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 «Магістр»
на тему:

Обґрунтування технології гідролізованого житнього борошна для виробництва борошняних кондитерських виробів

Виконала: здобувачка вищої освіти 2 курсу,
групи МгХТз-1-22
освітньо-професійної програми «Харчові технології»
зі спеціальності 181 «Харчові технології»

_____ Діана ЧИЖ

Керівник: _____ Юрій ЧУРСІНОВ

Рецензент: _____ Тетяна НІКІФОРОВА

Дніпро 2023

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій
Ступінь вищої освіти: «Магістр»
Освітньо-професійна програма: «Харчові технології»
Спеціальність: 181 «Харчові технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. завідувача кафедри
харчових технологій,
кандидат технічних наук, доцент
_____Віталій КОШУЛЬКО
(підпис)
«26» грудня 2023 р.

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

Чиж Діані Олегівні

1. Тема роботи: «Обґрунтування технології гідролізованого житнього борошна для виробництва борошняних кондитерських виробів».
Керівник роботи: Чурсінов Юрій Олексійович, доктор технічних наук, професор, затверджені наказом закладу вищої освіти від «26» грудня 2023 року № 4085.

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 12 лютого 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: 1. Технологія виробництва житнього борошна, технологія екструдування крохмалепродуктів 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 досліджень. 3 Обговорення результатів дослідження. 4 Охорона праці та захист навколишнього середовища. 5 Організаційно-економічна частина. Загальні висновки. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Постановка проблеми дослідження. 2 Мета роботи і завдання досліджень. 3 Характеристика об’єктів дослідження. 4 Обговорення результатів досліджень. 5 Кошторис витрат на проведення досліджень. 6 Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Посада, прізвище та ім’я консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 – 3	професор ЧУРСІНОВ Юрій	26.12.2023	12.02.2024
4	професор ЧУРСІНОВ Юрій	26.12.2023	12.02.2024
5	професор ЧУРСІНОВ Юрій	26.12.2023	12.02.2024

7. Дата видачі завдання 26 грудня 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	27.12-31.12.23	виконано
2	Аналітичний огляд	01.01-08.01.24	виконано
3	Матеріали і методи досліджень	09.01-15.01.24	виконано
4	Обговорення результатів дослідження	16.01-29.01.24	виконано
5	Охорона праці та захист навколишнього середовища	30.01-01.02.24	виконано
6	Організаційно-економічна частина	02.02-06.02.24	виконано
7	Загальні висновки та бібліографія	07.02-08.02.24	виконано
8	Розробка та підготовка демонстраційного матеріалу	09.12.2024	виконано

Здобувачка вищої освіти _____ Діана ЧИЖ
(підпис)

Керівник роботи _____ Юрій ЧУРСІНОВ
(підпис)

РЕФЕРАТ

Тема: «Обґрунтування технології гідролізованого житнього борошна для виробництва борошняних кондитерських виробів»

Дипломна робота магістра: 75 с., 5 рис., 17 табл., 77 літературних джерел.

Об'єкт дослідження: житнє борошно, борошняні кондитерські вироби

Метою роботи є дослідження доцільності використання гідролізованого екструдованого житнього борошна при виробництві борошняних кондитерських виробів

Методи дослідження:

У процесі аналізу властивостей сировини використовували загальноприйняті методи дослідження [70-74], які включали фізико-хімічні та органолептичні аспекти.

Робота присвячена розробці способу отримання житніх гідролізатів та їх застосування у виробництві харчових продуктів харчування, зокрема борошняних кондитерських виробів. Відповідно до мети роботи до виконання прийняті наступні завдання: визначити вплив гарячої екструзійної обробки на зміну якості та хімічного складу житнього борошна; розробити спосіб приготування гідролізату з житнього екструдованого борошна; дослідити вплив гарячої екструзійної обробки на ступінь гідролізу житнього борошна; дослідити можливість використання гідролізату у виробництві борошняних кондитерських виробів.

Основні наукові дослідження були здійснені в учбових лабораторіях кафедри харчових технологій Дніпровського державного аграрно-економічного університету та виробничій лабораторії ТОВ «ДМК «Дніпромлин».

