого були проведені дослідження, направлені на розробку кількісної шкали сенсорної оцінки готового продукту за 5-бальною системою з визначенням коефіцієнтів вагомості для показників якості продукту (табл.3.11) [202-205].

Розробка шкали сенсорної оцінки оцінки напівфабрикату збивного борошняного випеченого

Рівень якості, бал	Показники якості, коефіцієнт важливості				
	Зовнішній вигляд	Колір	Запах	Смак	Вигляд на розрізі
	0,1	0,15	0,25	0,35	0,15
5	Поверхня чиста, рівна, без тріщин	Однорідний, натуральний, насичений, притаманний даному виду продукції	Приємний, чистий, виражений, відповідає назві, повільно вивільнюється	Натуральний, збалансований, виражений, чистий, відповідає назві, без стороннього присмаку	Рівномірна пористість, без порожнеч, відсутні сліди непромісу, збереження форми
4	Поверхня рівна, без тріщин	Однорідний, натуральний, притаманний даному виду продукції	Натуральний, чистий, відповідає назві, але швидко вивільнюється	Натуральний, виражений, чистий, відповідає назві, без стороннього присмаку	Рівномірна пористість, збереження форми
3	Поверхня рівна, з невеликими тріщинами	Натуральний, притаманний даному виду продукції	Натуральний, невиражений, швидко вивільнюється	Натуральний, невиражений, відповідає назві, без стороннього присмаку	Рівномірна пористість, збереження форми, наявність слідів непромісу
2	Поверхня нерівна, з тріщинами	Натуральний, не виражений, притаманний даному виду продукції	Невиражений, дуже швидко вивільнюється	Невиражений, із післясмаком основних рецептурних інгредієнтів	Нерівномірна пористість, наявність порожнеч, непроміс
1	Поверхня нерівна, дірчаста з тріщинами	Натуральний, неоднорідний, з наявністю підгорілості	Різкий, не натуральний запах ароматизатора	З вираженим післясмаком основних рецептурних інгредієнтів, із стороннім присмаком	Нерівномірна пористість, наявність порожнеч, слабка пружність, значний непроміс

В ході органолептичних досліджень свіжовиготовленого напівфабрикату збивного борошняного випеченого встановлено, що у формуванні органолептичних показників даної продукції найбільш визначальними є однорідність і без тріщин поверхні, натуральність та однорідність кольору і без підгорілості, рівномірність пористості і без порожнеч, збереження форми і відсутність непромісу, чистота, натуральність і збалансованість смаку, вираженість та швидкість вивільнення запаху і смаку.

Результатами сенсорного оцінювання підтверджено високі органолептичні властивості розробленого напівфабрикату борошняного збивного випеченого типу бісквіт (рис. 3.11, 3.12), які узгоджуються з вимогами ДСТУ 8001:2015 [206].

Таблиця 3.12

Результати сенсорної оцінки напівфабрикату збивного борошняного випеченого

Найменування	№ дескриптора	Характеристика	Оцінка, бал	
			свіжовиготовлений	після 6 днів зберігання
Зовнішній вигляд	1	Однорідність	5,0	5,0
	2	Неоднорідність	0,9	0,9
	3	Рівна поверхня	1,5	0,5
	4	Нерівності на поверхні	4,0	4,0
	5	Тріщини на поверхні	0	0
Колір	1	Однорідний	4,0	4,0
	2	Натуральний	4,5	4,0
	3	Насичений	1,0	0,8
	4	Невиражений	3,5	3,0
	5	Неоднорідний, підгорілий	1,5	1,5
Запах	1	Чистий	5,0	5,0
	2	Натуральний	5,0	5,0
	3	Виражений	4,5	4,0
	4	Різкий	0,5	0,5
	5	Швидкість вивільнення	4,0	3,5
Смак	1	Натуральний	5,0	5,0
	2	Збалансований	5,0	4,5
	3	Виражений	4,5	4,0
	4	Чистий, відповідає назві	5,0	4,5
	5	Сторонній присмак	4,0	3,5
Вигляд на розрізі	1	Рівномірна пористість	4,5	4,0
	2	Збереження форми	5,0	5,0
	3	Пластичність	3,0	4,0
	4	Пружність	0,8	0,8
	5	Наявність порожнеч	2,0	1,5
	6	Нерівномірна пористість	0,5	0,5
	7	Сліди непромісу	0,5	0,8

Зважаючи на те, що розроблений напівфабрикат збивний борошняний випечений є новим продуктом на сучасному ринку харчових продуктів та

враховуючи граничні відхилення у функціонуванні підсистем А, Б, В, Д (рис. 3.1) для забезпечення отримання продукту з однаковим рівнем якості, з урахуванням коефіцієнтів вагомості за допомогою експертів на основі шкали сенсорної оцінки нами було проведено сенсорний аналіз [201-206] загальної органолептичної оцінки напівфабрикату свіжовиготовленого та після зберігання 6 діб (табл.3.12).

На профілях органолептичної оцінки свіжовиготовленого (рис. 3.11) та після зберігання 6 діб (рис. 3.12) напівфабрикату збивного борошняного випеченого у вигляді фіксованої площі, візуально підкреслено значимість кожного показника у межах конкретної характеристики, а саме зовнішній вигляд, колір, запах, смак, вигляд на розрізі.

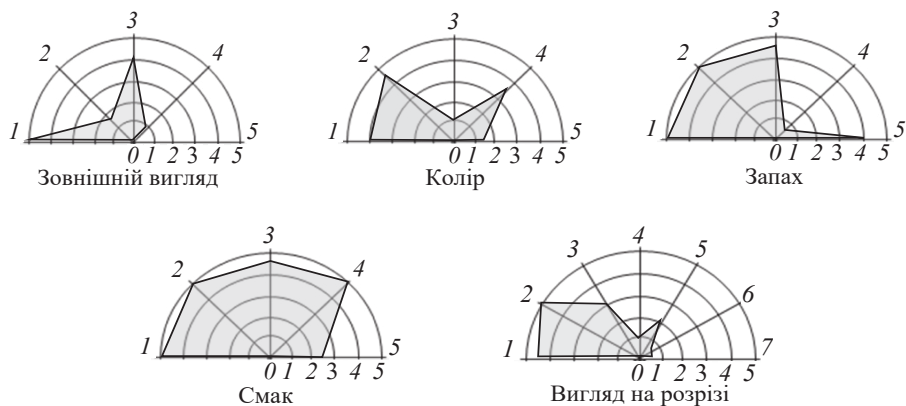


Рис.3.11. Профілі органолептичної оцінки свіжовиготовленого напівфабрикату збивного борошняного випеченого

Дослідження органолептичних показників напівфабрикату збивного борошняного випеченого у процесі зберігання за температури +2...6°C та вологості повітря, не більше 50% до 6 діб у споживчій тарі - боксах з картонних або полімерних матеріалів, закритих кришками (рис. 3.12) показали, що спостерігається незначні зміни вигляду на розрізі, зменшення інтенсивності і збільшення швидкості вивільнення запаху і смаку.

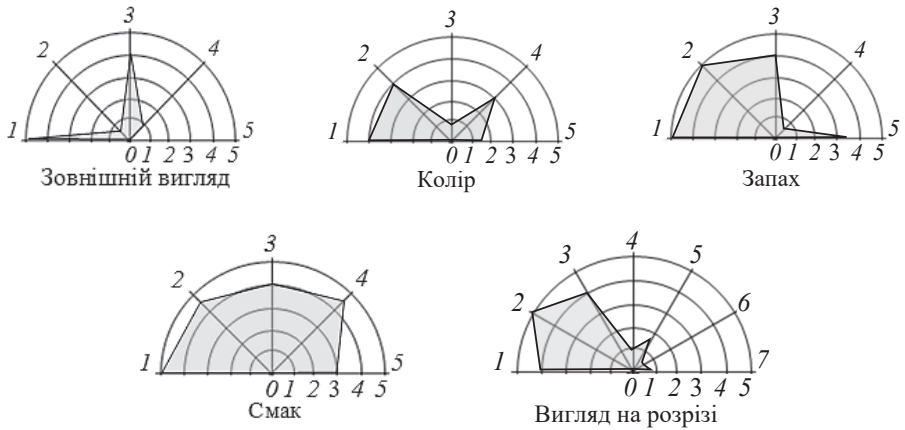


Рис.3.12. Профілі органолептичної оцінки напівфабрикату збивного борошняного випеченого після зберігання 6 діб

Зазвичай виробник і споживач прагнуть до оптимізації комплексного показника якості напівфабрикату збивного борошняного випеченого з урахуванням реальних умов (обмежень) виробництва і споживання продукції. При цьому, виробник орієнтується на отримання більшого прибутку за мінімізації витрат, що може супроводжуватись зниженням рівня якості, а споживачу потрібен максимальний рівень якості за найменшої ціни [207]. Це впливає на коефіцієнти вагомості (табл.3.13) попередньо визначених одиничних показників якості k_i та на оцінку невизначеності c величини комплексного показника якості K_n , які відображаються думкою експертів. Експертами, залежно від конкретної ситуації, може бути група спеціалістів або представники зацікавлених сторін, зокрема, сам споживач. Процеси виготовлення харчової продукції мають супроводжуватись постійним контролем якості на всіх етапах технологічного циклу. Корисність функції системи якості заснована на зворотному зв'язку результатів контролю з відповідними впливами (технічними, технологічними, економічними та або організаційними) на процеси створення продукту.

