

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до кваліфікаційної роботи
ступеня вищої освіти «Бакалавр»
на тему:

**Удосконалення технології з виробництва
хлібобулочних виробів із заморожених
напівфабрикатів**

Виконала: здобувачка вищої освіти 4 курсу,
групи ХТ-2-22
освітньо-професійної програми «Харчові технології»
зі спеціальності 181 «Харчові технології»

_____ Ольга ДАНИЛО

Керівник: _____ Дмитро ТИМЧАК

Дніпро 2026

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Освітньо-професійна програма: «Харчові технології»

Спеціальність: 181 «Харчові технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

харчових технологій,

кандидат технічних наук, доцент

Віталій КОШУЛЬКО

(підпис)

«01» травня 2026 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЦІ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Данило Ользі Андріївні

1. Тема роботи: «Удосконалення технології з виробництва хлібобулочних виробів із заморожених напівфабрикатів».

Керівник роботи: Тимчак Дмитро Олександрович, старший викладач, затверджені наказом закладу вищої освіти від «01» травня 2026 року № 875.

2. Строк подання здобувачкою вищої освіти роботи 08 червня 2026 року.

3. Вихідні дані до роботи: 1. Технологія виробництва хлібобулочних виробів. 2. Наукова, нормативна, технологічна, технічна та патентна документація.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1 Аналітичний огляд. 2 Матеріали і методи дослідження. 3 Експериментальна частина. 4 Охорона праці та довкілля при виробництві хліба. 5 Організаційно-економічна частина. Загальні висновки. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1 Мета і завдання досліджень. 2 Дослідна рецептура. 3 Обговорення результатів досліджень. 4 Кошторис витрат на проведення досліджень. 5 Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	ст. викладач Дмитро ТИМЧАК	01.05.26	08.06.26

7. Дата видачі завдання 01 травня 2026 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	01.05-02.05.26	виконано
2	Аналітичний огляд	03.05-11.05.26	виконано
3	Матеріали і методи дослідження	12.05-13.05.26	виконано
4	Експериментальна частина	14.05-31.05.26	виконано
5	Охорона праці та довкілля при виробництві хліба	01.06-02.06.26	виконано
6	Організаційно-економічна частина	02.06-03.06.26	виконано
7	Формулювання висновків по роботі та списку використаних джерел	04.06-05.06.26	виконано
8	Підготовка демонстраційного матеріалу	06.06-08.06.26	виконано

Здобувачка вищої освіти _____ Ольга ДАНИЛО
(підпис)

Керівник роботи _____ Дмитро ТИМЧАК
(підпис)

РЕФЕРАТ

Тема: «Удосконалення технології з виробництва хлібобулочних виробів із заморожених напівфабрикатів»

Кваліфікаційна робота бакалавра: 63 с., 6 рис., 10 табл., 45 літературних джерел.

Об'єкт дослідження: тістові напівфабрикати.

Метою роботи є удосконалення технології для забезпечення стабільності властивостей заморожених дріжджових напівфабрикатів і покращення якості готових хлібобулочних виробів.

Методи дослідження: Кількісну оцінку клейковини проводили шляхом визначення вмісту сирової та сухої клейковини згідно з вимогами ДСТУ ISO 21415-2:2009. Газоутворюючу та газотримувальну здатність тіста визначали за допомогою приладу Яго-Островського за стандартною методикою.

Вологість м'якушки визначали методом висушування наважки у сушильній шафі згідно з вимогами ДСТУ 7045:2009 та виражали у відсотках.

Пористість виробів визначали за методикою, регламентованою ДСТУ 7045:2009, і виражали у відсотках. Питомий об'єм виробів розраховували як відношення їх об'єму, визначеного методом витіснення сипкого матеріалу, до маси та виражали у см³/г.

У роботі обґрунтовано параметри низькотемпературної обробки тістових напівфабрикатів при виробництві хлібобулочних виробів. Встановлено вплив температур заморожування на якість готової продукції та визначено раціональний інтервал температур заморожування напівфабрикатів. Досліджено вплив різних режимів розморожування та встановлено оптимальні умови проведення процесу. Виявлено зміни газоутворюючої активності дріжджів у процесах заморожування, зберігання та розморожування тіста. Досліджено вплив тривалості зберігання на інтенсивність газоутворення. Встановлено закономірності зміни структурно-механічних властивостей клейковини під дією низьких температур та їх вплив на якість хлібобулочних виробів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА

Хлібобулочні вироби, тістові напівфабрикати, заморожування, пшеничне борошно, дріжджі, клейковина, формостійкість, пористість.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	7
1.1 Технологічні параметри процесу приготування хлібобулочних виробів на основі заморожених напівфабрикатів	7
1.2 Вплив низьких температур на структурно-механічні властивості тіста	14
1.3 Способи стабілізації властивостей тіста при його заморожуванні	21
2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	27
2.1 Характеристика використаної сировини	27
2.2 Спосіб приготування тіста та напівфабрикатів	28
2.3 Опис використаних методик	29
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	32
3.1 Вплив температури заморожування та розморожування якості напівфабрикатів	32
3.2 Вплив низьких температур на властивості дріжджів	37
3.3 Вплив низьких температур на властивості клейковини	40
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ХЛІБА	47
4.1 Розробка картки охорони праці	47
4.2 Основні аспекти охорони довкілля при виробництві хліба	48
5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	50
5.1 Розрахунок кошторису витрат на дослідження	50
5.2 Розрахунок ціни дослідження	54
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	56
БІБЛІОГРАФІЯ	58

ВСТУП

Характерною рисою сучасного етапу розвитку хлібопекарської галузі в Україні є активне впровадження інтенсивних технологічних рішень, передусім на підприємствах малої потужності – у пекарнях, оскільки саме такі підходи забезпечують вищу гнучкість виробництва порівняно з традиційними схемами. Одним із перспективних напрямів є виготовлення хлібобулочних виробів із використанням заморожених напівфабрикатів, що відкриває нові можливості для організації виробничих процесів і підвищення ефективності діяльності підприємств галузі.

Протягом останніх років технологія виробництва хліба із застосуванням заморожування набула широкого поширення як у світі, зокрема в Канаді, США, Франції, Японії, Великобританії, Італії, Нідерландах та інших країнах, так і в Україні. Її використання дозволяє оперативно реагувати на зміну попиту та забезпечувати споживачів свіжими виробами у широкому асортименті, зменшувати витрати на транспортування готової продукції, здійснювати централізований контроль якості та безпечності на стадії виготовлення заморожених напівфабрикатів.

Важливою перевагою застосування заморожених тістових заготовок є можливість розділення виробничого процесу на окремі стадії, що виконуються у різних умовах та в різний час. Це дозволяє оптимізувати навантаження на обладнання, зменшити вплив людського фактора та забезпечити стабільність технологічних параметрів. Крім того, з'являється можливість формування запасів напівфабрикатів без втрати їх функціональних властивостей, що особливо актуально в умовах нерівномірного попиту на хлібобулочні вироби.

Крім того, така технологія сприяє розширенню мережі реалізації шляхом створення міні-пекарень із частково укомплектованим обладнанням безпосередньо в місцях продажу, що підвищує доступність свіжої продукції для споживачів.

Відомо, що технологія приготування хліба на основі заморожених напівфабрикатів представлена різними варіантами реалізації, аналіз яких свідчить

про необхідність уточнення та оптимізації технологічних параметрів на всіх етапах процесу з урахуванням збереження біотехнологічних властивостей тіста. Особливої уваги потребує формування вимог до якості основної сировини, зокрема борошна та кріорезистентних дріжджів, а також до складу поліпшувачів, що забезпечують стабільність процесів під час заморожування та розморожування. Комплексний підхід до цих питань дозволяє суттєво підвищити якість готових хлібобулочних виробів, отриманих із заморожених напівфабрикатів.

У зв'язку з цим актуальним напрямом досліджень є розроблення науково обґрунтованих методів стабілізації біотехнологічних властивостей заморожених дріжджових напівфабрикатів, а також забезпечення стабільно високої якості кінцевої продукції. Це передбачає вдосконалення технологічних режимів, підбір ефективних рецептурних компонентів і створення умов, що мінімізують негативний вплив низьких температур на структуру тіста та активність дріжджів.

Метою роботи є розробка ефективних підходів до стабілізації властивостей заморожених дріжджових напівфабрикатів та підвищення якості готових хлібобулочних виробів.

Для виконання даної мети було сформовано наступні задачі:

- визначити вплив температури заморожування та розморожування на якість напівфабрикатів;
- дослідити вплив низьких температур на властивості дріжджів;
- встановити вплив низьких температур на властивості клейковини.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Технологічні параметри процесу приготування хлібобулочних виробів на основі заморожених напівфабрикатів

На сучасному етапі розвитку хлібопекарської промисловості для виготовлення булочних, функціональних і дієтичних виробів, а також сухарів, сушок та іншої хлібної продукції застосовують різноманітні технологічні схеми, серед яких провідне місце займають різні способи приготування тіста – опарний, безопарний, прискорений та інші. «Останніми роками все більшого поширення набуває технологія виробництва хлібобулочних виробів із використанням заморожених напівфабрикатів, що дозволяє підвищити ефективність виробництва та забезпечити стабільну якість продукції» [1-5].

Залежно від стадії технологічного процесу, на якій здійснюється заморожування, розрізняють різні підходи до виготовлення хлібобулочних виробів із застосуванням низькотемпературної обробки. Серед існуючого різноманіття технологій доцільно виокремити три основні напрями, що визначають розвиток цієї галузі: заморожування сформованих тістових заготовок або тістових пластів, заморожування частково випечених виробів, а також заморожування повністю готової продукції. «До останньої категорії зазвичай належать торти, тістечка, піца та інші борошняні кондитерські й кулінарні вироби, що добре зберігають свої споживчі властивості після розморожування» [2].

Біологічні та фізико-хімічні процеси, що відбуваються в тісті під час заморожування та подальшого розморожування, є складними й різноплановими, що ускладнює їх повне врахування при розробленні реальних дискретних технологій виробництва хлібобулочних виробів із використанням заморожених напівфабрикатів. «Саме цим пояснюється те, що в наукових і технологічних публікаціях переважають емпіричні підходи, спрямовані на підбір оптимальних рецептур, режимів приготування тіста, його заморожування, зберігання, розморожування та випікання» [4].

Особлива увага при формуванні таких технологій приділяється визначенню оптимальних дозувань і умов внесення хлібопекарських дріжджів, оскільки саме їх газоутворювальна активність після проходження стадій заморожування, зберігання та розморожування безпосередньо впливає на якість готових виробів. «Збереження функціональної активності дріжджів є одним із ключових чинників забезпечення належної структури та об'єму хлібобулочної продукції» [3].

Дослідженнями встановлено, що «процеси заморожування і подальшого зберігання тіста, як правило, спричиняють зниження газоутворювальної здатності дріжджів після розморожування» [5]. Водночас наявні дані щодо ступеня цього впливу є неоднозначними, оскільки результати суттєво залежать від умов заморожування, тривалості зберігання, режимів розморожування, рецептурного складу тіста, якості вихідної сировини та інших факторів.

Встановлено, що «для виробництва заморожених напівфабрикатів доцільним є підвищення кількості дріжджів, що вносяться під час замішування тіста. Залежно від виду продукції їх вміст може змінюватися в широких межах, а для тіста з невисоким вмістом цукру і жиру зазвичай застосовують підвищені дози пресованих дріжджів з метою компенсації втрат їх активності» [6].

Експериментальними дослідженнями також встановлено, що важливим є вибір оптимального моменту внесення дріжджів у процесі замішування тіста. Показано, що «доцільно вводити їх на завершальній стадії замісу, тоді як сіль рекомендується додавати на фінальному етапі, що сприяє збереженню активності мікроорганізмів» [7].

Порівняльний аналіз результатів різних досліджень свідчить про те, що попереднє визрівання тіста перед заморожуванням може бути одним із визначальних факторів, який впливає на стабільність дріжджів у замороженому середовищі та, відповідно, на якість готових хлібобулочних виробів.

Дослідженнями встановлено, що попереднє бродіння тіста перед заморожуванням суттєво впливає на якість готових хлібобулочних виробів. Виявлено, що «використання тіста, яке не піддавалося бродінню до заморожування, забезпечує отримання продукції вищої якості порівняно з тістом, що проходило

ферментацію перед низькотемпературною обробкою. Це пояснюється тим, що у неферментованому тісті дріжджі перебувають у менш активному стані, що сприяє кращому збереженню їх функціональних властивостей під час заморожування та подальшого зберігання» [8,9].

Експериментальними дослідженнями встановлено, що «вироби, виготовлені з тіста без попереднього бродіння, характеризуються кращими показниками якості, ніж продукція з тіста, яке бродило перед заморожуванням протягом обмеженого часу» [10]. Це пов'язано зі зниженням стійкості дріжджових клітин у процесі заморожування за умов їх підвищеної метаболічної активності. Встановлено, що клітинні мембрани дріжджів у активному стані є більш чутливими до впливу низьких температур, що підвищує ризик їх руйнування та, відповідно, зниження газоутворювальної здатності.

Також доведено, що «на стабільність дріжджів під час заморожування істотно впливають продукти бродіння, які накопичуються в тісті. Особливо значущим є вплив летких компонентів, що можуть негативно позначатися на життєздатності клітин при низькотемпературній обробці» [11]. Установлено, що стан дріжджів до заморожування є визначальним фактором їх подальшої активності, а також якості готових виробів після випікання.

Показано, що зі збільшенням тривалості бродіння тіста перед заморожуванням знижується активність дріжджів після розморожування, хоча при цьому може зростати стійкість самих напівфабрикатів під час зберігання. «Така залежність пояснюється зменшенням газоутворювальної здатності дріжджів, які перебували в активному стані під час заморожування. Водночас встановлено, що попереднє витримання пресованих дріжджів за температур, близьких до нуля, протягом певного часу перед використанням у технології замороженого тіста сприяє покращенню якості готової продукції, що пов'язано зі змінами у фізіологічному стані клітин і підвищенням їх стійкості до заморожування» [12].

Разом із тим існують альтернативні підходи, згідно з якими застосування повністю вибродженого тіста перед заморожуванням може забезпечувати отримання виробів кращої якості порівняно з тістом, яке зазнавало лише

короткочасного бродіння. «Це свідчить про складність і багатофакторність процесів, що відбуваються під час заморожування тіста, та необхідність подальшого дослідження впливу попередньої ферментації на властивості напівфабрикатів і якість хлібобулочних виробів» [13].