КЛЮЧОВІ СЛОВА

Житнє борошно, борошняні кондитерські вироби, гідролізат, екструзія, редукуючі цукри

ЗМІСТ

ВСТУП 6

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД 9

1.1 Зерно жита як перспективне джерело крохмалю 9

1.2 Амілолітичні ферменти в харчовій промисловості 28

1.3 Структурні зміни в крохмалі борошна при ферментативному гідролізі 30

2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ 35

2.1 Основна використана сировина 35

2.2 Методики дослідження 36

3 ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ 39

3.1 Вплив гарячої екструзійної обробки на зміну якості та хімічного складу житнього борошна 39

3.2 Розробка способу приготування гідролізату з житнього екструдованого борошна 41

3.3 Дослідження впливу гарячої екструзійної обробки на ступінь гідролізу житнього борошна 42

3.4 Дослідження використання гідролізату у виробництві борошняних кондитерських виробів 45

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА 51

4.1 Організація охорони праці при виробництві гідролізованого житнього борошна 51

4.2 Управління відходами при виробництві гідролізованого житнього борошна 54

5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА 56

5.1 Організація досліджень 56
5.1.1. План проведення дослідження 56
5.1.2 Побудова сітьового графіка 56
5.1.3 Витрати, пов'язані з проведенням дослідження 59
5.2 Розрахунок ціни дослідження 63
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 65
БІБЛІОГРАФІЯ 67

ВСТУП

Моніторинг структури харчування населення останніми роками виявив стабільність споживання борошняних кондитерських виробів, частка яких становить близько 40% в асортименті кондитерських виробів.

Однак, в даний час структура харчування населення України в останні роки не відповідає принципам здорового та збалансованого харчування. Надмірне споживання вуглеводів – цукру, жирів – переважно тваринного походження призводить до захворювання на ожиріння, атеросклерозів, знижує загальну опірність організму.

Встановлено за даними літератури, що рівень споживання цукрози перевищує раціональні норми на 12%. Усе це свідчить про необхідність переорієнтації структури борошняних кондитерських виробів.

Зменшити частку цукру в рецептурах борошняних кондитерських виробів можливо шляхом використання нетрадиційних цукрозмістких продуктів, таких як продукти ферментативного гідролізу крохмалевмісної сировини.

Під час процесу ферментативного гідролізу крохмалю, спеціальні ферменти розщеплюють складніше поєднання крохмалю на прості цукри, такі як глюкоза та мальтоза. Отриманий продукт може слугувати ефективною заміною частини цукру в кондитерських рецептах, зберігаючи при цьому смак та текстуру виробів.

Це не лише дозволяє зменшити загальну кількість доданого цукру, але також може мати позитивний вплив на харчовий профіль продуктів. Зменшення цукру у кондитерських виробах може бути особливо важливим для тих, хто слідкує за рівнем цукру у своєму харчуванні з метою збереження здоров'я.

Використання продуктів ферментативного гідролізу крохмалю може відкрити нові можливості для творчості у кондитерському мистецтві, надаючи можливість створювати смачні та менш калорійні вироби.

Продукти гідролізу крохмалевмісної сировини багато років широко використовуються в харчовій промисловості різних країн світу. Однак, у силу деяких питань – збільшення економічного ефекту, поліпшення смакових переваг виробів, підвищення харчової цінності – ведеться пошук нової крохмалевмісної сировини, що має хорошу пристосованість до місцевих кліматичних умов, що не вимагає жорстких умов зберігання і адаптованого до смаків російського споживача.

Для цієї мети якнайкраще підходить жито. Житні гідролізати, отримані шляхом ферментативного гідролізу крохмалю житнього борошна, є прекрасними замінниками бурякового цукру і крохмальної патоки.

Вони не лише підвищують якість продукції, а й дозволяють знизити калорійність кондитерських виробів та розширити асортимент своєї продукції, підвищити ефективність виробництва.

В останні роки дослідники активно працюють над вдосконаленням технологій отримання житніх гідролізатів для подальшого їх використання в харчовій промисловості. Однією з ключових переваг використання жита є його адаптованість до різних кліматичних умов, що дозволяє вирощувати його практично в будь-якому регіоні.

Житні гідролізати, отримані через ферментативний гідроліз крохмалю житнього борошна, виявляються важливим компонентом для підвищення якості та харчової цінності продуктів. Вони можуть слугувати не лише заміною традиційних інгредієнтів, таких як буряковий цукор і крохмальна патока, але й забезпечити економічний ефект у виробництві, зокрема через зниження витрат на сировину та оптимізацію виробничих процесів.