Для перевірки адекватності впливу оптимальних концентрацій основних рецептурних компонентів [103, 104] кінетично стійкої піноподібної системи на кількісну залежність та форму зв'язку коефіцієнта якості від технологічних чинників для визначення комплексного показника якості (рис.3.13) проводили експертну оцінку зразків напівфабрикату збивного борошняного випеченого в межах желатину – 2,0...5,0%; ксантан – 0,1...0,35%, ферменту трансглютаміназа – 0,05...0,09% для забезпечення кінетично стійкої піноподібної системи та досліджували кінетику K_{II} в рамках двопараметричних моделей.

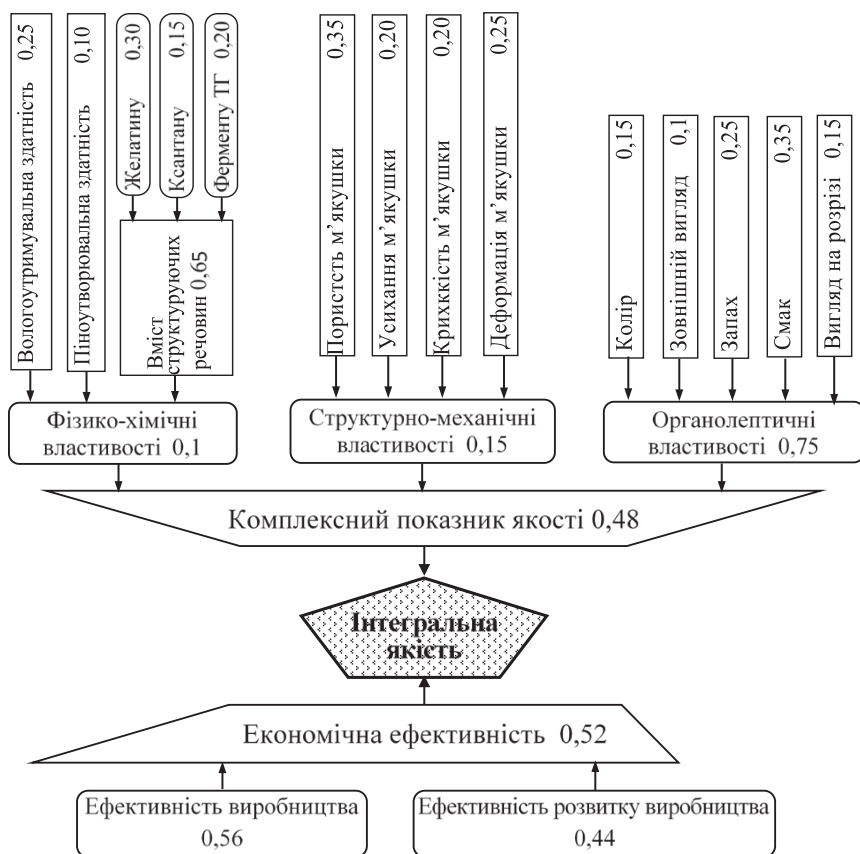


Рис. 3.13. Формування інтегрального показника якості напівфабрикату збивного борошняного випеченого

Вплив технологічних чинників на якість напівфабрикату збивного борошняного випеченого оцінювали шляхом моделювання комплексного коефіцієнта якості готового продукту (K_n), що було отримано експертним шляхом, при чому враховувалась узгодженість експертів. Коефіцієнт конкордації (кендела) вибирався не менше ніж 0,95. В разі слабкої узгодженості експертної оцінки кількість експертів збільшувалась [208-210]. Ми вважаємо, що K_n має один локальний екстремум в межах зміни технологічних чинників (желатин, фермент трансглютаміназа і ксантан).

Моделюванням [208-210] встановлено, що рівняння залежності $K_n(x)$ в рецептурі напівфабрикату збивного борошняного випеченого від вмісту желатину (рівняння 3.1), камеді ксантану (рівняння 3.2) ферменту трансглютаміназа (рівняння 3.3) – мають вигляд полінома другого ступеня.

$$K_n(x) = 1,47 + 0,3916x_1 + 0,0775x_2 + 0,0875x_1 x_2 + 0,4680x_1^2 + 0,1412x_2^2 \quad (3.1)$$

$$K_n(x) = 1,47 + 0,3916x_1 - 0,3576x_1 x_3 + 0,4680x_1^2 - 0,1820x_3^2 \quad (3.2)$$

$$K_n(x) = 1,47 + 0,0775x_2 + 0,0825x_2 x_3 + 0,1412x_2^2 - 0,1820x_3^2 \quad (3.3)$$

Для визначення оптимальних значень вологоутримувальної здатності – одного з головних чинників формування якісної структури напівфабрикату збивного борошняного випеченого та впливу на нього вмісту желатину розраховували K_n та будували його залежність від вмісту желатину, ферменту трансглютаміназа і ксантану в рамках двопараметричних моделей: желатин-фермент ТГ; ксантан- фермент ТГ; желатин- ксантан.

Встановлено, що відносний коефіцієнт якості K_n має максимальне значення за вмісту желатину 3,0%, при цьому вологоутримувальна здатність (рис. 3.13) складає 85% що узгоджується з результатами моделювання комплексного показника якості напівфабрикату збивного борошняного випеченого.

Доведено, що K_n має максимальне значення за вмісту ферменту трансглютаміназа 0,09%, при цьому вологоутримувальна здатність складає 87% (рис. 3.13). Отриманий результат узгоджується з даними експертної оцінки

щодо впливу ферменту ТГ на якість напівфабрикату збивного борошняного випеченого.

Визначено, що за вмісту ксантану 0,2%, відносний коефіцієнт якості K_L має максимальне значення, при цьому вологоутримувальна здатність складає 78,5% (рис.3.14). Отриманий результат узгоджується з даними експертної оцінки щодо впливу ксантану на якісні характеристики напівфабрикату збивного борошняного випеченого.

3.6 Розроблення рекомендацій з формування асортименту та використання напівфабрикату збивного борошняного випеченого у складі кондитерської продукції

Поєднання желатину в композиції з ксантаном та ферментом ТГ в рецептурі напівфабрикату надало виробам рівномірної пористості, легкості та розпушеності, забезпечило збереження смакових властивостей протягом 6 діб зберігання. Напівфабрикат збивний борошняний випечений із заміною яєчних продуктів на желатин в якості піноутворювального інгредієнту є новим продуктом в існуючому асортиментному переліку традиційних продуктів типу бісквіт і може бути використаний в складі кондитерської кулінарної продукції: тістечок, рулетів, тортів, тощо. [8, 15, 94, 132].

Проведені дослідження харчової цінності, структурно-механічних, фізико-хімічних та якісних показників напівфабрикату збивного борошняного, (підрозділи 3.1...3.4) склали наукове підґрунтя для розробки рекомендацій з використання напівфабрикату у складі кондитерської продукції [211].

За результатами комплексу експериментальних досліджень та на підставі узагальнення технологічних характеристик встановлено, що напівфабрикат збивний борошняний, виготовлений із сухої суміші (ТУ У 15.5-01566330-190:2006) може використовуватися як харчовий продукт для виробництва кулінарної продукції, зокрема тістечок, тортів і рулетів (рис. 3.14, 3.15, 3.16).

Під час технологічних досліджень та випробувань розроблено рецептурний склад, технологію виробництва та асортимент кондитерських виробів – тістечок, тортів і рулетів та затверджені в установленому порядку технологічні картки, що наведені в додатках (додатки Е1, Е2, Е3) [211].

Тістечко «Вишневе» – легкий і надзвичайно повітряний десерт. Це кондитерський виріб, який складається з кількох листів напівфабрикату збитого борошняного випеченого з прошарками крему між листами (рис. 3.14). Зверху тістечко прикрашають візерунками з крему «Вершкового» та фруктів (плоди вишні) (рис. 3.14).

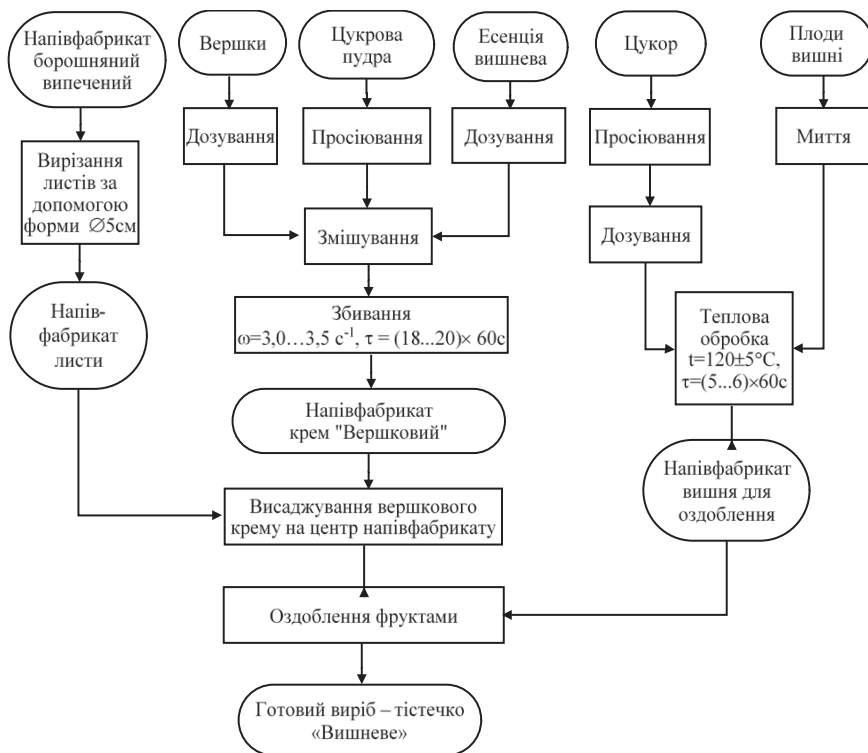


Рис.3.14. Технологічна схема виготовлення тістечка «Вишневе»

Також для прошарків між листами тістечка використовують крем масляний, масляно-заварний, масляно-шоколадний, йогуртовий крем, білковий

крем, вершковий. Для оздоблення використовують цукати, фрукти (плоди малини, суниці та ін.).