В одній із наукових праць наведено результати, що свідчать про суттєвий вплив швидкості зниження температури на життєздатність дріжджових клітин. Встановлено, «що різке охолодження суспензії дріжджів до температури мінус 30 °C і нижче протягом 1–2 хв призводить до виживання менш ніж 0,01% клітин, тоді як за умов поступового зниження температури зі швидкістю близько 1 °C/хв зберігається до 65% клітин» [14]. Така різниця пояснюється тим, що при швидкому заморожуванні вода не встигає переміститися з клітин у міжклітинний простір, унаслідок чого відбувається утворення внутрішньоклітинного льоду, який пошкоджує клітинні структури.

Дослідженнями також встановлено залежність газоутворювальної активності дріжджів від умов заморожування та розморожування. Показано, що «клітини, заморожені при температурі близько мінус 10 °C, характеризуються вищим рівнем виживання, тоді як при більш низьких температурах, зокрема мінус 30 °C і мінус 75 °C, цей показник істотно знижується» [12]. Крім того, встановлено, що за таких умов дріжджі стають більш чутливими до швидкості зміни температури. «Повільне заморожування зі швидкістю близько 0,5 °C/хв сприяє збереженню більшої кількості життєздатних клітин порівняно зі швидким охолодженням, однак надто повільне зниження температури є небажаним через додаткові негативні ефекти» [15].

Показано, що повільне заморожування зі швидкістю менше 1 °C/хв дозволяє клітинам адаптуватися до низькотемпературного середовища завдяки переміщенню внутрішньоклітинної води у міжклітинний простір. Натомість швидке охолодження призводить до утворення внутрішньоклітинного льоду через невідповідність швидкості тепловідведення та міграції води. «Утворені дрібні кристали льоду під час подальшого розморожування можуть рекристалізуватися у більші, що становить небезпеку для клітинних структур» [16]. Водночас зазначено,

що сам факт формування внутрішньоклітинного льоду не завжди є критичним, оскільки дрібні кристали сферичної форми можуть не викликати суттєвих пошкоджень.

Разом із тим встановлено, що дрібні кристали є термодинамічно нестійкими і під час повільного розморожування схильні до укрупнення, що підвищує ризик механічного руйнування клітин. У зв'язку з цим доведено, що «повільне розморожування зі швидкістю близько $0,05\text{ }^{\circ}\text{C/хв}$ може завдавати більшої шкоди, ніж швидке розморожування зі швидкістю понад $1,3\text{ }^{\circ}\text{C/хв}$, оскільки у першому випадку створюються сприятливі умови для формування великих кристалів льоду, які негативно впливають на життєздатність дріжджів» [2, 17].

Отримані експериментальні дані було зіставлено з результатами інших досліджень, що дозволило встановити вплив швидкості заморожування тіста на якість готових виробів. Виявлено, що «при інтенсивному заморожуванні зі швидкістю понад $5\text{ }^{\circ}\text{C/хв}$ якість хлібобулочних виробів із заморожених напівфабрикатів є вищою порівняно з повільним охолодженням зі швидкістю близько $1\text{ }^{\circ}\text{C/хв}$ за однакової температури мінус $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ » [18]. Такий ефект пояснюється тим, що при повільному заморожуванні дріжджові клітини тривалий час перебувають у зоні критичних температур, що негативно впливає на їх фізіологічний стан. Незважаючи на відсутність значного руйнування клітин, відбувається поступова втрата їх газоутворювальної активності, а в подальшому – зниження життєздатності під час зберігання.

Встановлено також, що стійкість дріжджових клітин до низькотемпературного впливу залежить від їх вікового стану: молоді клітини проявляють вищу резистентність порівняно зі старими. При цьому під дією низьких температур дріжджі можуть втрачати здатність до розмноження, зберігаючи водночас газоутворювальну активність, що має важливе значення для формування якості готових виробів.

Запропоновано різні підходи до визначення оптимальних параметрів заморожування та розморожування тіста. Зокрема, «обґрунтовано доцільність застосування температури заморожування на рівні близько мінус $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ за помірної

швидкості охолодження, а процес розморожування рекомендується здійснювати у два етапи з поступовим підвищенням температури, що сприяє зменшенню термічного стресу для дріжджових клітин» [19].

Інші дослідження свідчать про ефективність використання температур заморожування на рівні близько мінус 34,6 °C із подальшим зберіганням тіста при температурі близько мінус 23 °C. Також встановлено, що «висока швидкість заморожування у поєднанні з підтриманням температури зберігання, вищої за температуру заморожування, позитивно впливає на збереження якості напівфабрикатів» [20].

Окремими дослідженнями доведено, що заморожування тіста при температурі близько мінус 10 °C забезпечує збереження значної кількості життєздатних дріжджових клітин навіть після тривалого зберігання. Водночас встановлено, що «молочнокислі бактерії є менш стійкими до дії низьких температур порівняно з дріжджами, що необхідно враховувати при формуванні рецептур і виборі технологічних режимів» [21].

На основі проведених досліджень встановлено, що оптимальні температурні режими заморожування дріжджового тіста можуть варіюватися залежно від умов технологічного процесу. Зокрема, «обґрунтовано доцільність застосування температур у межах від мінус 10 °C до мінус 20 °C, тоді як інші підходи визначають більш ефективним діапазон від мінус 18 °C до мінус 24 °C» [22]. В обох випадках висновки базуються на результатах пробних лабораторних випічок, які підтвердили отримання готових виробів високої якості при дотриманні зазначених температурних режимів.

Проведені дослідження із використанням вітчизняної сировини також спрямовані на визначення оптимальних параметрів заморожування дріжджового тіста. Встановлено, що «найкращі показники якості хліба досягаються при заморожуванні тіста за температури близько мінус 18 °C, водночас окремі результати свідчать про ефективність застосування більш низьких температур, зокрема близько мінус 40 °C. Це підтверджує необхідність індивідуального підбору режимів залежно від складу тіста та умов виробництва» [23].

Важливою умовою отримання високоякісної продукції із заморожених напівфабрикатів є також обґрунтування раціональних параметрів їх розморожування. Встановлено, що «процес розморожування доцільно здійснювати при температурах у межах від 20 до 30 °С, оскільки відхилення в бік нижчих або вищих температур призводить до погіршення якості готових виробів» [19].

Іншими дослідженнями визначено, що ефективними параметрами є «розморожування при температурі близько плюс 38 °С із подальшим забезпеченням стабільності тістових заготовок при температурі близько плюс 32 °С. Водночас існують підходи, які передбачають повільне розморожування за понижених температур, близько 5 °С, протягом тривалого часу, що також може позитивно впливати на збереження структури тіста за певних умов» [22].

Суттєве значення у технології виробництва хлібобулочних виробів із заморожених напівфабрикатів має вибір виду дріжджів, оскільки їх фізіологічні та технологічні властивості визначають перебіг біохімічних процесів і формування якості готової продукції.

Окремими дослідженнями встановлено доцільність використання сушених дріжджів у технології замороженого тіста, що пояснюється їх тривалішим лаг-періодом, який сприяє мінімізації бродіння до стадії заморожування і, відповідно, підвищенню стабільності напівфабрикатів. Разом із тим показано, що «тісто, виготовлене із застосуванням сушених дріжджів, характеризується більш тривалим періодом збереження технологічних властивостей порівняно з тістом на основі пресованих дріжджів» [8].

Встановлено також, що використання сушених дріжджів «може супроводжуватися утворенням відновлювальних сполук, зокрема глутатіону, на стадії вистоювання, тоді як у тісті з пресованими дріжджами подібних змін не спостерігається» [16]. Це свідчить про відмінності у біохімічних процесах, що відбуваються залежно від виду використаних дріжджів, і їх вплив на структурно-механічні властивості тіста.

Дослідженнями доведено, що кріостійкість дріжджів значною мірою визначається умовами їх культивування. Зокрема, встановлено, що «дріжджі,

вирощені у середовищах із певним рівнем кислотності та відповідним складом поживних компонентів, характеризуються підвищеним вмістом трегалози, фосфоліпідів і стеролів, що сприяє підвищенню їх стійкості до дії низьких температур» [17]. Також визначено, що високий вміст білка та штамові особливості є важливими чинниками, які впливають на збереження життєздатності клітин у процесі заморожування та зберігання.

«Запропоновано використання спеціалізованих пресованих дріжджів із зниженою газоутворювальною активністю та оптимізованим хімічним складом, що забезпечує стабілізацію властивостей тіста під час заморожування і подальшого зберігання» [24]. Такі підходи дозволяють підвищити керованість технологічного процесу та якість готової продукції.

Цікавим напрямом є також виділення нових морозостійких штамів дріжджів, які демонструють підвищену стійкість до низькотемпературних впливів і краще зберігають газоутворювальну активність у замороженому тісті порівняно з традиційними промисловими культурами. Водночас ефективність їх використання залежить від особливостей конкретних технологій і рецептур, що потребує додаткового врахування при впровадженні у виробництво.

Таким чином, аналіз наукових джерел свідчить про значну увагу до проблеми впливу низькотемпературної обробки на властивості хлібопекарських дріжджів і якість виробів із заморожених напівфабрикатів. Водночас отримані результати залишаються неоднозначними, а питання визначення оптимальних режимів заморожування і розморожування, а також критеріїв відбору найбільш придатних видів дріжджів потребують подальшого поглибленого дослідження.

1.2 Вплив низьких температур на структурно-механічні властивості тіста

Провідна роль у формуванні пшеничного тіста з характерними для нього пружними, пластичними та в'язкими властивостями належить білковим компонентам борошна. «Саме вони визначають здатність тіста до утворення

структурної сітки, яка забезпечує необхідні реологічні показники та стабільність у процесі перероблення» [25].

Встановлено, що вміст білкових речовин у зерні пшениці може коливатися в широких межах, що суттєво впливає на технологічні властивості борошна. Згідно з сучасними уявленнями, структурно-механічні характеристики клейковини і, відповідно, тіста зумовлюються просторовою організацією білкових молекул, зокрема їх вторинною, третинною та четвертинною структурами. «При цьому значна частина білків пшеничного зерна не належить до гліадинової та глютенінової фракцій, однак саме нерозчинні у воді білкові біополімери відіграють ключову роль у формуванні структури тіста» [26].

У процесі замішування тіста ці білкові компоненти інтенсивно гідратуються, поглинаючи воду у кількості, що значно перевищує їх власну масу. Основна частина води зв'язується осмотично, що призводить до набухання білків і збільшення їх об'єму. «Гідратовані гліадин і глютенін утворюють клейковину, яка формує тривимірний каркас тіста. Водночас водо- і солерозчинні білкові фракції створюють колоїдні системи з високою поверхневою активністю, що сприяє утриманню газу та стабілізації структури тіста» [27].

Функціональні властивості окремих білкових фракцій суттєво відрізняються. Глютенін визначає переважно пружні властивості тіста, забезпечуючи його міцність і здатність до відновлення форми, тоді як гліадин надає тісту розтяжності та пластичності. Оптимальне співвідношення цих компонентів є визначальним для формування якісної клейковини та отримання виробів із заданими структурними характеристиками.

«Формування структури тіста відбувається під час замішування, коли одночасно з утворенням просторової білкової сітки спостерігаються процеси її часткового руйнування внаслідок локальних механічних напружень. Така динамічна рівновага між структуроутворенням і деструкцією визначає кінцеві реологічні властивості тіста» [28].

У процесі замішування також відбувається адсорбційне та осмотичне зв'язування води. Спочатку волога поглинається більш доступними білковими

фракціями, далі – білками, що оточують зерна крохмалю, і, на завершальному етапі, білками, локалізованими у великих частинках борошна. Саме останні забезпечують найбільш інтенсивне осмотичне зв'язування води, що супроводжується значним збільшенням їх об'єму та формуванням структурної основи тіста.

«Механізм формування тіста є складним і багатостадійним процесом, що супроводжується суттєвими структурними перетвореннями білкових компонентів» [29]. Під час замішування під дією механічної енергії відбувається руйнування початкової глобулярної структури білків і їх розгортання. Набухлі білкові речовини витягуються, частково розриваються та формують тонкі білкові плівки, які стають основою для побудови клейковинної сітки. «З'єднання цих структурних елементів здійснюється за рахунок дисульфідних, водневих і гідрофобних зв'язків, у результаті чого формується тривимірна губчасто-сітчаста безперервна структура, що визначає пружність і розтяжність тіста» [26].

У сформований білковий каркас інтегруються зерна крохмалю та частинки оболонки зерна, які надають тісту пластичних властивостей і впливають на його реологічну поведінку. Така комплексна структура забезпечує здатність тіста до утримання газу та формування необхідної пористості готових виробів.

Дослідження процесів, що відбуваються під час заморожування тіста, показали, що зміна його температури відбувається за певною закономірністю, яку умовно поділяють на кілька етапів. «На початковій стадії спостерігається поступове зниження температури всередині напівфабрикату, далі відбувається кристалізація вільної води, що супроводжується стабілізацією температури, після чого знову фіксується її подальше зниження у вже замороженому продукті. При досягненні температури близько мінус 35 °C розпочинається утворення внутрішньоклітинного льоду, що може впливати на структурні елементи тіста» [30].

Встановлено, що «загальний характер кривої заморожування не залежить від рецептурного складу виробу, проте швидкість цього процесу визначається низкою факторів, серед яких температура в морозильному середовищі, маса напівфабрикату, площа його поверхні, склад рецептури та тип упаковки» [31].

Сукупна дія цих чинників впливає на інтенсивність теплообміну та формування льодової фази.

Експериментальними дослідженнями також встановлено, що «процеси заморожування та подальшого розморожування призводять до змін властивостей сирої клейковини, виділеної з тіста» [32]. Це свідчить про перебудову білкової структури під впливом низьких температур, що необхідно враховувати при розробленні технологій виробництва хлібобулочних виробів із заморожених напівфабрикатів.