Важливим аспектом є також збереження житніх гідролізатів, які не вимагають жорстких умов зберігання, забезпечуючи тим самим практичність і довготривалість використання виробленої продукції. Такі інновації в галузі використання жита як крохмалевмісної сировини мають потенціал не тільки поліпшити якість харчових продуктів, але й сприяти розвитку стійкого та ефективного сільськогосподарського виробництва.

У зв'язку з викладеним вище актуальним є розробка способу отримання житніх гідролізатів та їх застосування у виробництві харчових продуктів харчування, зокрема борошняних кондитерських виробів.

Метою роботи є дослідження технології виробництва борошняних кондитерських виробів з використанням гідролізованого житнього борошна.

Відповідно до мети роботи до виконання прийняті наступні завдання:

- визначити вплив гарячої екструзійної обробки на зміну якості та хімічного складу житнього борошна;

- розробити спосіб приготування гідролізату з житнього екструдованого борошна;

- дослідити вплив гарячої екструзійної обробки на ступінь гідролізу житнього борошна;

- дослідити можливість використання гідролізату у виробництві борошняних кондитерських виробів.

Основні наукові дослідження були здійснені в учбових лабораторіях кафедри харчових технологій Дніпровського державного аграрно-економічного університету та виробничій лабораторії ТОВ «ДМК «Дніпромлин».

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Зерно жита як перспективне джерело крохмалю

«Жито є однією з основних зернових культур України – зі збирання зерна вона посідає п’яте місце (після пшениці, соняшника, сої та ячменю). Це одна з найхолодостійкіших культур, яка до того ж дозріває на 1-2 тижні раніше» [1-8].

Зерно жита «широко використовується у виробництві хліба, спирту, житнього солоду, комбікормів та інших продуктів» [2, 6, 8]. У той самий час незатребувані ресурси жита країни становлять 1,5-2 млн. т. Значною мірою це пояснюється особливостями технологічних властивостей цієї культури, які обмежують її широке промислове використання. «Ці особливості обумовлені хімічним складом жита, в якому крім крохмалю (65-70 %), білкових (8-16%) та ряду інших речовин міститься значна кількість некрохмальних полісахаридів – клітковини, геміцелюлози, пентозанів» [5]. Розчинна у воді «фракція некрохмальних полісахаридів (гуммі-речовин) становить 12-17% і характеризується високою в'язкістю» [4]. Крім того, «зерно жита відрізняється підвищеною автолітичною активністю» [2].

Незважаючи на незадовільні технологічні властивості жито є потенційною зерновою культурою «для виробництва крохмалю як місцевий вид крохмалевмісної сировини в північних і північно-східних районах країни» [7], тому проведення досліджень з використання зерна жита як сировини для крохмалопаткового виробництва є актуальним завданням.

Вченими-дослідниками крохмалопродуктів розроблено способи «зниження в'язкості житньо-борошняних суспензій при біоконверсії некрохмальних полісахаридів з використанням целюлолітичних ферментних препаратів та розроблено системний підхід до вирішення проблеми комплексної переробки жита на крохмаль, корми та спирт» [6].

Цей системний підхід полягає в тому, щоб розглядати об'єкт переробки крохмаловмісної сировини як об'єкт біологічно замкнутої системи, що

«включає вирощування сировини, її переробку, утилізацію побічних продуктів для згодовування тварин і повернення невикористаних речовин назад у ґрунт для відтворення сировини» [2, 7].

Сутність системного підходу до переробки жита на крохмаль полягає в тому, щоб не тільки максимально витягти цільовий продукт – крохмаль з високою доброякісністю, але і підвищити поживну цінність побічних продуктів за рахунок біохімічної, термічної та механічної обробки зерна в технологічному потоці.

Досліджуючи при цьому можливість застосування "стислих" технологій отримання готових і проміжних продуктів, у вчені-дослідники крохмалопродуктів розробили три основні напрямки переробки зерна жита на крохмаль і крохмалепродукти (рис. 1.1).