Торт «Шоколадне диво» – легкий і надзвичайно повітряний десерт. Це кондитерський виріб, який складається з декількох коржів напівфабрикату збитого борошняного випечених з додаванням какао) з прошарками крему між коржами (рис. 3.14). Зверху торт прикрашають візерунками з крему та фруктів, або кондитерською присипкою (рис. 3.14).

Для прошарків між коржами використовують крем масляний, масляно-заварний, масляно-шоколадний, йогуртовий крем, білковий крем, вершковий,

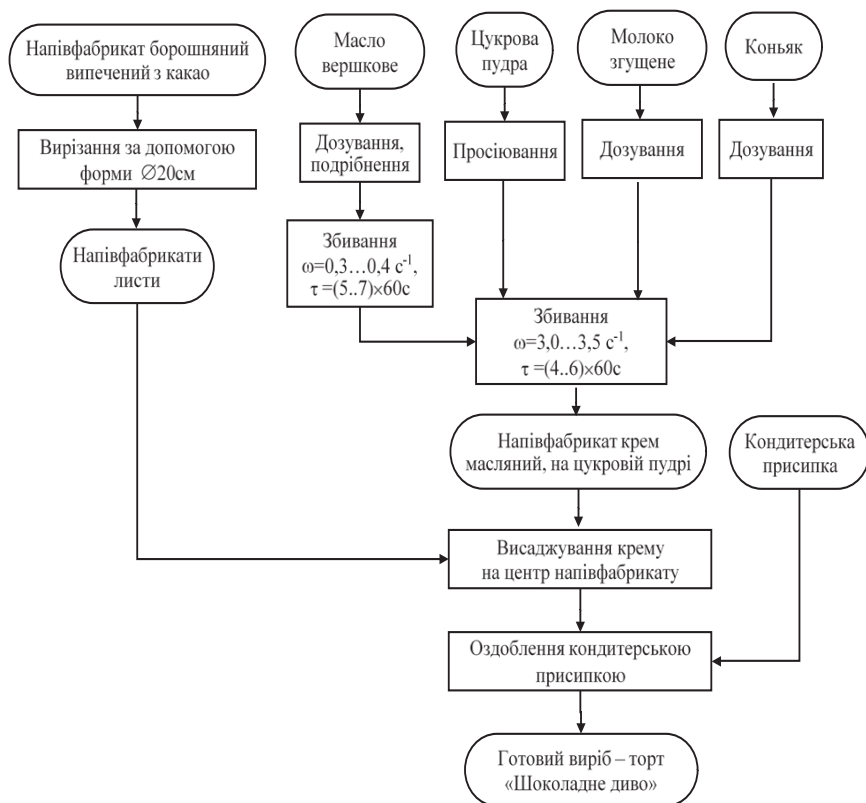


Рис.3.15. Технологічна схема виготовлення торта «Шоколадне диво»

Рулети являють собою згорнуті пласти випеченого напівфабрикату збитого борошняного, перешаровані різноманітною начинкою. Товщина шару випеченого напівфабрикату становить 6,0...9,0 мм. Для начинок використовують фруктову (джем, повидло, варення без кісточок, консервовані фрукти), а також сирну, горіхову, медову, мигдальну, макову або шоколадно-кремову начинку (рис.3.16).

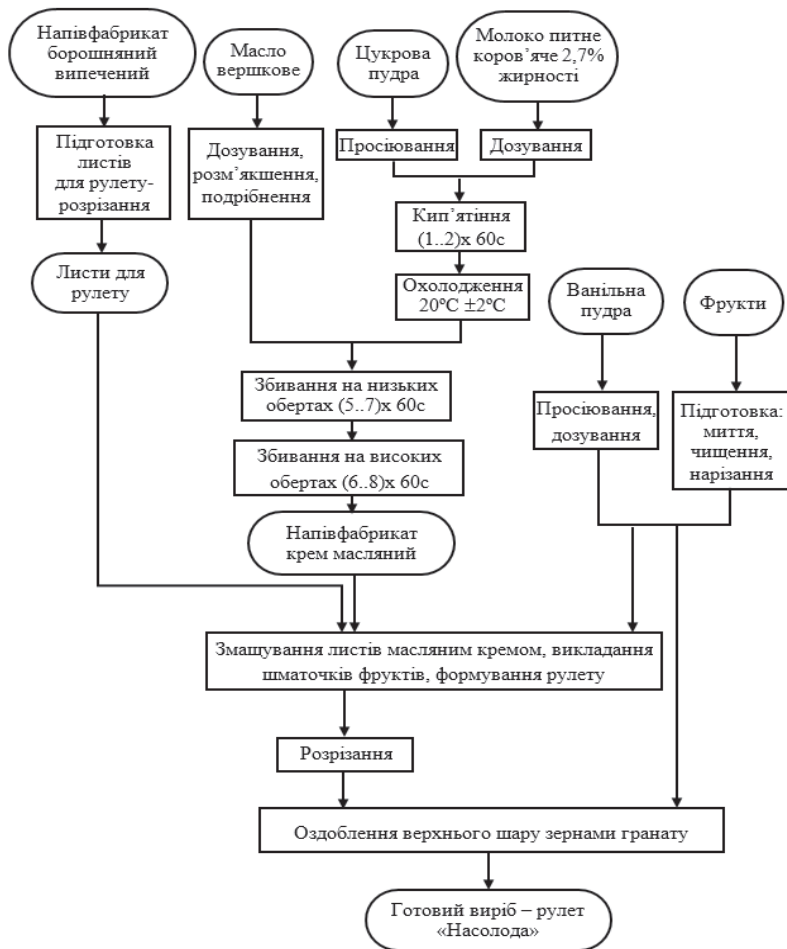


Рис.3.16. Технологічна схема виготовлення рулетів «Насолода»

Для обробки поверхні використовують шоколадну глазур, цукрову пудру. Рулети випускають штучними масою нетто не більше 500 г і ваговими. Асортимент рулетів різноманітний: рулет фруктовий ваговий, рулет шоколадний ваговий, рулет з варенням, рулет медовий з варенням, рулет з мигдальною начинкою, рулет глазуrowаний шоколадною помадою, рулет з маковою начинкою, рулет глазуrowаний лимонною помадою та ін.

За результатами проведених експериментальних досліджень встановлено, що використання напівфабрикату збивного борошняного може бути запропоноване закладам масового харчування у складі кулінарної продукції – кондитерських виробів: тістечках, тортах і рулетах з новими споживчими властивостями, дозволить розширити асортимент кондитерських виробів, підвищити ефективність роботи закладів ресторанного господарства за рахунок використання нової продукції функціонального призначення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Тичинська А.І., Наумова М.А. Дослідження ринку кондитерських виробів України // Економіка харчової промисловості. 2018. № 1. С. 47.
2. Розробка новітніх технологій виробів з борошна с заданими властивостями : монографія / О. О. Сімакова, Р. П. Никифоров. – Кривий Ріг : ДонНУЕТ, 2018. – 146 с.
3. Капетула, С.М. Удосконалення технології бісквітних напівфабрикатів для борошняних кондитерських виробів : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.18.01 "Технологія хлібопекарських продуктів, кондитерських виробів і харчових концентратів" /Капетула Сергій Маркіянович ; наук. кер. К. Г. Юргачова; Одес. нац. акад. харч. технологій. – Одеса : ОНАХТ, 2013. – 20 с.
4. Сучасні технології кондитерського виробництва: підручник / [Гайдук О. В., Герлянд Т. М., Дрозіч І. А., Кулалаєва Н. В., Романова Г. М.]. – К.: ІПТО НАПН України, 2020. – 440 с..
5. Агафоничев В.П., Петрова Т.І., Кругалева С.С. Якість сухих яєчних продуктів // Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. 2008. – №9. – С. 3 – 6.
6. Васькина И. А. Использование сухих яичных продуктов при производстве бисквитного полуфабриката / И. А. Васькина, В. В. Дубцов, Е. А. Гужевский // Кондитер, и хлебопек, пр-во. 2004.–№ 12.– С. 12 – 13.
7. Мельник Е.В. Разработка технологии мучных изделий профилактического назначения с использованием сухих яйцепродуктов: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.18.01. М., 2009. 27 с.
8. Наукові підходи та практичні аспекти оптимізації асортименту продуктів спеціального призначення: Монографія /Рудавська Г.Б., Тищенко Є.В.,Притульська Н.В. – К.: Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2002. – 371 с.
9. Сильчук, Т. Підвищення харчової цінності хлібобулочних виробів в закладах ресторанного господарства / Т. Сильчук, А. Коваленко // Здобутки, проблеми та перспективи розвитку готельно-ресторанного та туристичного

бізнесу : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, 29 – 30 жовтня. 2012 р. – К.: НУХТ, 2012. – С. 63-65.

10. Лісовська Т.О. Технологія бісквітного напівфабрикату з використанням борошна кукурудзяного екструдованого: Дис...канд. техн.наук. -Харків, 2018. -200 с.

11. Евелева В.В. Новая комплексная пищевая добавка для повышения качества и хранимоспособности мучных кондитерских изделий./ В.В. Евелева, Т.М.Черпалова // Материалы XII международной конференции «Кондитерские изделия XXI века» Москва, 25 – 27 февраля 2019 г. Международная промышленная академия. С.122-124.