Зокрема, встановлено, що «під час заморожування тіста при температурі близько мінус 10,5 °C і подальшого зберігання за тих самих умов протягом десяти діб якість клейковини, оцінена за сукупністю показників, зокрема вологістю, гідратаційною здатністю, еластичністю, пластичністю та міцністю, наприкінці періоду зберігання знижується порівняно з початковим рівнем» [29]. Водночас на ранніх етапах, зокрема після трьох діб зберігання, спостерігається тимчасове покращення окремих властивостей, зокрема гідратаційної здатності та загальних структурних характеристик клейковини.

Підтверджено, що процес заморожування тіста супроводжується змінами пружних властивостей клейковини, що фіксуються за допомогою відповідних приладів. Встановлено, що «при зберіганні замороженого тіста за температури близько мінус 18 °C протягом обмеженого часу значення показника пружності може перевищувати вихідний рівень, однак при подовженні строків зберігання спостерігається його істотне зниження, що свідчить про поступову деградацію білкової структури» [33].

Доведено, що характер змін залежить від якості вихідного борошна. У зразках із сильною або середньою клейковиною за тривалого зберігання відзначається зниження показників пружності, тоді як для борошна зі слабкою клейковиною характерним є зростання відповідного показника та одночасне зменшення еластичних властивостей, що свідчить про різну чутливість білкових систем до дії низьких температур.

«Дослідження структурно-механічних властивостей тіста із застосуванням спеціалізованих методів показали, що під час зберігання у замороженому стані або при багаторазових циклах заморожування та розморожування відбувається істотна перебудова його структури» [34]. Таке тісто характеризується зниженням опору деформації, підвищеною розтяжністю, погіршенням газоутримувальної здатності та збільшенням липкості після розморожування.

Встановлено, що причиною таких змін є виділення відновлювальних сполук із пошкоджених дріжджових клітин, руйнування яких відбувається під час заморожування та подальшого зберігання. Ці речовини впливають на білкову структуру тіста, спричиняючи послаблення клейковинного каркаса і, відповідно, погіршення якості готових хлібобулочних виробів.

Водночас встановлено, що зміни структурно-механічних властивостей тіста під час заморожування та зберігання не завжди пов'язані з кількістю речовин відновлювальної дії. Показано, що «навіть за умов тривалого зберігання замороженого тіста при температурі близько мінус 12 °С протягом декількох тижнів, попри зниження газоутримувальної здатності, вміст вільних сульфгідрильних груп залишається практично незмінним» [35]. Встановлено, що «саме на стадії заморожування відбувається зростання кількості пошкоджених дріжджових клітин, що супроводжується збільшенням вмісту SH-груп, однак у процесі подальшого зберігання їх концентрація істотно не змінюється» [27].

Разом із тим зафіксовано підвищення показника співвідношення опору до розтяжності тіста, що свідчить про певне зміцнення його структури під час зберігання в замороженому стані. Це підтверджує складність і неоднозначність змін, які відбуваються в білковому каркасі тіста під впливом низьких температур.

Дослідження мікроструктури тіста показали, що важливу роль у зміні його властивостей відіграє процес рекристалізації льоду, який призводить до послаблення тривимірної білкової сітки, відповідальної за утримання газу. Водночас встановлено, що «негативний вплив заморожування обумовлений не лише механічним пошкодженням білкової матриці кристалами льоду, а й дією

сполук відновлювального характеру, що виділяються з пошкоджених дріжджових клітин» [35].

Існують також підходи, згідно з якими ослаблення консистенції тіста після циклів заморожування та розморожування пов'язане з дією факторів, що спричиняють денатурацію білків і розрив зв'язків між поліпептидними ланцюгами. «Водночас під час зберігання замороженого тіста може відбуватися часткове зміцнення його структури внаслідок перекристалізації льоду та формування нових міжмолекулярних зв'язків, зокрема дисульфідного типу» [36].

На властивості тіста суттєво впливає також стан вуглеводного комплексу та активність ферментних систем. Вміст природних зброджуваних цукрів у пшеничному борошні коливається у певних межах і включає глюкозу, фруктозу, мальтозу, сахарозу та інші олігосахариди. Інтенсивність газоутворення в тісті визначається як активністю дріжджів і кількістю доступних цукрів, так і сахароутворювальною здатністю борошна, що залежить від дії амілолітичних ферментів на крохмаль і стану крохмальних зерен.

Зерна крохмалю зв'язують воду переважно за рахунок адсорбційних процесів і при цьому незначно збільшуються в об'ємі. Встановлено, що «максимальна кількість води, яку може поглинути крохмаль, становить близько 30% від його маси. При цьому інтактні зерна здатні зв'язувати приблизно 0,4 г води на 1 г сухої речовини, тоді як пошкоджені зерна поглинають до 2 г води на 1 г сухої речовини» [37]. Таким чином, співвідношення цілих і пошкоджених зерен крохмалю суттєво впливає на водопоглинальну здатність борошна та характер перерозподілу вологи у тісті.

«Експериментально підтверджено, що оптимальний ступінь пошкодження крохмалю в борошні має перебувати в межах 17–19%. Перевищення цього рівня до 28–32% призводить до погіршення структурних властивостей тіста, зокрема до ослаблення його консистенції та зниження якості готових виробів, що проявляється у зменшенні об'єму хліба та формуванні щільного, недостатньо розпушеного м'якуша» [29].

Зміни стану крохмалю та ступеня пошкодження його зерен у процесі заморожування тіста досліджені недостатньо, проте наявні дані свідчать про суттєвий вплив низьких температур на його властивості. Показано, що «заморожування та подальше розморожування тіста супроводжується зниженням в'язкості крохмалю, що може впливати на реологічні характеристики тіста та якість готової продукції» [33].

Дослідження мікроструктури тіста із застосуванням низькотемпературної електронної мікроскопії показали, що у свіжому незамороженому тісті зерна крохмалю рівномірно розміщені в клейковинній сітці. Після короточасного зберігання в замороженому стані значних руйнувань крохмальних зерен не спостерігається, однак у білковій матриці з'являються незначні пошкодження, зумовлені утворенням кристалів льоду. За тривалого зберігання структура клейковинної сітки порушується, з'являються розриви, а зв'язок між білковим каркасом і крохмальними зернами послаблюється.

«Найбільш суттєві зміни відбуваються при багаторазових циклах заморожування та розморожування, які призводять до значного руйнування крохмальних зерен і погіршення структурної цілісності тіста. Це необхідно враховувати при розробленні технологічних режимів виробництва та зберігання заморожених напівфабрикатів» [36].

Дослідженнями встановлено, що «під час заморожування тіста та подальшого зберігання заморожених напівфабрикатів протягом двох тижнів за різних температурних режимів спостерігається певне підвищення вмісту відновлювальних цукрів» [28]. Водночас за подовження терміну зберігання до чотирьох тижнів їх кількість практично не змінюється, що свідчить про стабілізацію вуглеводного складу тіста в замороженому стані.

Також встановлено, що «процеси заморожування і зберігання тіста за температур близько мінус 12 і мінус 18 °C супроводжуються зниженням активності амілолітичних ферментів і протеаз, що впливає на перебіг біохімічних процесів у тісті» [37].

Одночасно відмічається незначне підвищення кислотності, що може бути пов'язано зі змінами у ферментативній та мікробіологічній активності під дією низьких температур.

1.3 Способи стабілізації властивостей тіста при його заморожуванні

Встановлено, що «низькотемпературна обробка тіста призводить до зниження газоутворювальної активності дріжджів, зміни його реологічних характеристик і послаблення пружних властивостей клейковини» [38]. У зв'язку з цим актуальним напрямом є розроблення ефективних підходів до стабілізації властивостей тіста в процесах заморожування, зберігання та розморожування, а також забезпечення високої якості готових виробів, виготовлених із заморожених напівфабрикатів. Досягнення стабільності можливе шляхом введення додаткових видів сировини та покращувачів із заданими функціональними властивостями, у тому числі із застосуванням кріопротекторів і оптимізації технологічних режимів.

Дослідження показують, що «одним із ефективних шляхів підвищення стабільності замороженого тіста є коригування рецептурного складу. Завдяки зміні співвідношення інгредієнтів можна суттєво покращити якість готових виробів і забезпечити збереження технологічних властивостей тіста під час низькотемпературної обробки» [38]. Встановлено, що «до рецептури, окрім основної сировини, доцільно вводити додаткові компоненти, зокрема цукор, жири, сухе знежирене молоко, яйця або яєчні продукти, які впливають на структуроутворення та стабільність системи» [39].

Разом із тим рекомендовані дозування цих інгредієнтів варіюють у широких межах, що обумовлено відмінностями у властивостях вихідної сировини та специфікою технологій виробництва різних видів продукції. «При цьому вплив окремих компонентів на якість виробів із замороженого тіста залишається недостатньо вивченим, що потребує подальших досліджень» [38].

У практиці хлібопекарського виробництва широко застосовують покращувачі різної природи дії, використання яких спрямоване на стабілізацію

властивостей тіста і дріжджів під час заморожування та зберігання. «До таких належать речовини окислювальної дії, ферментні препарати, поверхнево-активні сполуки та комплексні хлібопекарські покращувачі, які забезпечують регулювання структури тіста, активності ферментів і газотримувальної здатності» [40].

Особливе місце серед покращувачів посідає аскорбінова кислота, яка є безпечною з фізіологічної точки зору та ефективно використовується для зміцнення клейковинного каркаса. «Для підвищення її дії до складу тіста можуть додатково вводитися інші окиснювальні компоненти, що сприяє покращенню структурно-механічних властивостей тіста та якості готових хлібобулочних виробів» [35].

Аскорбінову кислоту в технології замороженого тіста застосовують у підвищених дозах порівняно з традиційними способами хлібопечення. «За необхідності її вміст може досягати близько 0,1% до маси борошна, хоча на практиці найчастіше використовують значно менші кількості, у межах 0,01–0,012%, що забезпечує ефективне зміцнення клейковинного каркаса та стабілізацію властивостей тіста» [41].

У багатьох країнах законодавчо обмежено або заборонено застосування броматів у хлібопекарському виробництві, тому як альтернативу використовують інші окиснювальні речовини, зокрема азодикарбонамід, пероксид кальцію та їх комбінації з ферментними препаратами і поверхнево-активними сполуками. Такий підхід дозволяє досягти необхідного технологічного ефекту без порушення вимог безпеки.

Запропоновано використання різних покращувачів для стабілізації властивостей клейковини під час заморожування тіста, зокрема ізоаскорбінової кислоти, окислювачів та емульгаторів у відповідних дозуваннях. Показано, що «комбіноване застосування аскорбінової кислоти з іншими окиснювальними компонентами та емульгаторами забезпечує більш виражений позитивний ефект, ніж їх окреме використання, що проявляється у покращенні структури тіста та якості готових виробів» [42].

Встановлено, що «недостатня кількість окислювальних покращувачів призводить до дестабілізації властивостей замороженого тіста, що пов'язано не лише зі збільшенням вмісту відновлювальних сполук, а й із руйнуванням клейковинної структури під дією кристалів льоду» [43]. Окислювачі сприяють підвищенню стійкості дріжджів під час зберігання, що є важливим фактором збереження газоутворювальної здатності тіста.

У технології заморожених напівфабрикатів широко застосовують ферментні препарати як самостійно, так і у складі комплексних покращувачів. «Використання ферментів, зокрема амілаз, протеїназ і ліпоксигеназ, сприяє інтенсифікації процесів газоутворення та підвищенню газотримувальної здатності тіста, особливо при застосуванні прискорених технологій» [34]. Поєднання ферментних препаратів з окиснювальними речовинами дозволяє отримати вироби більшого об'єму та кращої якості.

Крім того, «у виробництві застосовують інші ферменти, такі як глюкозооксидаза, каталаза та пероксидаза, які чинять помірну окиснювальну дію на білкову структуру тіста» [36]. Хоча їх ефект є менш вираженим порівняно з хімічними окиснювачами, вони відіграють важливу роль у комплексному покращенні властивостей замороженого тіста та стабілізації його структури.

У хлібопекарському виробництві застосовується широкий спектр поверхнево-активних речовин різної природи, зокрема аніонні, неіоногенні та амфотерні сполуки. «Для стабілізації властивостей тіста під час заморожування, покращення його реологічних характеристик і підвищення вмісту зв'язаної вологи ефективно використовують моно- та дигліцериди жирних кислот, а також ефіри моногліцеридів та інші ПАВ, які сприяють формуванню більш стійкої структури тіста» [39].

Показано, що «внесення деяких солей може впливати на процес кристалоутворення, знижуючи ймовірність формування великих кристалів льоду, які негативно впливають на структурну цілісність тіста» [43]. Це сприяє кращому збереженню його властивостей у процесі заморожування та подальшого зберігання.

Загалом покращувачі застосовують для регулювання якості замороженого тіста через вплив на інтенсивність газоутворення, активність дріжджів, а також реологічні й структурно-механічні характеристики системи, що в підсумку визначає якість готових виробів. Встановлено, що «найбільш ефективним є комплексне використання покращувачів у різних поєднаннях і дозуваннях, що дозволяє досягти синергетичного ефекту. У зв'язку з цим розробляються спеціальні композиційні суміші, до складу яких входять емульгатори, фосфоліпіди та інші функціональні компоненти, спрямовані на стабілізацію тіста при низькотемпературній обробці» [41].

Для забезпечення стабільності газоутворювальної активності дріжджів у процесі заморожування доцільним є застосування кріопротекторів, які сприяють збереженню цілісності клітинних структур і підвищують їх стійкість до дії низьких температур. Це дозволяє мінімізувати пошкодження клітин і підтримувати їх функціональну активність після розморожування.

«Дріжджі являють собою складні одноклітинні організми з розвиненою внутрішньою структурою, що включає клітинну стінку, цитоплазматичну мембрану, цитоплазму та внутрішньоклітинні органели, такі як ендоплазматична сітка, мітохондрії, рибосоми, ядро, апарат Гольджі, лізосоми та вакуолі, а також запасні речовини» [8]. Їх хімічний склад змінюється залежно від штаму, умов культивування та фізіологічного стану клітин.

Клітинна стінка дріжджів має складну будову і містить глюкани, манани, білки, ліпіди, хітин та мінеральні речовини. Вона характеризується високою міцністю та еластичністю, що забезпечує збереження форми клітини і підтримання внутрішнього осмотичного тиску. Крім того, клітинна оболонка має вибірккову проникність, що регулює надходження поживних речовин у клітину та виведення продуктів обміну, відіграючи ключову роль у забезпеченні життєдіяльності дріжджів.