- «переробку зерна жита на крохмаль, корм та спирт як складову напряму досліджень та розробки технологій;
- отримання глюкозо-мальтозних сиропів шляхом гідролізу крохмалю зерна жита, минаючи стадію вилучення крохмалю;
- екструзійну обробку борошна та крупи зерна жита та отримання на цій основі харчових добавок для продуктів швидкого приготування реагентів, що містять крохмаль, для текстильної та паперової галузей промисловості, для нафтобуріння та ливарного виробництва» [9].

Технологія житнього крохмалю включає такі основні процеси: «підготовку та очищення зерна, розм'якшення та руйнування структури зерна механічними, хімічними та біологічними способами, руйнування вуглеводно-білкових композицій, що зв'язують зерна крохмалю; зниження в'язкості житньо-борошняних суспензій; поділ житньо-борошняних суспензій у багатоконтурних рециркуляційних системах і вилучення крохмалю» [10].

Вітчизняними вченими був розроблений спосіб отримання цукровмісних продуктів (ЦВП) з некондиційного за числом падіння зерна жита, представлений на блок-схемі (рис. 1.2).

Рисунок 1.1 – Комплексна технологія переробки зерна жита

В результаті біоконверсії ферментним препаратом Глюкаваморином Г20Х, який протікає протягом 22 - 24 годин, отримують гідролізат, який потім шляхом центрифугування поділяється на сир, що містить сироп і пасту.

Аналіз хімічного складу даних продуктів (табл. 1.1) показав, що сухі речовини представлені в основному вуглеводами, з яких значну частину складають моно- та олігосахариди, що легко зброджуються дріжджами та бактеріями, а також беруть участь у формуванні смаку та аромату готових

виробів. Крім цього до складу цих продуктів входять білки, ліпіди, мінеральні речовини та харчові волокна.

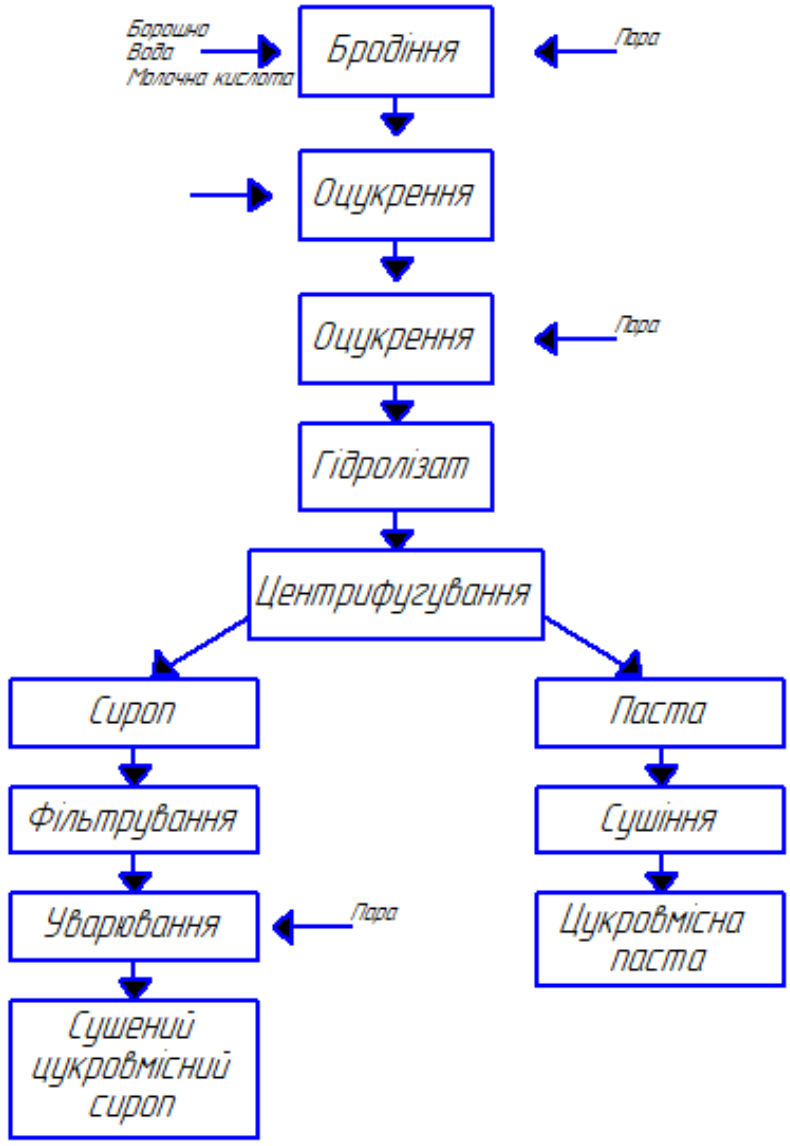

Рисунок 1.2 – Принципова технологічна схема отримання цукровмісних продуктів із зерна жита