12. Raja Mohd Hafidz, R.N., Yaakob, C.M., Amin, I., Noorfaizan, A. (2011), “Chemical and functional properties of bovine and porcine skin gelatin”, International Food Research Journal, Vol. 18, pp. 787-791.

13. A. E. Manbeck; C. G. Aldrich; S. Alavi; T. Zhou; R. A. Donadelli (2017) The effect of gelatin inclusion in high protein extruded pet food on kibble physical properties Animal Feed Science and Technology, Vol: 232, Page: 91-101. DOI10.1016/j.anifeeds.2017.08.010.

14. Пілюгіна І.С. Технологія маршмелоу з використанням соліоблізованих речовин і рослинних добавок антоціанової природи. Автореферат дис... канд.техн. наук. Харків: ХДУХТ, 2018. – 23 с.

15. Сборник рецептов блюд и кулинарных изделий: для предприятий общественного питания / [авт.-сост. : А. И. Здобнов, В. А. Цыганенко]. – К. : Арий ; М. : ИКТЦ «Лада», 2009. – 680 с.

16. Аймесон А. Пищевые загустители, стабилизаторы, гелеобразователи / А. Аймесон (ред.-сост.). – СПб. : ИД «Профессия», 2012. – 408 с.

17. Григоренко А. М. Технологія желейних і збивних напівфабрикатів на основі драглеутворювачів білково-полісахаридної природи та їх використання в кондитерських виробках : дисс. ... канд. техн. наук : 05.18.01 / Григоренко А. М. – Харків, 2013. – 389 с.

18. Филлипе Г. О. Справочник по гидроколлоидам / Г. О. Филлипе, П. А. Вильямс. – СПб. : ГИОРД, 2006. – 536 с.

19. Raja Mohd Hafidz, R.N., Yaakob, C.M., Amin, I., Noorfaizan, A. (2011), “Chemical and functional properties of bovine and porcine skin gelatin”, *International Food Research Journal*, Vol. 18, pp. 787-791.

20. Nurul, A., Sarbon, N. (2015), “Effects of pH on functional, rheological and structural properties of eel (*Monopterus* sp.) skin gelatin compared to bovine gelatin”, *International Food Research Journal*, Vol. 22(2), pp. 572-583.

21. Huang, Tao, Tu, Zong-cai, Hui, Wang, et al. (2017), “Promotion of foam properties of egg white protein by subcritical water pre-treatment and fish scales gelatin”, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, Vol. 512, pp. 171-177.

22. Ветров В. М. Технологія молочно-білкових напівфабрикатів зі сколотин для виробництва структурованої десертної продукції : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.16 / В. М. Ветров. – Донецьк, 2007. – 20 с.

23. Бадрук В. В. Рациональне використання цукрозамінників нового покоління при виробництві маршмелоу спеціального призначення : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.01 / Бадрук В. В. – К., 2013. – 20 с.

24. Кияниця С. Г. Розробка раціональної технології цукерок з комбінованими корпусами, які формуються методом коекструзії : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.01 / С. Г. Кияниця. – К., 2006. – 20 с.

25. Gansbiller, Moritz; Schmid, Jochen; Sieber, Volker (2019) In-depth rheological characterization of genetically modified xanthan-variants *Carbohydrate polymers*. Vol: 213, Page: 236-246. DOI:10.1016/j.carbpol.2019.02.055.

26. Hossein Habibi; Kianoush Khosravi-Darani (2017) Effective variables on production and structure of xanthan gum and its food applications: A review. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, Vol: 10, Page: 130-140. DOI:10.1016/j.bcab.2017.02.013

27. C.-S. Wang, N.Virgilio, P. Wood-Adams, M.-C. Heuzey. (2017) A mechanism for the synergistic gelation properties of gelatin B and xanthan gum

aqueous mixtures. *Carbohydrate Polymers*, Vol: 175, Page: 484-492. 2017. DOI:10.1016/j.carbpol.2017.08.015

28. Jimin Guo, Liming Ge, Xinying Li, Changdao Mu, Defu Li.(2014) Periodate oxidation of xanthan gum and its crosslinking effects on gelatin-based edible films. *Food Hydrocolloids*, Vol. 39, Pages 243-250. DOI:10.1016/j.foodhyd.2014.01.026.

29. Jingwen Cai, Jie Hong Chiang, Marilyn Yi Pei Tan, Lin Kiat Saw, Mann Na Ngan-Loong (2016) Physicochemical properties of hydrothermally treated glutinous rice flour and xanthan gum mixture and its application in gluten-free noodles. *Journal of Food Engineering*, Volume 186, October 2016, Pages 1-9/ DOI:10.1016/j.jfoodeng.2016.03.033.

30. M. A. S. P. Nur Hazirah, M. I. N. Isa, N. M. Sarbon (2016) Effect of xanthan gum on the physical and mechanical properties of gelatin-carboxymethyl cellulose film blends. *Food Packaging and Shelf Life*, Volume 9, Pages 55-63. DOI:10.1016/j.fpsl.2016.05.008.

31. Filiz Altay, Sundaram Gunasekaran (2013) Gelling properties of gelatin–xanthan gum systems with high levels of co-solutes. *Journal of Food Engineering*, Volume 118, Issue 3, Pages 289-295. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2013.04.018

32. Veljko Krstonošić; Maja Milanović; Ljubica Dokić (2019) Application of different techniques in the determination of xanthan gum-SDS and xanthan gum-Tween 80 interaction. *Food Hydrocolloids* Volume 87, Pages 108-118. DOI:10.1016/j.foodhyd.2018.07.040

33. Ерасов В. С. Стабильность и реологические свойства водных многокомпонентных пен. Автореф. дис... канд.техн. наук. – М., 2019. – 26 с.

34. Mohsen Dabestani; Samira Yeganehzad (2019) Effect of Persian gum and Xanthan gum on Foaming Properties and Stability of Pasteurized Fresh Egg White Foam *Food Hydrocolloids* Volume 87, Pages 550-560. DOI:10.1016/j.foodhyd.2018.08.030.

35. A. Noorlaila; H. Nor Hasanah; R. Asmeda; A. Yusoff (2018) The effects of xanthan gum and hydroxypropylmethylcellulose on physical properties of sponge cakes Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, DOI:10.1016/j.jssas.2018.08.001.

36. Agyare K. K. Emulsifying and foaming properties of transglutaminase-treated wheat gluten hydrolysate as influenced by pH, temperature and salt/ Kingsley K. Agyare, Kwaku Addo, Youling L. Xiong // Food Hydrocolloids. – 2009. – Vol. 23. – P.72–81.

37. Motoki M. Transglutaminase and its use in food processing/ M.Motoki, K.Seguro // Trends in Food Science and Technology. – 1998. –Vol. 9. – 204–210 p.

38. Folk J. E. The ε-(γ-glutamyl) lysine cross-link and the catalytic role of transglutaminase / J. E. Folk, J. S. Finlayson // Advances in Protein Chemistry. – 1977. – Vol. 31. – P. 1–133.

39. Nonaka M. Polymerization of several proteins by Ca²⁺- independent transglutaminase derived from microorganisms/ M. Nonaka, H. Tanaka, A. Okiyama, M. Motoki, H. Ando, K. Umeda, A. Matsuura // Agricultural and Biological Chemistry. – 1989. –Vol. 53. – P. 2619–2623.

40. Min Yi Han. Microbial Transglutaminase Catalyzed the Cross-Linking of Myofibrillar/Soy Protein Isolate Mixtures [Электронный ресурс] Min Yi Han, Hai Zhen Zu, Xing Lian Xu, Guang Hong Zhou // Journal of Food Processing and Preservation (Impact Factor: 0.45). 09/2014; DOI: 10.1111/jfpp.12316 // Режим доступа: http://www.researchgate.net/publication/265172050_Microbial_Transglutaminase_Catalyzed_the_Cross-Linking_of_MyofibrillarSoy_Protein_Isolate_Mixtures/ – Загл. зекрану

41. ACTIVA® Transglutaminase. Substrate Specificity (food proteins) [Электронный ресурс]/ Ajinomoto. 2014. – Режим доступа: http://www.ajinomoto.de/cms/front_content.php?idcat=183

42. Koksel V. Effects of transglutaminase enzyme on fundamental rheological properties of sound and bug damaged wheat flour dough / V. Koksel, P. Sivri, D. Steffe // *Cereal Chemistry*. – 2001. – Vol. 78. – P. 26–30.

43. Kuraishi C. Transglutaminase: Its utilization in the food industry/ C. Kuraishi, K. Yamazaki, Y. Susa // *Food Rev. Int.* – 2001. – Vol.17. – P. 221–246.

44. Tailoring physical properties of transglutaminase-modified gelatin films by varying drying temperature / Fei Liu, Hamid Majeed, John Antoniou and oth. // *Food Hydrocolloids*. - 2016, Vol. 58, P. 20-28

45. Science and Technology for New Culinary Techniques / Jorge Ruiz , Julia Calvarro , José Sánchez del Pulgar and oth. // *Journal of Culinary Science & Technology*. – 2013, Vol. 11, Issue 1: Creativity and Innovation in Haute Cuisine, P. 66-79

46. Modification of gelatin functionality for culinary applications by using transglutaminase / Julia Calvarro Trinidad Perez-Palacios Jorge Ruiz // *International Journal of Gastronomy and Food Science*. – 2016, Vol. 5–6, P. 27-32.

47. Лобачова Н. Л. Удосконалення технології безглютенових хлібобулочних виробів : монографія / Н. Л. Лобачова. – Суми: СНАУ, 2015. – 214 с.