Більшість дослідників дійшли висновку, що «оптимальна температура тіста для приготування заморожених напівфабрикатів є нижчою, ніж у традиційній технології, і зазвичай становить близько 10–25 °С, що дозволяє зменшити

інтенсивність ферментативних і мікробіологічних процесів на етапі підготовки тіста» [31].

Встановлено, що «для короткотривалого зберігання (до 30–40 діб) доцільно підтримувати температуру тіста на рівні 10–15 °С, тоді як для тривалого зберігання оптимальною є температура близько 20 °С» [42]. Досягнення таких температурних режимів забезпечується за рахунок технологічних прийомів охолодження сировини та інтенсифікації теплообміну під час замісу. З цією метою «використовують охолоджену воду, попередньо охолоджену сировину, заміс із застосуванням льоду, а також обладнання з охолоджувальними рубашками і введенням охолодженого газового середовища, що дозволяє стабілізувати температуру тіста на необхідному рівні» [40].

Окрему увагу в технології заморожування приділяють формі тістових заготовок. Дослідження показали, що геометрія виробів суттєво впливає на швидкість проморожування та формування кристалів льоду. Зокрема, заготовки з меншою товщиною або витягнутої форми заморожуються швидше і рівномірніше, що сприяє зменшенню розміру кристалів та збереженню структури клейковинного каркаса.

Також встановлено, що умови та тривалість зберігання заморожених тістових заготовок мають вирішальний вплив на якість готових виробів. «При температурі зберігання близько мінус 18–20 °С стабільність технологічних властивостей тіста та якість хлібобулочних виробів зберігаються протягом 4–6 місяців. Натомість підвищення температури зберігання до мінус 12–15 °С значно скорочує цей період до приблизно 4 тижнів, що пов'язано з інтенсифікацією процесів рекристалізації льоду та погіршенням структури тіста» [26].

У ряді досліджень відзначається, що повторне заморожування тістових заготовок є небажаним технологічним прийомом, оскільки багаторазові цикли заморожування–розморожування призводять до суттєвого погіршення структурно-механічних властивостей тіста та, як наслідок, різкого зниження якості готових хлібобулочних виробів.

Паралельно з цим у роботах, присвячених підбору сировини для технології заморожених напівфабрикатів, встановлено вимоги до якості пшеничного борошна. Зокрема, «оптимальним вважається борошно з вмістом білка на рівні 13,5–14,0%, що забезпечує формування міцної та еластичної клейковинної структури» [18].

Висновки по розділу.

Аналіз вітчизняної та зарубіжної літератури щодо дискретної технології виробництва хлібобулочних виробів із низькотемпературною обробкою тіста показав, що проблема залишається недостатньо вирішеною. Попри наявність численних експериментальних досліджень і визначених технологічних параметрів, значна їх частина отримана емпіричним шляхом і може бути використана лише для конкретних умов сировини, рецептур та обладнання. Відсутність системного аналізу біохімічних і фізико-хімічних процесів на всіх етапах обмежує можливість перенесення цих результатів на інші виробничі умови.

Залишаються невизначеними механізми змін газоутворювальної активності дріжджів під час заморожування, зберігання та розморожування тіста, а також оптимальний фізіологічний стан дріжджових клітин і етапи, на яких доцільно здійснювати заморожування напівфабрикатів.

Не встановлено чітких критеріїв відбору кріостійких дріжджів та впливу генетичних і технологічних факторів на їх властивості, як і немає єдиної думки щодо доцільності використання різних форм дріжджів та значущості традиційних показників їх якості. Також недостатньо вивчено ефективність кріопротекторів для захисту клітин від низькотемпературного пошкодження.

Суперечливими залишаються дані щодо швидкості заморожування та умов розморожування тістових заготовок, а також температурних режимів їх обробки, які варіюють у широкому діапазоні. Крім того, відсутня однозначна інтерпретація причин змін структурно-механічних властивостей тіста та впливу етапів заморожування, зберігання і розморожування на газоутворювальну активність дріжджів.

2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Характеристика використаної сировини

Пшеничне борошно (табл. 2.1). У дослідженнях використовували сім зразків товарного пшеничного борошна вищого сорту, серед яких чотири характеризувалися середніми хлібопекарськими властивостями, один зразок мав короткорвану клейковину, а ще один – слабку за силою клейковину.

Таблиця 2.1 – Характеристика пшеничного борошна вищого сорту

Показники якості борошна	Зразок борошна, №						
	1	2	3	4	5	6	7
Вологість, %	14,5	14,2	14,4	14,0	13,7	13,8	14,0
Кислотність, град.	2,6	2,2	3,0	2,0	2,4	2,5	2,6
Вміст клейковини, %	33,0	32,0	31,0	33,0	30,0	30,0	31,0
Розтяжність, см	15,0	14,0	13,5	12,0	15,0	20,0	10,0
Деформація сирої клейковини, од. пр.	88	82	80	75	89	110	40
Газоутворююча здатність, см ³ /100 г	1190	1180	1280	1425	1340	1250	1310
Газоутримувальна здатність, см ³	500	400	500	400	450	380	450

Дріжджі пресовані. У роботі застосовували пресовані дріжджі, виготовлені на українських підприємствах, а також промислові морозостійкі дріжджі канадського виробництва «Lallemand».

Сіль, цукор, маргарин, олія соняшникова, які були використані в якості сировини в рецептурі дослідних напівфабрикатів повністю відповідали вимогам чинної нормативно-технічної документації, галузевим умовам та технічним умовам. Загальна рецептура напівфабрикатів сформована на підставі проведеного аналітичного огляду наведена в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Рецептура дослідних тістових напівфабрикатів

Сировина	Кількість, кг на 100 кг тіста
Борошно пшеничне	57,5
Вода	32,0
Цукор	2,3
Маргарин	1,7
Олія соняшникова	1,2
Дріжджі	1,7
Сіль	0,9

2.2 Спосіб приготування тіста та напівфабрикатів

Замість тіста при лабораторних дослідженнях здійснювали на лабораторній тістомісильній машині з Ф-подібними місильними органами при частоті обертання 40 об/хв упродовж 15 хв.

Безопарний спосіб приготування тіста передбачав одночасне внесення всіх компонентів рецептури з подальшим замішуванням до отримання однорідної маси з необхідними реологічними властивостями. Після замісу тісто витримували протягом короткого часу для стабілізації структури, після чого направляли на подальшу обробку.

Тісто ділили на шматки масою 100 г і 200 г та округлювали вручну. Сформовані напівфабрикати заморожували на лабораторній установці фірми «Frigoscandia» (Нідерланди). Процес заморожування вважали завершеним при досягненні температури в центрі заготовки, що відповідала температурі заморожування.

Заморожені заготовки пакували в поліетиленові пакети та зберігали при температурі мінус 18 – мінус 20 °С. Обрані режими заморожування і зберігання відповідали літературним даним і були підтверджені попередніми експериментами, а тривалість зберігання визначалася умовами дослідження.

Розморожування тістових напівфабрикатів проводили за різних температурних режимів залежно від поставленої мети експерименту. Процес вважали завершеним після досягнення температури в центрі заготовки 20 °С.

Після розморожування напівфабрикати піддавали вистоюванню в лабораторній шафі при температурі 36 – 38 °С і відносній вологості повітря 75-85% до досягнення готовності, яку визначали органолептично.

Випікання здійснювали в лабораторній електропечі при температурі 200 – 220 °С упродовж 15-20 хв залежно від маси тістових заготовок.

2.3 Опис використаних методик

Більшість лабораторних досліджень проводили на базі навчальних лабораторій кафедри харчових технологій ДДАЕУ та приймально-виробничої лабораторії підприємства-бази практики під час проходження виробничої переддипломної практики.

При дослідженні впливу глибокого заморожування на реологічні властивості тіста оцінювали якісні та кількісні показники клейковини, відмитої з тістових напівфабрикатів до та після заморожування.

Якісні зміни клейковини тістових напівфабрикатів у процесах заморожування, розморожування та зберігання оцінювали за показниками деформації, визначеної на приладі ІДК-1, розтяжності над лінійкою, часу витікання на приладі ПЛ-2, а також за вологістю та гідратаційною здатністю сирої клейковини. Визначення зазначених характеристик здійснювали відповідно до загальноприйнятих методик, наведених у профільних науково-методичних джерелах.

Кількісну оцінку клейковини проводили шляхом визначення вмісту сирої та сухої клейковини згідно з вимогами ДСТУ ISO 21415-2:2009. Вміст сухої клейковини розраховували за формулою:

$$K_{\text{сух.кл.}} = \frac{K_{\text{сир.кл.}} \cdot (100 - W_{\text{сир.кл.}})}{100} \quad (2.1)$$

де $K_{\text{сух.кл.}}$ – вміст сухої клейковини, %;

$K_{\text{сир.кл.}}$ – вміст сирої клейковини, %;

$W_{\text{сир.кл.}}$ – вологість сирої клейковини, %.

Газоутворюючу та газоутримувальну здатність тіста визначали за допомогою приладу за стандартною методикою, наведеною у [24], що дозволяє оцінити інтенсивність бродіння та здатність тіста утримувати утворений газ.

Оцінювання якості виробів проводили через 16–20 год після випікання за фізико-хімічними та органолептичними показниками відповідно до загальноприйнятих методик, наведених у спеціалізованих джерелах.

Вологість м'якушки визначали методом висушування наважки у сушильній шафі згідно з вимогами ДСТУ 7045:2009 та виражали у відсотках.

Пористість виробів визначали за методикою, регламентованою ДСТУ 7045:2009, і виражали у відсотках. Питомий об'єм виробів розраховували як відношення їх об'єму, визначеного методом витіснення сипкого матеріалу, до маси та виражали у см³/г.

Формостійкість подових виробів оцінювали як відношення висоти до діаметра за загальноприйнятою методикою, використовуючи рекомендації профільних нормативних документів і наукових джерел.

Висновки по розділу.

У розділі наведено характеристику сировини, використаної для проведення досліджень, зокрема пшеничного борошна різної якості за властивостями клейковини та пресованих дріжджів, включаючи морозостійкі зразки. Обґрунтовано вибір рецептури тістових напівфабрикатів і описано технологію їх приготування безопарним способом із застосуванням лабораторного обладнання. Визначено основні параметри процесів замішування, формування, заморожування,

зберігання, розморожування, вистоювання та випікання, що забезпечують відтворюваність експериментальних умов.

У розділі також представлено методики оцінювання якості тіста та готових виробів, зокрема дослідження реологічних властивостей клейковини, її якісних і кількісних характеристик, а також газоутворюючої та газотримувальної здатності тіста. Описано підходи до визначення фізико-хімічних і органолептичних показників якості хлібобулочних виробів відповідно до чинних стандартів, що дозволяє комплексно оцінити вплив низькотемпературної обробки на властивості тіста та кінцевої продукції.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Вплив температури заморожування та розморожування якості напівфабрикатів

Аналіз літературних джерел показав, що суперечливість отриманих різними дослідниками результатів зумовлена передусім складністю об'єкта дослідження, оскільки тісто є багатокомпонентною системою, виготовленою за різними рецептурами із сировини, що відрізняється за складом і властивостями, а також використанням широкого діапазону технологічних параметрів.

У дослідженнях тісто готували за рецептурою, що включала борошно – 100%, дріжджі – 5%, сіль – 1,5%, з додаванням води до досягнення вологості тіста 43%. Як узагальнюючі критерії оцінювання використовували загальноприйняті показники якості готових виробів із заморожених напівфабрикатів, зокрема питомий об'єм, пористість і формостійкість. При цьому на кожному етапі експерименту досліджували вплив лише одного змінного фактора за використання визначених зразків борошна та дріжджів.

Дослідження з підбору параметрів заморожування тістових напівфабрикатів проводили для встановлення такого температурного режиму заморожування, який забезпечує найвищу якість готової продукції.

Для побудови кривих заморожування тістові заготовки поміщали у швидкоморозильний апарат за температур мінус 15, мінус 20, мінус 25 і мінус 30 °С при швидкості руху повітря 4 м/с, що відповідає оптимальним умовам теплообміну. Процес заморожування вважали завершеним після досягнення температури в центрі напівфабрикату, рівної температурі середовища.

Динаміка зміни температури в середині заготовок при різних режимах заморожування наведена на відповідному рис. 3.1.

За результатами аналізу кривих заморожування, наведених на рис. 3.1, встановлено, що їх загальний характер практично не залежить від температури охолоджувального середовища. Це свідчить про подібність умов теплообміну під час заморожування тіста в досліджуваному температурному діапазоні.

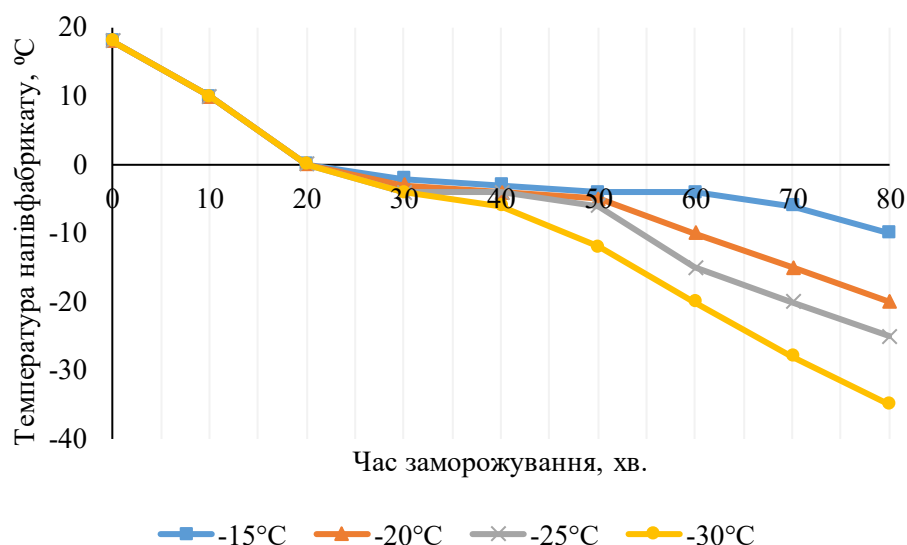


Рисунок 3.1 – Зміна температури всередині напівфабрикатів при різних температурах заморожування

Усі отримані криві (рис. 3.1) мають три типові ділянки: перша (похила пряма) відображає поступове зниження температури всередині напівфабрикату; друга (горизонтальна) відповідає фазі кристалізації води; третя (знову похила) характеризує подальше зниження температури до встановлення рівноваги з навколишнім середовищем. Отримані результати узгоджуються з даними, наведеними в роботах інших дослідників.