Поділ цукровмісного гідролізату (ЦГ) на цукровмісний сироп (ЦС) і цукровмісну пасту (ЦП) призводить до перерозподілу низько- і високомолекулярних сполук між ними. «ЦС відрізняється великим вмістом моно- та олігосахаридів, а ЦП – великим, в 1,5-2 рази, вмістом некрохмалистих полісахаридів, що зумовлює правління їх використання» [11, 12].

Таблиця 1.1 – Хімічний аналіз цукоровмісних продуктів гідролізу

Вміст, % на СР	Цукровмісні		
	гідролізат	сироп	паста
1. Загальні вуглеводи	81,1	83,0	80,5
у тому числі моно- та олігоцукри	60,2	69,5	57,0
геміцелюлоза	9,0	5,9	10,1
пентозани	8,9	5,8	9,9
клітковина	3,0	1,7	3,5
2. Білок	11,2	11,5	11,1
3. Лігнін	2,6	1,4	2,9
4. Ліпіди	1,8	1,5	1,8
5. Мінеральні речовини.	2,1	1,5	1,8

«У мікрофлорі цукрозміщуючих продуктів домінували неспороутворюючі молочнокислі бактерії, характерні для мікробіологічних процесів, що протікають при дозріванні тіста» [11].

На основі комплексного вивчення складу цукоровмісних продуктів із жита можна виділити такі основні шляхи використання житніх гідролізатів у харчовій промисловості:

- «у хлібопекарській промисловості як заміну заварки та цукру при виробництві житніх та житньо-пшеничних сортів хліба;
- у кондитерській промисловості як замінник патоки та цукру в рецептурах борошняних кондитерських виробів (печиво, пряники);
- у кондитерській промисловості як замінник патоки та цукру в рецептурах цукрових кондитерських виробів;
- у кондитерській промисловості при виробництві помадних та фруктово-ягідних начинок;
- у дріжджовому виробництві для заміни меляси» [13].

Таким чином, житні продукти, що містять цукор, можуть впливати на властивості борошняних і цукрових напівфабрикатів, технологічні процеси приготування хлібобулочних і кондитерських виробів.

«За вмістом у зернівці жита крохмаль стоїть на першому місці, становлячи від 65 до 80 % маси її борошнистого ядра (ендосперму)» [14].

Загальний вміст крохмалю коливається у зазначених межах залежно від впливу багатьох факторів у процесі наливу та дозрівання зерна. Серед цих факторів «слід відзначити сортові особливості жита, тобто їх здатність до накопичення більшої чи меншої кількості білка, застосування азотних добрив та кліматичних умов» [14].

Крохмаль жита нагадує зерна розміром 5-50 мкм. «При розгляді зерен крохмалю жита під мікроскопом виявляється їх шарувата будова, яка стає добре помітною, якщо провести лентнерезацію шляхом обробки протягом тривалого часу на холоді соляною кислотою» [15]. Застосування скануючого (растрового) електронного мікроскопа для стрічковонерізаного крохмалю або крохмалю, що обробляється амілолітичними ферментами, дозволило отримати більш повне уявлення про їх субмікроструктуру. «На надтонких зрізах крохмалю після обробки кислотою видно, що середня його частина і кілька периферійних шарів виявилися кислотостійкими, але велика частина шарів зазнала гідролізу і розчинилася» [15]. Аналогічна картина нерівномірного розчинення окремих шарів крохмального зерна під впливом осамілази описана в літературі [15-18].

«Застосування скануючого електронного мікроскопа дозволяє розрізнити шари, що збереглися. крохмалю товщиною від 1200 до 800 А°» [16].

Дрібні зерна крохмалю відрізняються від великих зерен відсутністю екваторіальної борозенки і нерідко мають вдавленість у центрі. «Вони більш стійкі до амілолітичних ферментів» [17].