48. Капрельянц Л. В. Структурутворення у розчинах желатину під дією ферменту трансглютамінази / Л. В. Капрельянц, Т. В. Шпирко, А. А. Зинов'єв, О. В. Шалигін // *Харчова наука і технологія*. – 2010. – № 4. – С. 29-31.

49. Shaabani S., Yarmand M. S., Kiani H., Emam-Djomeh Z. (2018). The effect of chickpea protein isolate in combination with transglutaminase and xanthan on the physical and rheological characteristics of gluten free muffins and batter based on millet flour. *Food Science and Technology*, 90, 362-372. DOI:10.1016/j.lwt.2017.12.023.

50. Cristina Marcoa, Cristina M. Rosell (2008) Effect of different protein isolates and transglutaminase on rice flour properties. *Journal of Food Engineering*, Vol.84, Issue 1, Pages 132-139. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2007.05.003.

51. Шаніна О.М. Вологоутримувальна здатність борошняного тіста з додаванням ферменту трансглютаміназа. // О.М. Шаніна, Н.Л.Лобачова, В.О. Зверев. ОНАХТ. Наукові праці. 2014. Випуск 46. Том 1. – С.153–157.

52. Beck M., Jekle M., Selmair P. L., Koehler P., Becker T. (2011). Rheological properties and baking performance of rye dough as affected by transglutaminase. *Journal of Cereal Science*, 54, Issue 1, 29-36. DOI:10.1016/j.jcs.2011.01.012.

53. Баль–Прилипко, Л. Эффективность катализа образования изопептидных связей препаратами трансглутаминазы / Л. Баль–Прилипко, А. Виннов, Б. Леонова, А. Гармаш, Р. Александров // Продовольча індустрія АПК. – 2014. – № 1. – С. 6-10.

54. Fei Liu, Hamid Majeed, John Antoniou, Yue Li, Fang Zhong (2016) Tailoring physical properties of transglutaminase-modified gelatin films by varying drying temperature. *Food Hydrocolloids*, Volume 58, Pages 20-28. DOI:10.1016/j.foodhyd.2016.01.026

55. Wang, C.-S., Virgilio, N., Wood-Adams, P., Heuzey, M.-C. (2017). A mechanism for the synergistic gelation properties of gelatin B and xanthan gum aqueous mixtures. *Carbohydrate Polymers*, 175, 484–492. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.08.015>

56. Altay, F., Gunasekaran, S. (2013). Gelling properties of gelatin–xanthan gum systems with high levels of co-solutes. *Journal of Food Engineering*, 118 (3), 289–295. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.04.018>

57. Liu, F., Majeed, H., Antoniou, J., Li, Y., Ma, Y., Yokoyama, W. et. al. (2016). Tailoring physical properties of transglutaminase-modified gelatin films by varying drying temperature. *Food Hydrocolloids*, 58, 20–28. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.01.026>

58. PĂTRAȘCU L., APRODU I., VASILEAN I., BANU I. (2017) Effect of transglutaminase and neutrase on the properties of protein enriched rice flour. *Animal Science*. Vol. LX., P.291-299.

59. Nitcheu N., P. H. Effect of transglutaminase and cyclodextrinase on the rheological and shelf-life characteristics of oat bread. Thesis presented in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Technology (Food Technology) Cape Peninsula University of Technology.– 2014, 184 p.

60. Шаніна О. М. Вплив ферменту трансглютаміназа на властивості білків борошна/ О. М. Шаніна, Н. Л. Лобачова, В. О. Зверев// Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 5/11 (71) 2014. С.28-33

61. Truong, V.-D. Cross-Linking and Rheological Changes of Whey Proteins Treated with Microbial Transglutaminase [Text] / V.-D. Truong, D. A. Clare, G. L. Catignani, H. E. Swaisgood // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2004. – Vol. 52, № 5. – P. 1170–1176. doi:10.1021/jf034397c.

62. Цукор білий. Технічні умови. ДСТУ 4623-2006 – Держспоживстандарт України К., 2006. –13 с

63. ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості». Держспоживстандарт України К., 2014

64. ДСТУ 46.004:99. Борошно пшеничне. Технічні умови. // Термін дії встановлено з 15.08.1999. Київ, Держспоживстандарт України, 1999. 10 с.

65. ДСТУ 1009:2005. Цукор ванільний Технічні умови. ДСТУ 1009:2005 – Держспоживстандарт України К., 2006. –12 с.

66. ДСТУ 4619: 2006 Вироби кондитерські. Правила приймання К., 2006. –12 с

67. ДСТУ 5059:2008 Вироби кондитерські. Методи визначання цукрів. Держспоживстандарт України К., 2008. –14 с.

68. Бегеулов М. Хлебопекарные свойства пшеничной муки // Хлебопродукты. 2003. № 4. С. 22-23.

69. Дробот В.И., Сачук Н.И., Чагаров А.М. Улучшение качества муки со слабой клейковиной на мукомольных заводах // Хранение и переработка зерна. 2001. № 3(21). С. 49-51.

70. Концентрати харчові. Методи визначання органолептичних показників, готовності концентратів до вживання та оцінювання дисперсності суспензій: ДСТУ7662:2014 К., 2009. –13 с.

71. Концентрати харчові методи визначання вологи : ДСТУ 8004:2015– К., 2015. –13 с.

72. Борошно пшеничне. Визначення вмісту сирії клейковини механічними засобами : ДСТУ ISO 21415-2:2009 – К., 2009. –13 с.

73. ДСТУ 46.004:99. Борошно пшеничне. Вимоги до якості пшеничного борошна // Термін дії встановлено з 15.08.1999. Київ, Держспоживстандарт України, 1999. 10 с.

74. ДСТУ 3698-98 (ГОСТ 13496.12-98) «Комбікорми і комбікормова сировина. Метод визначення загальної кислотності. (Комбікорма и комбикормовое сырье. Метод определения общей кислотности)»

75. Вироби кондитерські. Методи визначання масових часток вологи та сухих речовин : ДСТУ 4910:2008 – К., 2008. –13 с.

76. ДСТУ 8029:2015 Рыба и рыбные продукты. Методы определения влаги. К., 2015. –12 с.

77. Пенетромтр ПМДП для мясных и других продуктов. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.- М.: НИИ тепловых процессов, 1991.-11 с.

78. Пирогов А.Н. Исследование инвариантности метода внедрения конуса при определении предельного напряжения сдвига /А.Н.Пирогов, Д.В.Доля //Хранение и переработка сельхозсырья. - 2002. - №10. - С.17-19.

79. Лурье И. С., Скокан Л. Ю., Цитович А. П. Технохимический и микробиологический контроль в кондитерском производстве: справочник. М. : Колосс, 2003. 416 с.

80. Дробот В. І., Арсеньєва Л. Ю., Білик О. А. та ін. Лабораторний практикум з технології хлібопекарського та макаронного виробництв: навч. посіб.; за ред. В. І. Дробот. Київ: Центр навч. літ-ри, 2006. 341 с.

81. Барабанова, Е. Н. и др. Справочник товароведов продовольственных товаров. – Москва.: Экономика, 2004. –319 с.

82. Рео–Вискозимтр по Хепплеру Техническое описание, способ употребления и возможности применения. – VEB MLW PRUFGERATE–WERK MEDINGEN/DRESDEN: 1983. - 22 с.

83. Лурье И.С., Скокан Л.Е., Цитович А.П. Технохимический и микробиологический контроль в кондитерском производстве: Справочник. – М.: Колос, 2003. 416 с.

84. Перцевой Ф.В. Разработка технологии получения икры белковой красной: Дис...канд. тех. наук. М.: 1983, 173 с.

85. Касьянова Н.О. Вплив стабілізаторів структури на перерозподіл форм зв'язку води в сметанних десертах/ Н.О. Касьянова, Т.А.Скорченко / //Молочна пром-сть.- 2005. - №2(17). – С.34-36.

86. Остриков А.Н. Исследование гороха с белковой добавкой методом дифференциально-термического анализа / А.Н. Остриков, И.В. Кузнецова, В.Н. Василенко // Известия ВУЗОВ Пищевая технология. - №2. -2003.- С. 94-96

87. Остриков А.Н. Исследование форм связи влаги в топинамбуре методом дифференциально-термического анализа / А.Н.Остриков, И.В.Кузнецова, И.А.Зуев //Хранение и переработка сельхозсырья. - 2004. - №7. - С. 33-35.

88. Ефременко В.И. Изучение полисахаридных комплексов методом инфракрасной спектроскопии / В.И. Ефременко, Е.П. Ефимцева // Антибиотики. – 1969, № 3. – С. 470–477.

89. Patent 3263484 United States, МПК7 G 01 N 25/20. Differential microcalorimeter / E. S. Watson et al; заявитель и патентообладатель Perkin-Elmer, US.. - заявл. 04.04.1962; опубл. 021.08.1966. 4. Patent 4848921 United States, МПК7 G 01 N 25/00. Apparatus and method for power compensation in a differential scanning calorimeter / Wolfgang Kunze; заявитель и патентообладатель Bodenseewerk PerkinElmer & Co., GmbH. - заявл. 09.22.1986; опубл. 07.18.1989

90. Жарский, И. М. Планирование и организация эксперимента: учеб. пособие / И. М. Жарский, Б. А. Каледин, И. Ф. Кузьмицкий. – Минск: БГТУ, 2003. – 184 с.

91. Адлер Ю.П., Маркова Е.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. - М.: Наука, 1982. -284 с.

92. Пинчук С.И. Организация эксперимента при моделировании и оптимизации технических систем. / С.И. Пинчук / Учебное пособие. – Днепропетровск: Издательская организация "Дива", 2008. – с. 248.