Встановлено, що на початковому етапі охолодження до початку кристалізації швидкість зниження температури є майже однаковою для всіх режимів і становить близько $0,9\text{ }^{\circ}\text{C/хв}$. Водночас на стадії кристалізації води спостерігаються суттєві відмінності: зі зниженням температури заморожування скорочується тривалість цього процесу. Зокрема, при температурі $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ тривалість заморожування становила 82 хв (швидкість $-0,35\text{ }^{\circ}\text{C/хв}$), при $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 57 хв ($0,54\text{ }^{\circ}\text{C/хв}$), при $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 45 хв ($0,62\text{ }^{\circ}\text{C/хв}$), а при $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 37 хв ($0,76\text{ }^{\circ}\text{C/хв}$). На завершальному етапі відбувається поступове вирівнювання температури всередині напівфабрикату з температурою навколишнього середовища, що завершує процес заморожування.

Заморожені тістові напівфабрикати витримували протягом 24 годин за температури $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, за винятком зразків, заморожених при $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, які зберігалися

за тієї ж температури. Подальші технологічні операції для всіх варіантів напівфабрикатів проводили за уніфікованими режимами, що дозволило об'єктивно оцінити вплив температури заморожування на якість готової продукції.

Розморожування здійснювали в лабораторних умовах при температурі 20–22 °С до досягнення температури в центрі заготовки 18–20 °С. Після цього проводили розстоювання тістових заготовок до готовності за температури 36–38 °С і відносної вологості повітря 75–80% у спеціальній шафі. Випікання здійснювали в лабораторній електропечі при температурі 200–220 °С протягом 12–15 хв.

Отримані результати, що характеризують взаємозв'язок між температурою заморожування та показниками якості хлібобулочних виробів, виготовлених із цих напівфабрикатів, наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Показники якості хлібобулочних виробів із тістових напівфабрикатів, заморожених при різних температурах

Найменування показників	Напівфабрикати заморожені за температури, °С				
	Контроль (незаморожене тісто)	–15	–20	–25	–30
Пористість, %	81	75	79	79	79
Об'єм, см ³ /г	4,0	3,5	3,7	3,8	3,8
Формостійкість (Н/Л)	0,50	0,43	0,48	0,49	0,49

Аналіз отриманих результатів показав, що пористість, питомий об'єм і формостійкість виробів, виготовлених із заморожених тістових напівфабрикатів, у всіх досліджуваних режимах були нижчими порівняно з контрольними зразками з незамороженого тіста. Це свідчить про негативний вплив низькотемпературної обробки на структурні та технологічні властивості тіста.

Найбільш суттєве погіршення якості спостерігалось у виробів, отриманих із напівфабрикатів, заморожених при температурі –15 °С. Зокрема, пористість зменшилася на 7,4%, питомий об'єм – на 12,5%, а формостійкість – на 14,0% відносно контролю. Водночас для зразків, заморожених при температурах –20 °С,

$-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, зміни були менш вираженими: пористість знизилася приблизно на 2,5%, об'єм – на 7,5%, а формостійкість – на 4,0%. При цьому якісні показники виробів, отриманих за цих трьох температурних режимів, були практично однаковими.

На підставі проведених досліджень встановлено, що заморожування тіста в інтервалі температур від -20 до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ при швидкості руху повітря 4 м/с (що відповідає швидкості заморожування $0,54\text{--}0,76\text{ }^{\circ}\text{C/хв}$) забезпечує подібний рівень якості готових виробів. З урахуванням отриманих результатів для подальших досліджень було обрано режим заморожування при температурі $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ і швидкості руху повітря 4 м/с як оптимальний.

Одним із ключових чинників, що визначають якість хлібобулочних виробів із заморожених тістових напівфабрикатів, є раціональна організація процесу їх розморожування. Встановлено, що «температурні режими розморожування можуть суттєво варіюватися – від 5 до $38\text{ }^{\circ}\text{C}$, однак єдиної думки щодо оптимальних умов у науковій літературі не сформовано» [18].

Частина дослідників обґрунтовує доцільність повільного розморожування «при температурі близько $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ тим, що за таких умов дріжджові клітини поступово адаптуються до зміни середовища без значної втрати бродильної активності» [8, 12]. Водночас інші науковці «віддають перевагу швидкому розморожуванню при підвищених температурах ($36\text{--}38\text{ }^{\circ}\text{C}$), оскільки тривале перебування напівфабрикатів у зоні низьких температур сприяє перекристалізації льоду та укрупненню кристалів, що негативно впливає на клітини дріжджів і клейковинну структуру тіста» [11, 22, 34].

З метою встановлення впливу режимів розморожування на якість готових виробів було проведено серію експериментальних досліджень. Тістові напівфабрикати, виготовлені безопарним способом і сформовані одразу після замісу, заморожували при температурі $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ за швидкості руху повітря 4 м/с, після чого зберігали при $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 24 годин. Розморожування здійснювали за трьома різними режимами: при температурі $5 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості повітря

30–35% (у холодильних умовах), при 20 ± 3 °C і вологості 40–65% (у лабораторії), а також при 37 ± 1 °C і вологості 55–65% (у шафі для розстоювання).

Процес розморожування вважали завершеним після досягнення температури в центрі напівфабрикату, рівної температурі навколишнього середовища. Після цього зразки витримували до готовності при температурі 36–38 °C і відносній вологості 75–80%, а далі піддавали випіканню. Результати проведених досліджень наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Показники якості хлібобулочних виробів із тістових напівфабрикатів, розморожених при різних режимах

Найменування показників	Напівфабрикати розморожені за температури, °C			
	Контроль (незаморожене тісто)	5°C	20°C	37°C
Пористість, %	81	76	79	77
Об'єм, см ³ /г	4,0	3,5	3,7	3,6
Формостійкість (Н/П)	0,50	0,48	0,48	0,42

Як видно з даних табл. 3.6, найвищі показники якості спостерігалися у виробів, виготовлених із напівфабрикатів, розморожених при температурі 20 ± 3 °C. У цьому випадку пористість, питомий об'єм і формостійкість зменшилися відносно контрольного зразка лише на 2,5%, 7,5% і 4,0% відповідно, що свідчить про мінімальний негативний вплив обраного режиму.

Розморожування при температурі 5 ± 1 °C та 37 ± 1 °C призводило до більш помітного погіршення якості виробів. Так, при температурі 5 ± 1 °C зниження показників становило: пористості – на 6,2%, питомого об'єму – на 12,5%, формостійкості – на 4,0%. Крім того, встановлено, що за таких умов відбувалося підсушування поверхні напівфабрикатів і утворення тріщин, навіть за наявності пакування, що негативно впливало на якість готової продукції. При розморожуванні при температурі 37 ± 1 °C також спостерігалось зниження якості:

пористість зменшувалася на 4,9%, питомий об'єм – на 10,0%, а формостійкість – на 16%, що є найбільш суттєвим відхиленням серед досліджуваних режимів.

Отже, оптимальним режимом розморожування є температура 20 ± 3 °C за відносної вологості повітря 55–65%, що забезпечує найкраще збереження структурно-механічних властивостей тіста та високу якість готових хлібобулочних виробів.

3.2 Вплив низьких температур на властивості дріжджів

Біотехнологічні властивості дріжджів, їх морфологічні особливості та газоутворювальна активність клітин у процесах заморожування, зберігання й розморожування напівфабрикатів відіграють ключову роль у формуванні якості хлібобулочних виробів. Саме ці чинники значною мірою визначають ефективність перебігу бродильних процесів, структуроутворення тіста та стабільність його властивостей під час низькотемпературної обробки. Крім того, розуміння змін, що відбуваються в дріжджових клітинах за таких умов, є основою для розробки науково обґрунтованих підходів до підвищення якості готової продукції.

У даному розділі роботи здійснено комплексне дослідження впливу низькотемпературної обробки на газоутворювальну активність клітин у тістовій системі. Особливу увагу приділено аналізу змін, що відбуваються на різних етапах з метою встановлення закономірностей, які впливають на якість хлібобулочних виробів.

У даній роботі дослідження проводили на тістовій системі, що складалася з борошна, дріжджів і води, з максимальним наближенням умов експерименту до реальних виробничих процесів. Активність дріжджів оцінювали за інтенсивністю газоутворення в тісті на різних етапах – під час заморожування, зберігання та розморожування напівфабрикатів.

Відомо, що рівень газоутворення в тісті визначається як газоутворювальною здатністю борошна, так і активністю дріжджів. Однак у даному дослідженні використовували одну й ту ж пробу борошна, що дозволило пов'язати зміни

газоутворення безпосередньо зі змінами активності дріжджових клітин. У досліджах застосовували борошно і пресовані дріжджі, а контрольними слугували вироби, виготовлені за аналогічною технологією, але без стадії заморожування.

Результати дослідження наведено на рис. 3.2.

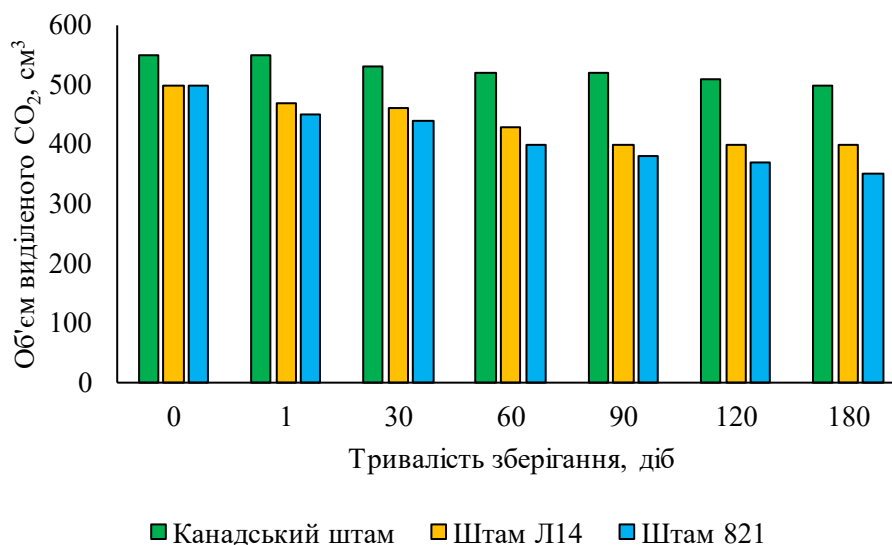


Рисунок 3.2 – Газоутворення в тісті з різними штамми дріжджів в процесі зберігання заморожених напівфабрикатів

Встановлено, що після заморожування, добового зберігання та подальшого розморожування тістових напівфабрикатів сумарне виділення діоксиду вуглецю за 5 годин бродіння зменшувалося на 3–7% порівняно з незамороженим тістом, залежно від штаму дріжджів. Зокрема, газоутворювальна активність дріжджів канадської фірми «Lallemand» знизилася на 3%, штаму Л-14 – на 5%, а штаму 821 – на 7%.

З огляду на практичну необхідність зберігання заморожених напівфабрикатів протягом різних термінів, важливим завданням стало встановлення закономірностей зміни газоутворювальної активності дріжджів у процесі їх тривалого зберігання в замороженому стані.

Як видно з даних, наведених на рис. 3.2, інтенсивність газоутворення в тісті змінювалася протягом усього періоду зберігання (до 180 годин) для всіх досліджених штамів дріжджів, проте ступінь цих змін суттєво відрізнявся. Зокрема,

після 180 годин зберігання заморожених напівфабрикатів газоутворювальна активність дріжджів канадської фірми «Lallemand» зменшилася приблизно на 5%, штаму Л-14 – на 10%, а штаму 821 – на 15%.

Отже, встановлено, що в процесі зберігання заморожених напівфабрикатів спостерігається поступове зниження газоутворення в тісті в межах 5–15%. При цьому найменшу активність виявляв штам 821, тоді як штами Л-14 та «Lallemand» характеризувалися вищими показниками, що узгоджується з результатами випікання хлібобулочних виробів.

Дослідження максимальної швидкості газоутворення (на прикладі штаму Л-14) показали, що після добового зберігання вона зменшувалася незначно – приблизно на 0,5% від початкового рівня, тоді як після 180 годин зниження становило вже 4–6%. Крім того, встановлено зміщення піку максимальної швидкості газоутворення: якщо у свіжому тісті він спостерігався раніше, то після зберігання заморожених напівфабрикатів – через 3–4 години від початку бродіння (рис. 3.3), що свідчить про уповільнення біохімічних процесів у дріжджових клітинах.

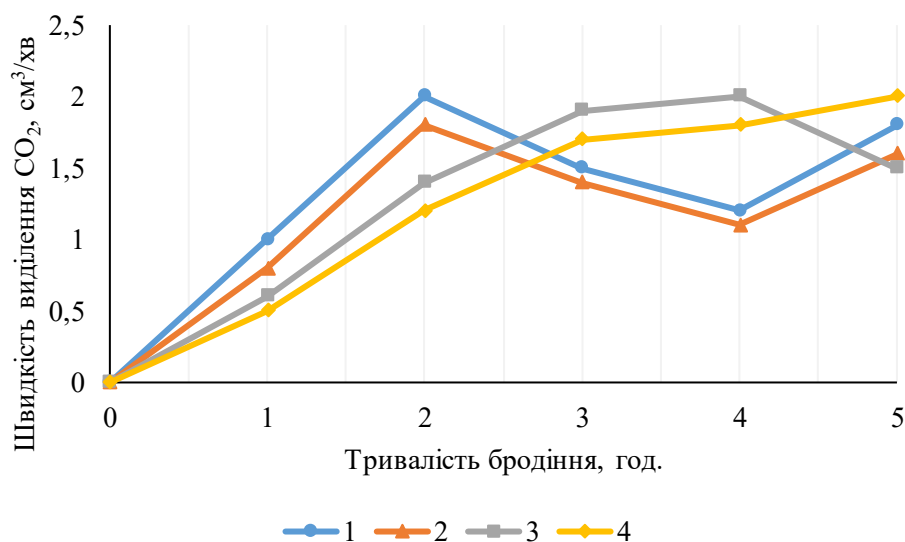


Рисунок 3.3 – Швидкість газоутворення в тісті в процесі зберігання заморожених напівфабрикатів: 1 – контроль (без заморожування), 2 – після зберігання в замороженому стані 1 добу, 3 – після зберігання в замороженому стані 90 діб, 4 – після зберігання в замороженому стані 180 діб

Зміщення піку інтенсивності газоутворення на більш пізні стадії бродіння тіста пояснюється подовженням лаг-фази дріжджів. Це, у свою чергу, пов'язано зі змінами ферментативної активності клітин, що відбуваються під впливом низькотемпературної обробки тіста.