93. ДСТУ 3946:2018 Система розроблення і поставлення продукції на виробництво. Продукція харчова. Настанови щодо розроблення і поставлення на виробництво нових та новітніх харчових продуктів. Держспоживстандарт України К., 2018. –14 с.

94. Сборник рецептов мучных кондитерских и булочных изделий для предприятий общественного питания (2017). СПб.: Троицкий мост, 194.

95. Концентрати харчові. Методи визначання органолептичних показників, готовності концентратів до вживання та оцінювання дисперсності суспензії : ДСТУ 7662:2014 – К., 2014. –13 с

96. Вироби кондитерські. Методи визначення органолептичних показників якості, розмірів, маси нетто і складових частин : ДСТУ 4683:2006 – К., 2006. –13 с

97. ДСТУ 7045:2009 Вироби хлібобулочні. Методи визначання фізико-хімічних показників. Зі зміною та поправкою : ДСТУ 7045:2009 – К., 2009. –18 с.

98. ДСТУ 5023:2008 Вироби кондитерські борошняні. Метод визначання здатності до намокання : ДСТУ 5023:2008 – К., 2008. –16 с

99. ДСТУ 7169:2010 Корми, комбікорми, комбікормова сировина. Методи визначання вмісту азоту і сирого протеїну : ДСТУ 7169:2010 – К., 2010. –18 с

100. Шеховцева Н.Н. Прибор для автоматического определения белка в молоке методом Кьельдаля /Н.Н. Шеховцева, Н.И. Перрассе, А.Ю.Бер, и др.. // Молочная пром-сть. - 1982. -№5. - С.9 - 10.

101. ДСТУ ISO 21415-1:2009 Пшениця і пшеничне борошно. Вміст клейковини. Частина 1. Визначання сирого клейковини ручним способом (ISO 21415-1:2006, IDT).

102. Сорочан О. О. Методи аналізу амінокислот : навч.-метод. посіб. / О. Сорочан, Н. І. Штеменко. – Д. : РВВ ДНУ, 2005. – 60 с.

103. Химический состав пищевых продуктов. Кн. 2: Справочные таблицы содержания аминокислот, витаминов, макро- и микроэлементов, органических кислот и углеводов / (Под ред. проф., д-ра техн. наук Н.М. Скурихина и проф. д-ра мед. наук Волгарева М.Н. -2-е изд., перераб. и доп. - М.: Агропромиздат, 1987. – 360с.

104. Покровский, А.А. О биологической и пищевой ценности продуктов питания / Покровский А.А. //Вопросы питания. –1975. – № 3. – С. 25-29.

105. Липатов Н.Н. Усовершенствованный прибор и методика для определения переваримости белков *in vitro* / Липатов Н.Н., Юдина С.Б., Лисицин А.Б. // Вопросы питания. – 1994. – № 4 – С. 43-44.

106. Чернова Е.В. Новый метод оценки биологической ценности белков кулинарно обработанных круп / Чернова Е.В. //Известия вузов. Пищевая технология. – 2001. – № 1 – С. 11-13.

107. ДСТУ 7617:2014. Продукти харчові. Метод визначення засвоюваності білка. – [Чинний від 2015–07–01]. – К.: Мінекономрозвитку України, 2015. – 8 с.

108. Шгаль Е. Х. Хроматография в тонких слоях. - М.: Мир, 1985. - 508 с.

109. Bligh E.J., Dyer W.I. A rapid method of total lipid extraction and purification. // Canadian journal of biochemistry and physiology. - 1959.- V.37. - № 8. -P.911-917.

110. Скурихин И М. Руководство по методам анализа качества и безопасности пищевых продуктов / под ред. И.М. Скурихина, В.А. Тутельяна. Москва, 1998. 380 с.

111. ДСТУ 8446:2015 Продукти харчові. Методи визначення кількості мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів. – К.: Мінекономрозвитку України, 2015. – 12 с.

112. ДСТУ 30518-97 Продукты пищевые. Метод выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных

бактерій). – Минск: Міждержавний технічний комітет зі стандартизації МТК 93 «Продукти переробки плодів і овочів», 2001. – 5 с

113. ДСТУ EN 12824:2004 Мікробіологія харчових продуктів і кормів для тварин Горизонтальний метод виявлення *Salmonella* (EN 12824:1997, ЮТ). Держспоживстандарт України К., 2005. –12 с.

114. ДСТУ ISO 7954:2006. Мікробіологія харчових продуктів і кормів для тварин. Загальні настанови з підрахунку дріжджів і мікроскопічних грибів. Техніка підрахування колоній, культивованих за температури 25°C (ISO 7954:1987 IDT). Держспоживстандарт України К., 2007. –10 с

115. Продукти харчові. Методи відбирання проб для мікробіологічних аналізів : ДСТУ 8051:2015 – К., 2015 –10 с

116. Продукти харчові. Готування проб для мікробіологічних аналізів : ДСТУ 7963:2015 – К., 2015 –12 с

117. .Продукти харчові. Методи культивування мікроорганізмів : ДСТУ 8535:2015 – К., 2015 –13 с

118. Продукти харчові. Методи визначення кількості мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів : ДСТУ 8446:2015 – К., 2015 –10 с

119. Продукти харчові. Метод визначення дріжджів і плісневих грибів : ДСТУ 8447:2015 – К., 2015 –13 с

120. Мікробіологія харчових продуктів і кормів для тварин. Горизонтальний метод виявлення *Salmonella* : ДСТУ EN 12824:2004 – К., 2004 –12 с

121. Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий вида *Escherichia coli* (ГОСТ 30726-2001, IDT) : ДСТУ ГОСТ 30726-2002 – К., 2002 –11 с

122. Продукти харчові. Методи виявлення та визначення кількості бактерій групи кишкових паличок (коліформних бактерій) : ДСТУ ГОСТ 30518-97 – К., 2001 –13 с

123. МР 4.4.4-108-2004. Методичні рекомендації. Періодичність контролю продовольчої сировини та харчових продуктів за показниками безпеки. К., 2004 – 22 с.

124. ДСТУ 3768-2010 Пшениця. Визначення вмісту токсичних елементів. К., 2010 – 12 с.

125. Методичні вказівки. Визначення вмісту ртуті в об'єктах виробничого, навколишнього середовища і біологічних матеріалах. Затверджені наказом МОЗ України 10.06.2005 №263.

126. Державні гігієнічні нормативи. "Допустимі рівні вмісту радіонуклідів Cs 137 і Sr 90 у продуктах харчування та питній воді" Затверджені наказом МОЗ України 03.05.2006 № 256.

127. ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001. Допустимі дози, концентрації, кількості та рівні вмісту пестицидів у сільськогосподарській сировині, харчових продуктах, повітрі робочої зони, атмосферному повітрі, воді водоймищ, ґрунті. Затверджені наказом Постановою Головного державного санітарного лікаря України 20.09.2001 №137.

128. Комаров В.И. Методические основы повышения эффективности производства / В.И. Комаров, С.П. Андреев // Пищевая пром-сть. - 2001. - №7.- С. 24-25.

129. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке /Н. Джонсон, Ф. Лион / Пер. с англ. - М.: Мир, 1981. – 520 с

130. Боровиков В. Statistica. Искусство анализа данных на компьютере. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.

131. Умнов А.Е. Методы математического моделирования: Учебное пособие. – М.: МФТИ, 2012. 295 с

132. Стабников, В.Н. Общая технология пищевых продуктов / В. Н. Стабников, Н.В. Остапчук. – К. : [б. и.], 1980. – 303 с.

133. Остапчук, Н.В. Основы математического моделирования процессов пищевых производств / Н.В. Остапчук. – 2-е изд., перераб. и доп. – К. : Выща шк., 1991. – 366 с.

134. Использование гидроколлоидов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.alma-veko.com.ua/content/ispolzovanie-gidrokolloidov>

135. Williams, P.A., Phillips, G.O. (2009), “Introduction to food hydrocolloids”, Handbook of hydrocolloids. Second edition, Woodhead Publishing Limited, p. 12.

136. Sworn, G. (2009), “Xanthan gum”, Handbook of hydrocolloids. Second edition, Woodhead Publishing Limited, pp. 187-202.

137. Віннікова Л. Г. Дослідження реологічних властивостей комплексів гідроколоїдів в якості плівкоутворюючих покриттів/ Л. Г. Віннікова, А. В. Кишеня, К. В.Пронькіна //Технологический аудит и резервы производства — № 4/4(30), 2016. –С.52-56.

138. Бахмач В.О. Дослідження реологічних властивостей водних розчинів камеді ксантану/В.О. Бахмач //Харчова промисловість № 17, 2015.– С.51-56.

139. Деркач С.Р. Реология пищевых эмульсий / С.Р. Деркач, К.В. Зотова // Вестник МГТУ. – 2012. – Т.15, №1. – С.84-95.

140. Ауэрман Л. Я. Технология хлебопекарного производства: учебник / под ред. Л. И. Пучковой. СПб.: Профессия, 2003. 253 с

141. Шаніна О.М. Дослідження впливу трансглютаміназа та білкових добавок на вологоутримувальну здатність безглютенового борошняного тіста / О.М. Шаніна, Н.Л.Лобачова // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв, 2014. Вип. 152. С. 243—249.

142. Шаніна О.М. Поліпшення кулінарних достоїнств макаронних виробів із застосуванням ферменту трансглютаміназа /О.М.Шаніна, В.О.Зверев, А.Т.Теймурова // Наукові праці ОНАХТ, 2013. Вип. 44, Т. 1, – С. 184-188.

143. Transglutaminases. Multiple Functional Modifiers and Targets for New Drug Discovery / Kiyotaka Hitomi, Soichi Kojima, Laszlo Fesus // Springer Tokyo Heidelberg New York Dordrecht London, Springer Japan, 2015. – 392 P.