Отримані результати узгоджуються з літературними даними, які свідчать про незначне зниження газоутворювальної активності дріжджів після процесів заморожування та розморожування, а також про її поступове зменшення впродовж зберігання напівфабрикатів. Додатково підтверджено факт зміщення максимуму швидкості газоутворення зі збільшенням тривалості зберігання, що необхідно враховувати при оптимізації режимів розстоювання тістових заготовок після їх розморожування.

3.3 Вплив низьких температур на властивості клейковини

Структурно-механічні характеристики клейковини, зокрема її еластичність, пружність і в'язкість, мають вирішальне значення у хлібопекарському виробництві, оскільки саме вони визначають об'єм виробів, їх форму та пористу структуру м'якуша. Клейковина є реологічно нестійкою системою, її пружні та розтяжні властивості здатні змінюватися у широких межах під впливом різних хімічних і фізико-хімічних чинників.

Вченими встановлено, що вплив низьких температур на властивості клейковини проявляється у вигляді її послаблення після процесів заморожування та розморожування тіста. Разом із тим під час зберігання заморожених напівфабрикатів упродовж 30–60 діб спостерігається певне зміцнення клейковинної структури, проте за подальшого зберігання її пружні властивості знову погіршуються. Водночас доведено, що така закономірність характерна переважно для борошна з сильною або середньою клейковиною, тоді як у випадку слабкої клейковини її властивості під час зберігання ще більше погіршуються. Дослідниками також встановлено, що найбільш суттєві зміни відбуваються за умов

екстремального заморожування, зокрема при дуже низьких температурах, а також при різних швидкостях процесу охолодження.

Оскільки більшість досліджень виконано на дріжджовому тісті, де на властивості системи впливають дріжджі, виникла необхідність у проведенні додаткових експериментів із використанням як дріжджового, так і бездріжджового тіста. Це дало змогу більш об'єктивно оцінити зміни клейковинного комплексу під дією низькотемпературної обробки.

Оцінювання властивостей клейковини здійснювали за комплексом показників, що включали вміст сирогої та сухої клейковини, її гідратаційну здатність, деформаційні характеристики, розтяжність і пружність. Заморожені напівфабрикати зберігали протягом 180 діб, при цьому клейковину виділяли після першої доби зберігання та через кожні наступні 30 діб, а за контроль приймали показники клейковини, отриманої зі свіжоприготованого тіста (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Вплив низьких температур на властивості клейковини при розморожуванні напівфабрикатів

Показник	Тривалість зберігання, діб							
	Контроль	1	30	60	90	120	150	180
Зміна кількості сирогої клейковини, %	–	-5,5	-6,1	-5,8	-6,4	-5,8	-3,6	-3,3
Кількість сухої клейковини, %	10,2	10,3	10,0	9,6	9,6	9,4	8,6	8,0
Зміна кількості сухої клейковини, %	–	-1,1	-1,9	-3,9	-3,9	-7,8	- 15,7	- 21,6
Вологість, %	69,0	67,0	68,0	69,2	69,0	69,7	73,0	75,0
Зміна вологості, %	–	-2,9	-1,4	0,3	0,0	1,0	5,8	8,7

Продовження табл. 3.3

Показник	Тривалість зберігання, діб							
	Контроль	1	30	60	90	120	150	180
Гідратаційна здатність, %	222,6	203,0	212,5	224,7	222,6	230,0	270,4	300,0
Зміна гідратаційної здатності, %	—	-8,8	-4,5	1,0	0,0	3,3	21,5	34,8
Показник деформації, од. пр.	88	92	88	82	79	81	95	100
Зміна показника деформації, %	—	4,5	0,0	-6,8	-10,2	-7,9	7,9	13,6
Розтяжність, см	14,5	16,0	16,0	14,0	13,5	14,0	18,0	19,0
Зміна розтяжності, %	—	10,3	10,3	-3,4	-6,9	-3,4	24,1	31,0
Пружність, с	38	34	39	52	76	55	25	22
Зміна пружності, %	—	-10,5	2,6	36,8	100,0	44,7	-34,2	-42,1

Як свідчать дані, наведені в табл. 3.3, у процесі заморожування та подальшого зберігання бездріжджових тіста протягом першої доби спостерігається зменшення вмісту сирової клейковини. У подальшому, протягом усього періоду зберігання, зміни цього показника мають хвилеподібний характер. Аналіз динаміки вмісту сухої клейковини показав, що протягом усього часу зберігання її кількість поступово зменшується порівняно з початковим рівнем, причому ступінь зниження зростає зі збільшенням тривалості зберігання.

Вологість клейковини після першої доби зберігання зменшується відносно контрольного значення, однак надалі поступово зростає і наприкінці періоду перевищує вихідний рівень на 8,7%. Подібна закономірність характерна і для гідратаційної здатності, яка спочатку знижується, а зі збільшенням тривалості зберігання поступово підвищується, досягаючи перевищення над контролем на 34,8% після завершення експерименту.

Отже, у процесі зберігання заморожених напівфабрикатів спостерігається зменшення вмісту сухої клейковини при одночасному зростанні її вологості та гідратаційної здатності. Такі зміни зумовлюють нелінійний характер коливань кількості сирової клейковини, що, ймовірно, пов'язано зі зміною співвідношення між набухаючими та водорозчинними білковими фракціями у тісті.

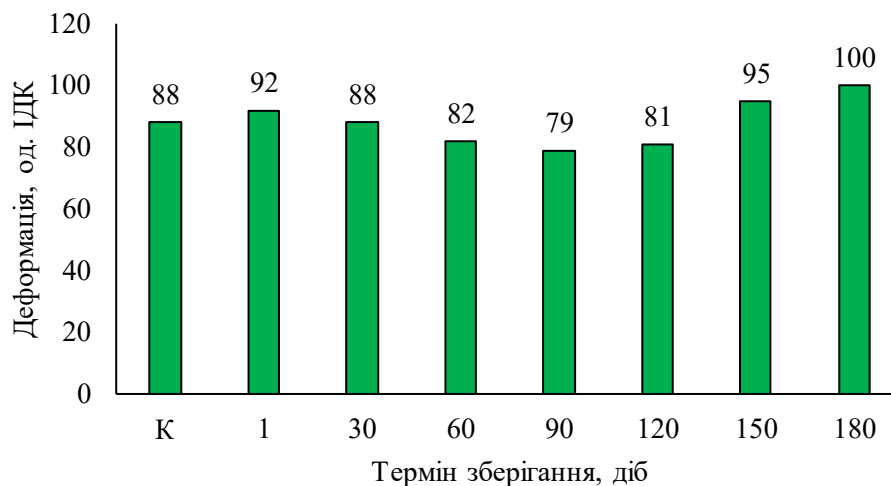


Рисунок 3.4 – Показник деформації клейковини в процесі зберігання заморожених напівфабрикатів

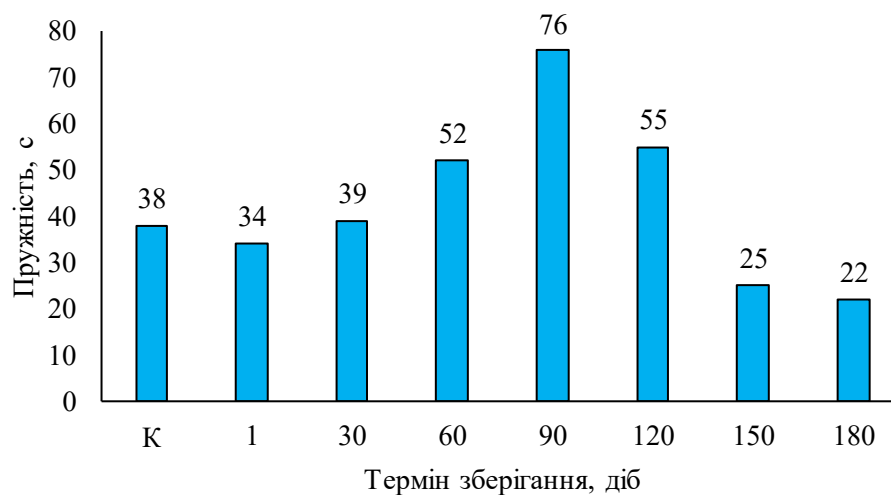


Рисунок 3.5 – Пружність клейковини в процесі зберігання заморожених напівфабрикатів

Під час дослідження пружно-еластичних характеристик клейковини, визначених за допомогою приладів ІДК-1 (рис. 3.4), пластометру ПЛ-2 (рис. 3.5) та показника розтяжності, встановлено, що після однієї доби зберігання її пружні

властивості знижуються, що підтверджується даними пластометра, тоді як показник деформації та розтяжність практично не змінюються.

За збільшення тривалості зберігання напівфабрикатів до 120 діб відзначено ущільнення клейковинної структури, про що свідчить зменшення показника деформації, підвищення значень пластометрії та зниження розтяжності порівняно з контрольним зразком.

При подальшому зберіганні понад 150 діб і до 180 діб спостерігається виражене погіршення пружних властивостей клейковини, вона стає більш ослабленою. Це підтверджується зростанням показника деформації на 13,6%, збільшенням розтяжності на 31,0% та зміною пружності на 42,1% відносно контрольних значень.

З метою обґрунтування вимог до якості пшеничного борошна для виробництва хлібобулочних виробів із заморожених напівфабрикатів проведено лабораторні випікання із застосуванням борошна вищого сорту з різною якістю клейковини. У дослідженні використовували зразки зі слабкою клейковиною (110 од. пр. ІДК), середньою за силою (75 од. пр. ІДК) та короткорвану (40 од. пр. ІДК). Отримані результати наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Показники якості хлібобулочних виробів із заморожених напівфабрикатів з використанням борошна різної якості

Показник	Режим	Проба 4	Проба 6	Проба 7
Пористість, %	К	78	77	76
	O1	77	73	74
	O2	73	69	70
Питомий об'єм, см³/г	К	3,8	3,5	3,5
	O1	3,4	3,1	3,2
	O2	3,0	2,7	2,8
Формостійкість (Н/П)	К	0,50	0,47	0,50
	O1	0,47	0,40	0,51
	O2	0,45	0,37	0,50

Оцінювання якості готових виробів здійснювали за показниками пористості, питомого об'єму та формостійкості. Досліджували зразки, виготовлені із заморожених напівфабрикатів після зберігання протягом однієї доби (О1) та одного місяця (О2), а контрольними (К) вважали вироби, отримані за аналогічною технологією без застосування стадії заморожування.

Аналіз показників якості хліба, виготовленого із заморожених напівфабрикатів на основі пшеничного борошна різної якості, показав, що питомий об'єм і формостійкість виробів знижуються при використанні борошна зі слабкою або короткорваною клейковиною. Вироби з борошна зі слабкою клейковиною характеризувалися розпливчастою формою, тоді як продукція з короткорваною клейковиною мала щільний м'якуш і нерівномірну, бугристу поверхню скоринки.

На основі отриманих результатів сформульовано науково обґрунтовані вимоги до якості пшеничного борошна, призначеного для виробництва хлібобулочних виробів із заморожених напівфабрикатів. Для забезпечення високої якості готової продукції доцільно використовувати хлібопекарське пшеничне борошно з клейковиною першої групи якості, вміст якої має становити не менше 30,0% для борошна вищого сорту та не менше 32,0% для першого сорту.

Висновки по розділу.

У результаті проведених досліджень встановлено, що температурний режим заморожування істотно впливає на якість хлібобулочних виробів, виготовлених із заморожених тістових напівфабрикатів. Виявлено, що при всіх досліджених температурах спостерігається зниження основних показників якості порівняно з незамороженим тістом, проте ступінь цього зниження залежить від умов процесу.

Найбільш суттєве погіршення якості зафіксовано при заморожуванні за температури мінус 15 °С, що супроводжувалося зниженням пористості, питомого об'єму та формостійкості. Водночас використання температур у діапазоні мінус 20 – мінус 30 °С забезпечувало значно кращі результати, при яких якість виробів змінювалася незначно та залишалася близькою до контрольних значень.

Встановлено, що швидкість заморожування також має важливе значення для формування структури тіста. При інтенсивнішому заморожуванні скорочується тривалість кристалізації води, що сприяє утворенню дрібніших кристалів льоду та меншому пошкодженню структурних компонентів тіста.

Дослідження процесу розморожування показали, що оптимальним є режим при температурі близько 20 °C, який забезпечує найкраще збереження структурно-механічних властивостей тіста та високу якість готових виробів. Використання нижчих або вищих температур призводить до додаткових дефектів, зокрема зневоднення поверхні або надмірного ослаблення структури.

Вивчення біотехнологічних властивостей дріжджів показало, що низькотемпературна обробка знижує їх газоутворюючу активність. Після заморожування та зберігання напівфабрикатів відзначається поступове зменшення інтенсивності виділення діоксиду вуглецю, що безпосередньо впливає на об'єм та пористість хліба.

Також встановлено, що тривале зберігання заморожених напівфабрикатів спричиняє зміщення піку газоутворення на пізніші стадії бродіння, що пов'язано зі збільшенням лаг-фази дріжджових клітин. Це необхідно враховувати при виборі режимів розстоювання після розморожування тіста.

Дослідження властивостей клейковини показали, що під впливом заморожування та зберігання відбуваються складні зміни її структурно-механічних характеристик. Спочатку спостерігається ослаблення клейковинного каркаса, надалі можливе тимчасове зміцнення, а при тривалому зберіганні знову відбувається зниження пружності та підвищення розтяжності.