144. The technology of food products on the base of gelatinizers with qualitative modified functional properties: The monograph / F.V. Pertseyov [et al.]; edited by F.V. Pertseyov; Kharkiv State University of Food Technology and Trade.- КН.: KSUFT, 2012.- 285 p.

145. Миронов Д. А. Дослідження інфрачервоних спектрів екстрактів з плодів шипшини, обліпихи та калини / Д. А. Миронов // Восточно-Европейский журнал передових технологій. – 2014. № 2/12 (68). – С. 51-55.

146. Гасанова А. Е. Структура молекулярних з'єднань бісквітного тіста з еламіном та стевіозидом / А. Е. Гасанова, О. О. Соколовська // Молодий вчений. - 2016. - № 12.1. - С. 30-33. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/molv_2016_12.

147. Тарасевич Б.Н. ИК спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы. М., Изд-во МГУ, 2012, 55 с. http://www.chem.msu.su/rus/teaching/tarasevich/Tarasevich_IR_tables_29-02-2012.pdf

148. Ахмедов О.Р. Биологически активные соединения на основе модифицированной ксантановой камеди / О.Р. Ахмедов, Х.А. Сохибназарова, Ш.А. Шомуратов // Химия растительного сырья. – 2017, 3, С. 227–231. DOI: 10.14258/jcprm.2017031729

149. Свойства водных растворов карбоксиметилцеллюлозы с добавками наночастиц и композиционных пленок на их основе / А.М. Бочек, Н.М. Забивалова, В.Е. Юдин и др. // Высокомолекулярные соединения, Серия А, 2011, том 53, №12, С. 2085–2093. <http://naukarus.com/svoystva-vodnyh-rastvorov-karboksimitiltsellyulozy-s-dobavkami-nanochastits-i-kompozitsionnyh-plenok-na-ih-osnove>

150. Gilani S.L. Kinetic models for Xanthan gum production using *Xanthomonas campestris* from molasses / S.L. Gilani, Najafpour G. D., Heydarzaden H. D., H. Zare // Chemical industry & Chemical Engineering Quarterly, 2011, 17 (2), Pp. 179–187. <http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/1451-9372/2011/1451-93721100002G.pdf>

151. Гашевская А.С. Определение нейтральных сахаров и глюконовой кислоты в составе микробного полисахарида ксантана / А.С. Гашевская // *Advances in current Natural sciences. Chemical science (02.00.00)*, №4, 2017, P. 12–18. : https://www.natural-sciences.ru/pdf/2017/2017_4.pdf

152. Application of infrared spectroscopy for quantitative analysis of new food emulsifiers. / Murlykina N. V., O. Upatova, Yancheva M., and oth. // *Ukrainian Food Journal*. – 2015, Vol. 4, Issue 2, P. 299-310. <http://ufj.ho.ua/Archiv/UKRAINIAN%20FOOD%20JOURNAL%202015%20V.4%20Is.2.pdf>

153. Перцевой М. Ф. Вивчення ІЧ-спектрів сухих плівок модельних систем на основі желатину / М.Ф. Перцевой, П.В. Гурський, Т.О. Кузнецова // *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. - 2013. - Вип. 1(1). - С. 302-310. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pt_2013_1\(1\)_45](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pt_2013_1(1)_45).

154. Ersilia Alexa, Anca Dragomirescu, Georgeta Pop, Crlin Jianu and Dan Dragoș. (2009), The use of FT-IR spectroscopy in the identification of vegetable oils adulteration, *Journal of Food Agriculture & Environment*, 7(2), pp. 20-24.

155. Филиппс Г. О. Справочник по гидроколлоидам / Г.О. Филиппс, П.А. Вильямс. – СПб. : ГИОРД, 2006. – 536 с.

156. Schrieber, R., Gareis, Dr. Herbert (2007), *Gelatine Handbook: Theory and Industrial Practice*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA., Weinheim, 347 p.

157. Benjakul S., Kittiphattanabawon Ph. (2019). Gelatin. *Encyclopedia of Food Chemistry*, 121-127. DOI:10.1016/b978-0-08-100596-5.21588-6.

158. Просеков А.Ю. Влияние различных технологических факторов на качество пенообразных пищевых масс / А.Ю. Просеков // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2001. – № 10. – С. 15–17. 5.

159. Просеков А.Ю. Устойчивость пенообразных масс / А.Ю. Просеков // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2001. – № 7. – С. 40–45.

160. Исследование грибов методом дифференциально-термического анализа / А.Н.Остриков, И.В.Кузнецов, С.А.Шевцов // Вестник ОГУ выпуск 5 Технические науки. – Оренбург: ОГУ. – 2005. – С.43–146.

161. Дослідження впливу агару на процес дегідратації пасти закусочної за допомогою диференціальної термогравіметрії / П.В.Гурський, Ф.В.Перцевий., Д.О. Бідюк // Вісник ХНТУСГ. Випуск 119. Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробн. – Харків: ХНТУСГ. – 2011 – С.179–186.

162. Roozendaal H., Abu-hardan M., Frazier R.A. (2012). Thermogravimetric analysis of water release from wheat flour and wheat bran suspensions. *Journal of Food Engineering*, 111, 606-611. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2012.03.009.

163. Kumar M., Sabbarwal Sh., Mishra P. K., Upadhyay S. N. (2019). Thermal degradation kinetics of sugarcane leaves (*Saccharum officinarum* L) using thermo-gravimetric and differential scanning calorimetric studies. *Bioresource Technology*, 279, 262-270. DOI:10.1016/j.biortech.2019.01.137.

164. Shadangi K. P., Mohanty K. (2014). Kinetic study and thermal analysis of the pyrolysis of non-edible oilseed powders by thermogravimetric and differential scanning calorimetric analysis. *Renewable Energy*, 63, 337-344. DOI:10.1016/j.renene.2013.09.039.

165. Beck M., Jekle M., Selmair P. L., Koehler P., Becker T. (2011). Rheological properties and baking performance of rye dough as affected by transglutaminase. *Journal of Cereal Science*, 54, Issue 1,29-36. DOI:10.1016/j.jcs.2011.01.012.

166. Shadangi K. P., Mohanty K. (2014). Kinetic study and thermal analysis of the pyrolysis of non-edible oilseed powders by thermogravimetric and differential scanning calorimetric analysis. *Renewable Energy*, Vol: 63, Page: 337-344. DOI:10.1016/j.renene.2013.09.039

167. Ablett, S. Water in foods / S. Ablett, P. Lillford // *Chemistry in Britain*. – 1991. – № 27. – P. 1024–1026.

168. Поляндова Р. Д. Повышение. микробиологической устойчивости. хлебобулочных изделий при хранении / Р.Д. Поляндова, С.П.Полякова //Хлебопекарное и кондитерское производство – 2003.–№1.–С.17–18.

169. Пивоваров П.П., Прасол Д.Ю. Теоретичні основи технології харчових виробництв. Навч. Посібник. Частина IV. Вода та її значення у формуванні фізико-хімічних, органолептичних показників сировини та проектів харчування / Харківський держуніверситет харчування та торгівлі - Харків, 2003. - 48 с.

170. Нечаев, А. П. Пищевая химия: Учебник для студентов вузов [Текст] / А. П. Нечаев, С. Е. Траубенберг, А. А. Кочеткова; Нечаев, А. П.; 2-е издание, перер. и испр. – СПб.: ГИОРД, 2003. – 640 с.

171. Потапов В.О. Дослідження впливу рецептурних компонентів на форми зв'язку вологи в модельних системах продукту структурованого закусочного методом ДСК термограм / В.О. Потапов, М.Ф. Перцевий, П.В. Гурський // Наукові праці [Одеської національної академії харчових технологій]. - 2012. - Вип. 42(2). - С. 399-402. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Np_2012_42\(2\)__98](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Np_2012_42(2)__98).

172. Дослідження структуроутворення та змін форми звязку вологи в пектинових гелях методом диференціально-сканувальної калориметрії / І. О. Крапивницька, В.О.Потапов, П.В. Гурський, Ф.В. Перцевий, // Східно-Європейський журнал передових технологій. - 2015. - № 1/6 (73). - С. 48-51. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.37358>

173. Кравченко М., Поп Т., Криворучко М. Технологічні властивості тістових напівфабрикатів з порошком із листя волоського горіха. Товари і ринки. 2015. №1 С.201-208.

174. Реологічні методи дослідження сировини і харчових продуктів та автоматизація розрахунків реологічних характеристик. Навчальний посібник / А.Б. Горальчук, ПП Пивоваров, О.О. Гринченко, М.І.Погожих, В.В. Полевич, П.В.Гурський / ХДУХТ. - Харків, 2006. – 63 с.

175. Renzetti, S. Microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads from different gluten-free flours treated with a microbial transglutaminase [Text] / S. Renzetti, F. Dal Bello, E. K. Arendt // *Journal of Cereal Science*. - 2008. - Vol. 48, № 1. - P. 33-45. doi:10.1016/j.jcs.2007.07.011.

176. Bauer, N. Studies on Effects of Microbial Transglutaminase on Gluten Proteins of Wheat. I. Biochemical Analysis [Text] / N. Bauer, P. Koehler, H. Wieser, P. Schieberle // *Cereal Chemistry*. - 2003. - Vol. 80, № 6. - P. 781-786. doi:10.1094/cchem.2003.80.6.781.

177. Цуканова О. С. Дослідження перетравлюваності вуглеводів безбілкового хліба в умовах *in vitro* / О. С. Цуканова, З. І. Кучерук // *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. - 2014. - Вип. 1. - С. 64-72. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pt_2014_1_10.

178. Дудкин М. С. Новые продукты питания / М. С. Дудкин, Л. Ф. Щелкунов. – М. : Наука, 1998. – 304 с.

179. Вешняков В. А. Сравнение методов определения редуцирующих веществ: метод Бертрана, эбулестатистический и фотометрический методы / В. А. Вешняков, Ю. Г. Хабаров, Н. Д. Камакина // *Химия растительного сырья*. – 2008. – № 4. – С. 47–50.

180. Самохвалова О. В. Технологія маффінів оздоровчого призначення : монографія / О. В. Самохвалова, К. Р. Касабова, С. Г. Олійник. – Х.: Видавництво "Технологічний Центр" 2015. – 120 с.

181. Определение связанной воды индикаторным методом в хлебопекарном производстве / Юрчак В. Г., Берзина Н. И., Шмаровоз В. М., Прищепа М. П. // *Известия Вузов. Пищевая технология*. 1989. № 4. С. 78–80.

182. Филипс, Г. О. Справочник по гидроколлоидам [Текст] : пер. с англ. – СПб.: ГИОРД, 2006. – 536 с.

183. Milani, J. Hydrocolloids in Food Industry [Текст] / J. Milani, G. Maleki // *Food Industrial Processes – Methods and Equipment*. – 2012. – №2. – С. 2–37.

184. Krala, L. The effect of hydrocollloid mixtures on frozen pork properties [Текст] / L. Krala, M. Dziomdziora // *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*.

– 2003. – Vol. 12 / 53. - № 4. – С. 55–58.

185. Nishinari, K. Structure and Properties of Food Hydrocolloids - Gels, Emulsions and Foams [Текст] / K. Nishinari // Foods Food Ingredients J. Jpn. – 2008. – Vol. 213. – № 5 – С. 138–141.

186. Янчева М. О. Кріоскопічні дослідження розчинів харчових інгредієнтів полісахаридної природи / М. О. Янчева Т. С. Желева М. І. Погожих О. О. Гринченко// Восточно-Европейский журнал передовых технологий 2/12 (68) 2014 С. 84-89.

187. Одарченко А.М. Заморожені тістові напівфабрикати з додаванням рослинної сировини: монографія / А.М. Одарченко, В.Ю.Черкашина, Д.М. Одарченко, А.О.Сергієнко – Х. : ХДУХТ, 2015. – 200 с.

188. Погожих М. І. Мікробіологічні показники замороженого тістового напівфабрикату з додаванням рослинної сировини в процесі виробництва та зберігання / М. І. Погожих, Д. М. Одарченко, А. М. Одарченко, В. Ю. Черкашина // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. - 2011. - Вип. 1. - С. 177-180. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pt_2011_1_29.

189. Шевчук О. Ю. Удосконалення технології здобних виробів із заморожених напівфабрикатів: автореф. дис.... канд. техн. наук: спец. 05.18.15. Київ. НУХТ. - 2008. - 19 с.

190. Солоницька І.В. Якість хлібобулочних виробів із заморожених напівфабрикатів за технологією відкладеного випікання/ І.В. Солоницька, Г.Ф.Пшенишнюк// Зернові продукти і комбікорми. -2012. № 4 (48). -С.19-23

191. Романовська О. Динаміка якості бісквітних напівфабрикатів при зберіганні./ О.Романовська. Товари і ринки. К.: КНТЕУ.– 2017. №1 С.176-184

192. Холодова Е. Н. Разработка технологии и оценка потребительских свойств бисквитного полуфабриката с использованием тритикалевой и пшеничной муки : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.18.15. Одесса, 2010.

193. Дробот, В. І. Зміни показників якості безглютенового хліба при зберіганні / В. І. Дробот, А. М. Грищенко // Ukrainian Food Journal. – К. : НУХТ, 2013. – Vol. 2, Is. 3. – P. 347-353.

194. Перспективи використання комплексного хлібопекарського поліпшувача «свіжість к+» у технології хлібобулочних виробів/ О.А. Білик, Е.Ф. Халікова, Н.М. Грегірчак, А.І. Маринін //Харчова наука і технологія. 2015.- 2(31). - С.90-97.

195. Дорохович В. В. Використання цукрозамінників нового покоління в технології бісквітів спеціального призначення / В. В. Дорохович, А. Г. Абрамова // Наукові праці ОНАХТ. - 2013. - Вип. 44(1). - С. 153-157. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Np_2013_44\(1\)_39](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Np_2013_44(1)_39).

196. Використання порошків калини, горобини та обліпихи в технології бісквітного напівфабрикату / Ю. А. Мирошник, І. М. Медвідь, О. Б. Шидловська, В. Ф. Доценко // Наукові праці ОНАХТ. – 2014. – Вип. 46, Т. 1. – С. 166–169.

197. Иоргачева Е.Г. Влияние мучных композитных смесей на показатели качества бисквитных полуфабрикатов / Е.Г. Иоргачева, О.В. Макарова, Е. Котузаки, Н. Кожокаръ // Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. – 2010. – № 3. – С. 17-21.

198. Иоргачева Е.Г. Оптимизация производства бисквитных полуфабрикатов на основе мучных смесей. / Е.Г. Иоргачева, Г.Н. Станкевич, О.В. Макарова, С.М. Капетула// Зернові продукти і комбікорми. № 4 (52). 2013.– С.20-23.

199. Современные технологии получения мучных кондитерских изделий на основе бисквита функционального назначения/ О.Л. Ладнова, Е.Г. Меркулова, Е.В. Извекова [и др.] // Вестник ОрелГИЭТ. – 2015. – № 1 (31). – С. 133–137.

200. Янова М.А. Использование текстурированных зерновых продуктов в производстве основного бисквита / М.А. Янова, Н.В. Присухина // Вестник КрасГАУ. 2020. № 2.– С. 137-147. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-2-137-147.

201. Сенсорний аналіз харчових продуктів: навч. посіб. / Ф.Ф. Гладкий, В.К. Тимченко, П.О. Некрасов, З.П. Федякіна, К.В. Куниця, С.М. Мольченко. – Харків: Видавництво та друкарня «Технологічний Центр», 2018. – 132 с.

202. Сенсорний аналіз [Електронний ресурс]: навч. посібник у структурно-логічних схемах / А. А. Дубініна, Т. В. Щербакова, Н. І. Черевична, О. В. Шмиголь ; Харк. держ. ун-т харч. та торгівлі. – Електрон. дані. – Х., 2017. – 12 см. – Назва з тит. екрана.
203. Аналіз органолептичний. Метод дослідження смакової чутливості. ДСТУ ISO 3972:2004. – К. : Держстандарт України, 2004. – 21 с.
204. Дослідження сенсорне. Методологія. Метод парного порівняння. ДСТУ ISO 5495:2004. – К. : Держстандарт України, 2001. – 14 с.
205. Дослідження сенсорне. Ідентифікація та вибирання дескрипторів для створення сенсорного спектру за багатобічного підходу ДСТУ ISO 11035:2005. – К. : Держспоживстандарт України, 2008. – 27 с.
206. Бісквіти. Загальні технічні умови ДСТУ 8001:2015 – К. : Держстандарт України, 2015. – 17 с.
207. Должанський А. Метод максимізації комплексного показника якості об'єкта шляхом оптимізації керуючих дій / А. Должанський, О. Бондаренко// Стандартизація сертифікація якість. 2012, №4. – С. 50-56.
208. Седюкин В.К. Методы оценки и управления качеством промышленной продукции / В.К. Седюкин, В.Д. Дурнев, В.Г. Лебедев - М.: ИИД "Филинь", Рилант, 2000. - 328 с.
209. Дьяконов В.П. Компьютерная математика. Теория и практика. М.: Нолидж. 2001.–1296 с.
210. Полевич В.В. Моделювання технологічних процесів і розробка прогресивного обладнання для переробки харчової сировини: Дис...д-ра. техн.наук. -Харків, 2002. -271 с.
211. Касилова Л.А. Изучение методики отработки рецептур на кулинарную продукцию: Методические указания к лабораторным работам / Касилова Л.А., Крайнюк Л.Н. - Харьков.: ХГАТОП, 1997. -16 с.
212. Комаров В.И. Методические основы повышения эффективности производства / В.И. Комаров, С.П. Андреев // Пищевая пром-сть. - 2001. -№7.- С. 24-25.

Наукове видання

КОНДРАШИНА Лідія Анатоліївна
ГУРСЬКИЙ Петро Васильович
ЛАДИКА Віктор Іванович
СМЕТАНСЬКА Ірина Миколаївна
ГРИНЧЕНКО Ольга Олексіївна
ОМЕЛЬЧЕНКО Світлана Борисівна
ПЕРЦЕВОЙ Федір Всеволодович

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ
НАПІВФАБРИКАТУ ЗБИВНОГО БОРОШНЯНОГО
З ВИКОРИСТАННЯМ ЖЕЛАТИНУ
І ФЕРМЕНТУ ТРАНСГЛЮТАМІНАЗА**

Монографія

Під редакцією Ладика В. І., Гурського П. В., Перцевого Ф. В.

Видається в авторській редакції

Підписано до друку 15.01.2023.
Формат 60×84 $\frac{1}{16}$. Папір офсетний. Гарнітура Times.
Обл.-вид. арк. 9,9. Ум. друк. арк. 7,6.
Тираж 300 прим.

Надруковано у друкарні ТОВ «Діса+»
61111, Харків, шосе Салтівське буд.154
Тел. (057)768-03-15, e-mail: disadruk@gmail.com
Свід.суб.вид.справи ДК № 4047 від 15.04.2011
Адреса виробництва:
61000 Харків Ващенковський в'їзд 16