Узагальнюючи отримані результати, встановлено, що забезпечення високої якості хлібобулочних виробів із заморожених напівфабрикатів можливе за умови оптимізації температурних режимів заморожування та розморожування, урахування змін біотехнологічних властивостей дріжджів і реологічних характеристик клейковини, а також правильного підбору сировини з відповідними технологічними властивостями.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ХЛІБА

4.1 Розробка картки охорони праці

«При організації виробництва хліба важливе місце займає забезпечення безпечних умов праці на всіх етапах технологічного процесу. Робота на хлібопекарських підприємствах пов'язана з використанням механічного, теплового та електричного обладнання, а також із впливом пилу борошна та підвищених температур» [43]. У зв'язку з цим особливу увагу приділяють профілактиці виробничого травматизму, дотриманню санітарно-гігієнічних вимог і правильній організації робочих місць. Основні небезпеки та відповідні заходи безпеки на різних етапах виробничого процесу наведено на рис. 4.1.

ЕТАП РОБОТИ	ОСНОВНІ НЕБЕЗПЕКИ	ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ
ДО ПОЧАТКУ РОБОТИ	⚠ Несправність обладнання (тістоміси, печі) ⚠ Електротравми ⚠ Відсутність санітарної підготовки робочого місця	• Перевірити справність обладнання та захисних пристроїв • Оглянути електропроводку, перевірити заземлення • Однотипний спецодат, головний убір, неслизьке взуття • Підготувати та прибрати робоче місце • Ознайомитися з технологічним завданням
ПІД ЧАС РОБОТИ	⚠ Травми від рухомих частин обладнання ⚠ Опіки від печей та гарячих поверхонь ⚠ Запилення борошном ⚠ Падіння через слизьку підлогу ⚠ Підвищене фізичне навантаження	• Дотримуватися інструкцій по роботі з обладнанням • Не відкривати захисні кришки • Використовувати інвентар для завантаження/вивантаження продукції • Уникати контакту з гарячими поверхнями • Тримати підлогу чистою та сухою • Працювати у встановленому режимі • Використовувати засоби індивідуального захисту
ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ	⚠ Травмування при очищенні обладнання ⚠ Залишкова напруга в електроприладах ⚠ Контакт з гарячими поверхнями ⚠ Порушення санітарії	• Відключити обладнання від мережі • Дочекатися повного охолодження печей • Очистити та помити обладнання згідно з інструкціями • Прибрати робоче місце, видалити відходи • Перевірити відсутність залишкового електроживлення • Передати зміну відповідальній особі

Рисунок 4.1 – Картка охорони праці при виробництві хліба

Охорона праці на підприємстві передбачає комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на попередження нещасних випадків і професійних захворювань. «До таких заходів належать регулярний інструктаж персоналу, контроль технічного стану обладнання, використання засобів

індивідуального захисту, а також дотримання технологічної дисципліни. Особливе значення має чітке регламентування дій працівників до початку роботи, під час виконання виробничих операцій та після їх завершення» [43].

Дотримання наведених вимог дозволяє мінімізувати ризики травматизму, забезпечити стабільність технологічного процесу та підтримувати належний рівень санітарної безпеки при виробництві хліба.

4.2 Основні аспекти охорони довкілля при виробництві хліба

Охорона довкілля при виробництві хліба є важливою складовою сучасної харчової промисловості, оскільки хлібопекарські підприємства, незважаючи на відносно невисокий рівень токсичних викидів, все ж здійснюють вплив на навколишнє середовище. «Основні екологічні аспекти пов'язані з використанням сировини, споживанням енергоресурсів, утворенням виробничих відходів, а також викидами в атмосферу та скидами стічних вод. Раціональна організація виробництва дозволяє значно зменшити цей вплив і підвищити екологічну ефективність підприємства» [44].

Одним із ключових напрямів є зменшення енергоспоживання. «Хлібопекарські підприємства активно використовують теплову енергію для випікання, а також електроенергію для роботи тістомісильного, формувального та допоміжного обладнання» [44]. Впровадження енергоощадних печей, теплоізоляційних матеріалів, систем рекуперації тепла та автоматизованого контролю режимів дозволяє суттєво скоротити витрати ресурсів і зменшити викиди парникових газів, пов'язаних із виробництвом енергії.

Важливим аспектом є управління відходами. У процесі виробництва хліба утворюються залишки тіста, борошняний пил, некондиційна продукція та пакувальні матеріали. «Частина цих відходів може бути повторно використана, наприклад, у виробництві сухарних виробів або кормових добавок. Інші відходи підлягають сортуванню та переробці. Застосування принципів циркулярної економіки дозволяє зменшити обсяг сміття, що потрапляє на полігони» [44].

Окрему увагу приділяють зниженню пилового забруднення. «Борошняний пил може потрапляти в повітря робочої зони та навколишнє середовище, тому використовуються системи аспірації, фільтрації та герметизації обладнання. Це не лише зменшує екологічне навантаження, але й покращує умови праці персоналу» [44].

Суттєвим фактором є також раціональне використання водних ресурсів. Вода використовується для приготування тіста, миття обладнання та санітарних потреб. «Впровадження систем повторного використання технічної води та оптимізація процесів миття дозволяють скоротити її споживання та зменшити обсяг стічних вод» [44]. Перед скиданням у каналізацію стічні води повинні проходити очищення від органічних залишків і мийних засобів.

«Додатково важливим напрямом є екологічно безпечна упаковка готової продукції. Використання біорозкладних або перероблюваних матеріалів зменшує навантаження на довкілля після споживання продукції» [44].

Таким чином, основні аспекти охорони довкілля при виробництві хліба охоплюють енергоефективність, управління відходами, зниження пилових викидів, раціональне водокористування та екологічну упаковку. Комплексне впровадження цих заходів сприяє сталому розвитку хлібопекарської галузі та мінімізації її впливу на навколишнє середовище.

Висновки по розділу.

Встановлено, що виробництво хліба пов'язане з дією низки небезпечних і шкідливих виробничих факторів, серед яких механічні ризики, високі температури, електрична напруга та пилове забруднення. Обґрунтовано необхідність чіткого дотримання інструкцій безпеки на всіх етапах роботи – до початку, під час виконання технологічних операцій і після їх завершення, а також використання засобів індивідуального захисту та регулярного контролю стану обладнання.

Зафіксовано, що впровадження сучасних технологічних і організаційних рішень сприяє зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище та забезпечує більш сталий характер виробництва.

5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Розрахунок кошторису витрат на дослідження

«Витрати, пов'язані з проведенням дослідження, охоплюють кілька складових, серед яких витрати на матеріали, електроенергію, оплату праці залученого персоналу, амортизаційні відрахування обладнання та накладні витрати, необхідні для організації лабораторного процесу» [45].

Вартість використаних матеріалів обчислюється шляхом множення кількості кожного компонента на його одиничну ціну, що дозволяє визначити загальну суму витрат на сировину та допоміжні речовини, які застосовувалися під час експериментальної роботи. Цей підхід дає змогу точно оцінити економічну складову експерименту та планувати подальші витрати на аналогічні дослідження.

$$M = \sum m_i \cdot C_i, \quad (5.1)$$

де m_i – кількість витраченого i -го матеріалу;

C_i – ціна одиниці i -го матеріалу, грн.

Результати розрахунків зводимо до табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Матеріали та їх вартість

Найменування матеріалу, одиниці	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Борошно пшеничне, кг	10	22,00	220,00
Цукор, кг	1,0	33,00	33,00
Маргарин, кг	0,5	150,00	75,00
Олія соняшникова, л	1,0	82,00	82,00
Дріжджі, кг	1,0	150,00	150,00
Сіль, кг	1,0	25,00	25,00
Всього			585,00

Оплата праці персоналу розраховується шляхом множення середньо-годинної заробітної плати на фактичну кількість відпрацьованих годин, із врахуванням обов'язкових нарахувань єдиного соціального внеску. Деталі розрахунку наведено в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Витрати на заробітну плату

Посада	Середньо-місячний заробіток, грн	Середньо-годинний заробіток, грн	Кількість людино-годин	Сума, грн
Дипломний керівник	12000,00	75,00	10	750,00
Всього				750,00

Нарахування на заробітну плату виконавців дослідження становлять 22 % єдиного соціального внеску:

$$H = \frac{750 \cdot 22}{100} = 165,00 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію визначаються за формулою (5.2), що «включає потужність обладнання, коефіцієнт його використання, фактичний час роботи та тариф на кВт·год, що дозволяє об'єктивно оцінити енергетичні витрати експерименту» [45].

$$E = M \cdot K \cdot T \cdot a , \quad (5.2)$$

де M – потужність встановленого обладнання, кВт;

K – коефіцієнт використання потужності, ($K=0,9$);

T – час роботи на обладнанні, год;

a – тариф на електроенергію, грн/(кВт/год.).

$$E_{\text{містом.}} = 2,8 \cdot 0,9 \cdot 24 \cdot 4,32 = 261,27 \text{ грн};$$

$$E_{\text{запор.}} = 2,5 \cdot 0,9 \cdot 64 \cdot 4,32 = 622,08 \text{ грн};$$

$$E_{\text{вист.ш.}} = 2,0 \cdot 0,9 \cdot 24 \cdot 4,32 = 186,62 \text{ грн};$$

$$E_{\text{ел.ліч}} = 2,2 \cdot 0,9 \cdot 24 \cdot 4,32 = 205,28 \text{ грн.}$$

Отже загальні витрати на електроенергію становлять 1275,25 грн.

Амортизаційні витрати обладнання враховують його первісну вартість, річну норму амортизації та тривалість використання в рамках дослідження, що дає змогу розподілити витрати на обладнання пропорційно часу його задіяння (формула 5.3).

$$A = \frac{\Phi \cdot H \cdot t}{100 \cdot 365}, \quad (5.3)$$

де A – амортизаційні відрахування, грн.

Φ – вартість обладнання, грн.;

H – річна норма амортизації, %;

t – тривалість проведення дослідження на даному обладнанні, (місяців, днів);

365 – кількість днів у році.

$$A_{\text{містом.}} = \frac{4200 \cdot 20 \cdot 1}{100 \cdot 365} = 2,3 \text{ грн};$$

$$A_{\text{запор.}} = \frac{26000 \cdot 20 \cdot 3}{100 \cdot 365} = 42,74 \text{ грн};$$

$$A_{\text{вист.ш.}} = \frac{32000 \cdot 20 \cdot 1}{100 \cdot 365} = 17,53 \text{ грн};$$

$$A_{\text{ел.ліч}} = \frac{29000 \cdot 20 \cdot 1}{100 \cdot 365} = 15,89 \text{ грн.}$$

«Накладні витрати включають витрати на опалення, освітлення, вентиляцію лабораторних приміщень, діяльність навчально-допоміжного та адміністративного персоналу, а також інші господарські витрати, необхідні для підтримки робочого процесу» [45].

Таблиця 5.3 – Витрати на амортизацію обладнання

Устаткування	Вартість, грн	Річна норма амортизації, %	Час роботи, днів	Витрати на амортизацію, грн
Тістоміс	4200,00	20	1	2,3
Заморожувальна камера	26000,00	20	3	42,74
Вистоювальна шафа	32000,00	20	1	17,53
Електрична піч	29000,00	20	1	15,89
Всього				78,46

Накладні витрати розраховуються як певний відсоток від нарахованої заробітної плати учасників дослідження, що дозволяє комплексно оцінити економічну складову виконаного експерименту.

$$HB = \frac{750 \cdot 80}{100} = 600,00 \text{ грн.}$$

На основі цих розрахунків формується повний кошторис витрат (табл. 5.4). Такий підхід дозволяє «системно оцінити фінансову сторону дослідження, врахувати всі прямі та непрямі витрати, оптимізувати використання ресурсів та планувати подальші роботи з урахуванням їх економічної ефективності» [45].

Таблиця 5.4 – Кошторис витрат на проведення дослідження

Витрати	Сума, грн
Основні матеріали	585,00
Заробітна плата	750,00
Нарахування на заробітну плату	165,00
Електроенергія	1275,25
Амортизація	78,46
Накладні витрати	600,00
Всього	3453,71

Аналіз даних показує, що найбільшу частку витрат у структурі займає електроенергія – 1275,25 грн, що становить близько 36,9 % від загальної суми. Це свідчить про значну енергоємність проведених досліджень, зокрема через використання холодильного та теплового обладнання. Значною також є частка витрат на основні матеріали – 585,00 грн, або близько 16,9 %, що пов'язано з використанням сировини для приготування тістових напівфабрикатів.

Витрати на оплату праці становлять 750,00 грн, а нарахування на заробітну плату – 165,00 грн, що разом складає близько 26,5 % від загальної суми, характеризуючи помірний вплив трудових ресурсів на загальний бюджет. Накладні витрати становлять 600,00 грн, або приблизно 17,4 %, відображаючи витрати на організаційне забезпечення процесу. Найменшу частку займає амортизація обладнання – 78,46 грн, що становить близько 2,3 % від загальних витрат.

5.2 Розрахунок ціни дослідження

Як вказано вище, загальна сума витрат на проведення дослідження становить 3453,71 грн, причому розподіл витрат показує, що пріоритетним у фінансовому плануванні є забезпечення матеріальної бази та електропостачання, тоді як інші статті витрат мають менший вплив на загальний бюджет. Але виникає необхідність у визначенні ціни дослідження з урахуванням нормативної рентабельності (формула 5.4).

$$Ц = C + \frac{P \cdot C}{100}, \quad (5.4)$$

де $Ц$ – ціна дослідження, грн.;

C – витрати на дослідження, грн.;

P – нормативна рентабельність ($P = 30\%$).

$$Ц = 3453,71 + \frac{30 \cdot 3453,71}{100} = 4489,82 \text{ грн.}$$

Отже, вартість проведеного дослідження становить 4489,82 грн.

Висновки по розділу.

Аналіз показує, що найбільші витрати під час дослідження припадають на електроенергію – 1275,25 грн (близько 36,9 %) та заробітну плату з нарахуваннями – 915,00 грн (26,5 %). Витрати на основні матеріали становлять 585,00 грн (16,9 %), а накладні витрати – 600,00 грн (17,4 %). Амортизація має найменшу частку – 78,46 грн (2,3 %). Загальна вартість дослідження становить 4489,82 грн, при цьому основний вплив на витрати мають енергоспоживання та оплата праці.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Аналіз наукових джерел щодо дискретної технології виробництва хлібобулочних виробів із застосуванням низькотемпературної обробки тіста свідчить про недостатню розробленість цієї проблеми. Незважаючи на наявність значної кількості експериментальних даних і визначених технологічних параметрів, більшість із них отримано емпірично та вони придатні лише для конкретних умов сировини, рецептур і обладнання. Відсутність комплексного пояснення біохімічних і фізико-хімічних процесів на всіх стадіях обмежує можливість їх універсального застосування.

Недостатньо з'ясованими залишаються закономірності зміни газоутворювальної активності дріжджів під час заморожування, зберігання та розморожування тіста, а також оптимальний стан клітин і доцільні етапи заморожування напівфабрикатів. Не визначені чіткі критерії відбору кріостійких дріжджів і вплив різних факторів на їх властивості, як і ефективність використання кріопротекторів.

Проведені дослідження показали, що температурні умови заморожування суттєво впливають на якість хлібобулочних виробів із тістових напівфабрикатів. Найбільше погіршення показників спостерігається при температурі мінус 15 °С, тоді як діапазон мінус 20 – мінус 30 °С забезпечує більш стабільну якість, близьку до контрольної. Важливим фактором є також швидкість заморожування, оскільки інтенсивніше охолодження сприяє утворенню дрібніших кристалів льоду та меншому руйнуванню структури тіста.

Встановлено, що оптимальним режимом розморожування є температура близько 20 °С, яка забезпечує найкраще збереження структурно-механічних властивостей тіста. Використання нижчих або вищих температур призводить до погіршення якості виробів через зневоднення поверхні або ослаблення клейковинного каркаса.

Дослідження показали, що низькотемпературна обробка негативно впливає на біотехнологічні властивості дріжджів, знижуючи їх газоутворюючу активність.

При цьому зі збільшенням тривалості зберігання спостерігається додаткове зменшення інтенсивності газоутворення та зміщення його максимуму на пізніші стадії бродіння.

Виявлено, що заморожування і зберігання викликають складні зміни властивостей клейковини, що проявляються у її початковому ослабленні, частковій стабілізації та подальшому погіршенні при тривалому зберіганні. Це підтверджує необхідність комплексного підходу до вибору технологічних параметрів і сировини для забезпечення високої якості готових виробів.

Встановлено, що виробництво хліба пов'язане з дією низки небезпечних і шкідливих виробничих факторів, серед яких механічні ризики, високі температури, електрична напруга та пилове забруднення. Зафіксовано, що впровадження сучасних технологічних і організаційних рішень сприяє зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище та виробництва.

Аналіз кошторису витрат на проведення дослідження показує, що найбільші витрати під час дослідження припадають на електроенергію – 1275,25 грн (близько 36,9 %) та заробітну плату з нарахуваннями – 915,00 грн (26,5 %). Витрати на основні матеріали становлять 585,00 грн (16,9 %), а накладні витрати – 600,00 грн (17,4 %). Амортизація має найменшу частку – 78,46 грн (2,3 %). Загальна вартість дослідження становить 4489,82 грн, при цьому основний вплив на витрати мають енергоспоживання та оплата праці.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Сучасні підходи до технології виробництва хлібобулочних виробів із заморожених тістових напівфабрикатів / Й. Роглев, О. Шидловська, Т. Іщенко, В. Доценко // Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. 2011. № 11 (84-85). С. 7-12.
2. Tanushree Maity, Alok Saxena, P. S. Raju. Use of hydrocolloids as cryoprotectant for frozen foods. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2018. Vol. 58, Issue 3. P. 420-435. DOI: 10.1080/10408398.2016.1182892
3. Перспективи застосування технології заморожування тістових напівфабрикатів у закладах ресторанного господарства / Й.Й. Роглев, А.В. Гавриш, А.О. Чагайда, В.Ф. Доценко // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. 2012. № 1 (15). С. 271-278.
4. Silvas-Garcia M.I., Ramirez-Wong B., Torres- Chavez P.I., Carvajal-Millan E., Barron-Hoyos J.M., Bello-Perez L.A., Quintero-Ramos A. Effect of freezing rate and storage time on gluten protein solubility, and dough and bread properties. Journal of Food Process Engineering. 2014. Vol. 37, Issue 3. P. 237-247. DOI: 10.1111/jfpe.12079
5. Дослідження теплофізичних характеристик дріжджових напівфабрикатів в процесі заморожування та розморожування / Й. Роглев, А. Гавриш, О. Шидловська, В. Доценко // Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. 2013. № 2 (99). С. 3-6.
6. Shengxiang Gong, Danlu Yang, Qiaoyu Wu, Shaoyun Wang, Zhong Fang, Yue Lil, Feifei Xu, Zhengwu Wang, Jinhong Wu. Evaluation of the antifreeze effects and its related mechanism of sericin peptides on the frozen dough of steamed potato bread. Journal food processing and preservation. 2019. Vol. 43, Issue 8. DOI: 10.1111/jfpp.14053
7. Дослідження процесів заморожування та розморожування дріжджових кулінарних напівфабрикатів у закладах ресторанного господарства / Й.Й. Роглев, А.В. Гавриш, В.Ф. Доценко // Наукові праці НУХТ. 2013. № 50. С. 135-142.

8. Дробот В.І., Шевчук О.Ю. Вплив тривалості заморожування на вміст цукрів у тістових напівфабрикатах після розморожування та вистоювання. Наукові праці НУХТ. 2007. С.8-9.

9. Технологічні аспекти технології булочних виробів із заморожених напівфабрикатів / Й.Й. Роглев, В.Ф. Доценко // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті: 77 міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів, 11-12 квіт. 2011 р.: тези доп. К.: НУХТ, 2011. С. 195-196.

10. Sim. S. Effects of cryostabilizers and cryoprotectant on frozen Chinese steamed bread dough. Food Chemistry. 2011. P. 1-49.

11. Сучасні підходи до технології хлібобулочних виробів із заморожених тістових напівфабрикатів / Й.Й. Роглев, В.Ф. Доценко // Проблеми управління підприємствами торгівлі та ресторанного бізнесу в умовах інноваційного розвитку: Міжнародна науково-практична конференція, 19 жовт. 2011 р.: тези доп. Х.: ХДУХТ, 2011. С. 91-92.

12. Xiangli Ding, Tingting Li, Hui Zhang, Chengran Guan, Jianya Qian, Xiaoyan Zhou. Effect of barley antifreeze protein on dough and bread during freezing and freeze-thaw cycles. Foods. 2020. № 9(11). P.1-14. DOI: 10.3390/foods9111698

13. Тенденції розвитку технології хлібобулочних виробів із заморожених тістових напівфабрикатів / Й.Й. Роглев, В.Ф. Доценко // Технології харчових виробництв та сучасні методи інтенсифікації технологічних процесів: II науково-технічна конференція студентів, магістрантів, аспірантів, 26 жовт. 2011 р.: тези доп. Луганськ: ЛНАУ, 2011. С. 55-56.

14. Солоницька І. В. Пшенишнюк Г. В. Удосконалення рецептури хлібобулочних виробів лікувально-профілактичного призначення із заморожених напівфабрикатів. Наукові праці. 2018. Вип. 38. Т. 1. С. 222-225.

15. Сучасні напрямки розгляду проблеми виробництва хлібобулочних виробів з пролонгованим терміном придатності та способи її вирішення / Й.Й. Роглев, В.Ф. Доценко // Інтеграційні та інноваційні напрямки розвитку індустрії

гостинності: I Всеукраїнська міжвузівська наукова конференція студентів та аспірантів, 10-11 лист. 2011 р.: зб. тез доп. Одеса: ОНАХТ, 2011. С. 36-38.

16. X. Chen, W. Jin-hong, S. Wang. The cryoprotective effects of antifreeze peptides from pigskin collagen on texture properties and water mobility of frozen dough subjected to freeze-thaw cycles. *European Food Research and Technology*. 2017. P. 10-18. DOI: 10.1007/s00217-016-2830-x.

17. Закономірності процесу заморожування тістових заготовок / Й.Й. Роглев, О.О. Івахно, В.Ф. Доценко // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті: 78 міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів, 2-3 квіт. 2012 р.: тези доп. К.: НУХТ, 2012. Ч. 1. С. 303-304.

18. Новік Г.В. та ін. Розробка технології заморожених напівфабрикатів із дріжджового тіста з начинкою. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету. Технічні науки*. 2022, №31. С. 107-113.

19. Модифікація процесу дефростації заморожених дріжджових напівфабрикатів в закладах ресторанного господарства / Й.Й. Роглев, О.О. Івахно, В.Ф. Доценко // Здобутки, проблеми та перспективи розвитку готельно-ресторанного та туристичного бізнесу: Всеукраїнська науково-практична конференція, 29-30 жовтня 2012 р.: матеріали конф. К.: НУХТ, 2012. С. 100-102.

20. Гайдук О.В. Сучасні технології кондитерського виробництва: підручник. К.: ІПТО НАПН України, 2020. 440 с.

21. Технологічні аспекти впливу процесу заморожування на властивості форм зв'язку молекул води в заморожених дріжджових напівфабрикатах / Й.Й. Роглев, І.М. Медвідь, В.Ф. Доценко // Наукова творчість молоді в індустрії гостинності: Друга Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених, 15-16 лист. 2012 р.: матеріали конф. Донецьк: ДонНУЕТ, 2012. С. 166-167.

22. Кравченко М. Ф., Данилюк І. П., Романовська О. Л. Технологічні особливості борошняних композиційних сумішей // Інновації в харчових

технологіях та ресторанному господарстві : монографія. Чернівці: Технодрук, 2022. С. 210–229. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-205-0-9>

23. Zhang, J., Li, R., Hou, C., et al. (2024). Development of a protein-enriched pancake using lotus (*Nelumbo nucifera*) seed protein concentrate: Effects on functional, structural and sensory properties. *Journal of Food Composition and Analysis*, 125, 105640. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116073>

24. Дробот В. І. Технологія хлібопекарського виробництва. К: Логос, 2002. 365 с.

25. Лабораторний практикум з технології хлібопекарського та макаронного виробництв / В.І. Дробот, Л.Ю. Арсеньєв, О.А. Білик // Київ-Центр навчальної літератури. – 2006, 341 с.

26. О.Ю. Шевчук, В.І. Дробот. Порівняльна характеристика якості здобних виробів із замороженого тіста, виготовленого на дріжджах різних виробників // 71-а наукова-практична конференція молодих вчених, аспірантів і студентів. Київ: НУХТ, 2005. – С.53.

27. Солоницька І. В. Обґрунтування апаратурно-технологічної схеми виробництва хлібобулочних виробів лікувальнопрофілактичного призначення із заморожених напівфабрикатів / І. В. Солоницька, Г. Ф. Пшенишнюк // Харчова наука і технологія. – №14.–2011.–С. 17–23.

28. Одарченко М. С., Винник Л. О., Сюсель О. О. Вплив низьких температур на деякі параметри листового тіста //Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. 2010. №. 2. С. 346-350.

29. Грищенко, А. М., Дробот, В. І. (2014). Технологічні властивості безглютенових видів сировини. Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій, 1(46), 162-166.

30. О.Ю. Шевчук, В.І. Дробот. Використання хлібопекарських пресованих дріжджів вітчизняного виробництва у хлібопеченні // 69-та науково-практична конференція молодих вчених, аспірантів і студентів. Київ: НУХТ, 2003. – С.62.

31. Wellman D. Frozen bread lures large, affluent households. 2001. 49, 12.

32. Солоницька І. В. Використання відкладеного випікання в технології хлібобулочних виробів лікувальнопрофілактичного призначення / І. В. Солоницька, Г. Ф. Пшенишнюк // Харчова наука і технологія. №1, 2012. С. 11–14.
33. Дробот В.І., Шевчук О.Ю., Петришин Н.З. Покращання якості виробів із заморожених напівфабрикатів шляхом використання добавок // Хранение и переработка зерна. – 2007. – №2(92). – С.32-33.
34. Солоницька І. В., Пшенишнюк Г. Ф., Битка Т. В. Структурно-механічні властивості хліба, виготовленого за технологією відкладеного випікання // Харчова наука і технологія. 2014. №. 1. С. 44-47.
35. О.Ю. Шевчук, В.І. Дробот, Н.З.Петришин. Удосконалення технології виготовлення здобних виробів із заморожених тістових заготовок // 73-я науково-практична конференція молодих вчених, аспірантів і студентів. Київ: НУХТ, 2007. – С.58.
36. Zounis S., Quail K.J., Wootton M., Dickson M.R. Effect of final dough temperature on the microstructure of frozen bread dough. Journal of Cereal Science.– 2002.
37. Тютях О. Структурно-механічні властивості харчових продуктів //Збірник тез Міжнародної студентської науково-технічної конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання “. 2018. Т. 1. С. 166-167.
38. Riell H. The new American bakery / H. Riell // Frozen Food Age.–2001.– 49, 54–55.
39. Дробот В.І., Шевчук О.Ю. Вплив тривалості заморожування на вміст цукрів у тістових напівфабрикатах після розморожування та вистоювання // Наукові праці НУХТ. 2007. С.8-9.
40. Дробот В. І., Шевченко А. О., Літвинчук С. І. Вплив рисового борошна на структурно-механічні властивості тіста та якість хліба //Наукові праці НУХТ. 2021. Т. 27. №. 5. С. 114-122.
41. Bail A. L. Influence of storage conditions on frozen French bread dough / A. L. Bail, C. Grinand, S. L. Cleach, S. Martinez, E. Quilin // Journal of Food Engineering. 1999. 39, 289-291.

42. Дробот В., Шевчук О. Вплив заморожування тістових напівфабрикатів на клейковинні білки // Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. – 2006. №4. С.18-19.

43. Основи охорони праці: Підручник. 21-е видання, доповнене та перероблене. / К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний та ін. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. К.: Основа, 2006. 448 с.

44. Технохімічний контроль сировини та хлібобулочних і макаронних виробів: навчальний посіб. за ред. чл.-кор. НААН В.І. Дробот. К.: Кондор-Видавництво, 2015. 972 с.

45. Павленко О.С. Методичні рекомендації до виконання розділу «Організаційно-економічна частина» дипломної роботи для здобувачів вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Харчові технології» зі спеціальності 181 «Харчові технології» денної та заочної форми навчання. Дніпро: ДДАЕУ. 2020. 40 с.