Найбільший інтерес представляє структура поверхні крохмальних зерен, яка впливає на їх сорбційну здатність по відношенню до водяних пар і рідинно-крапельної фази, а також на хімічну реакційну здатність і на інтенсивність гідролізу крохмалю під дією ферментів.

Дослідження показали, що при обробці «крохмальних зерен інших злаків 30%-им розчином саліцилово-кислого натрію частина їх вмісту переходить в розчин, а зовнішні шари залишаються у вигляді нерозчинних

частинок, що зберігають форму зерна, але позбавлених внутрішньої ядра» [18]. Ці оболонки забарвлюються йодом у червоно-фіолетовий колір, так як складаються з амілопектину. Внутрішній склад зерна утворений амілозою та амілопектином. «Характерною властивістю амілопектину є його здатність утворювати в окропі в'язкий клейстер, тоді як амілоза не утворює в'язкі розчини» [18]. Для амілози характерні кислотні сполуки з йодом, які утворюються внаслідок втягування молекули йоду до каналу спіралі амілози.

Амілоза і амілопектин, подібно до інших полімерних речовин, складаються з фракцій різної молярної маси і можуть бути розділені на ці фракції рядом методів. «Для характеристики крохмальних полісахаридів застосовується величина ступеня полімеризації амілози, яка для крохмалю жита коливається в межах 1000-2900 і середня довжина ланцюжка амілопектину, що лежить в межах від 17 до 25 одиниць глюкози» [19].

Крохмаль має низку фізико-хімічних властивостей, які визначають структурно-механічні характеристики водно-борошняних систем і гідролізатів. «Основними властивостями крохмалю житнього борошна є водопоглинальна здатність, температура клейстеризації, в'язкість і еластичність гелів» [20].

Для визначення водопоглинальної здатності крохмальних зерен застосовують кілька методів. «Ваговий метод враховує кількість води, сорбованої крохмалем, який деякий час перебуває у водному середовищі. За наявними даними, між величиною поглинання води та розчинністю крохмалю існує лінійна залежність» [20]. За другим методом «визначають зміну об'єму навішування крохмалю, що знаходилася різний час у воді або суміші води з піридином при різних температурах» [21].

Швидкість поглинання води та збільшення обсягу крохмальних зерен значною мірою залежить від температури. Так, за наявними даними, «поглинання води при температурі від 20 до 30° закінчується вже протягом однієї години при відповідному збільшенні обсягу крохмальних зерен до 50% від вихідного» [20].

Подальше збільшення температури в межах від 40 до 60 °С обумовлює підвищення розчинності крохмалю, при цьому обсяг його збільшується незначно. «При підвищенні температури до 60 °С і вище відбувається клейстеризація крохмалю, що супроводжується різким збільшенням крохмальних зерен» [22]. У холодній воді спостерігається невелике набухання крохмалю, що відображає наявність міцних внутрішньомолекулярних зв'язків у кристалічних ділянках зерен, стійких до розчинення. Однак, «якщо зв'язки будуть зруйновані механічною (в результаті, екструзією) або біохімічної обробкою (кислотно-ферментативний гідроліз), то набухання і часткова клейстеризація відбувається в холодній воді» [21]. Встановлено, що «початок клейстеризації крохмалю жита йде при температурі від 55 до 57 ° С закінчення - при 60 ° С» [22].

Процес клейстеризації крохмалю у разі підвищення температури його водної суспензії має значення для прискорення ферментативного процесу гідролізу.

«Клейстеризація крохмалю поділяється на три етапи: початок клейстеризації, середній клейстеризований стан, закінчення клейстеризації» [20].

На першому етапі гелеутворення втрачається здатність крохмальних зерен до подвійного променезаломлення, що проявляється у зникненні характерних поляризаційних хрестів при розгляді зерен у поляризаційному мікроскопі.

На другому етапі структурування гелеподібний стан переходить 50% всіх зерен. «Слід зазначити, що великі зерна крохмалю набухають і клейстеризуються насамперед» [21]. На третьому етапі структурування відбувається закінчення структурування золю в гель, що проявляється у різкому зростанні в'язкості суспензій.

Для вивчення процесу зміни в'язкості при клейстеризації крохмалю запропоновано багато приладів та методів.

Метод екструзійної обробки крохмалевмісної сировини є одним із прогресивних методів. «Перевага обробки сировини в екструзійних апаратах полягає в економії електроенергії та виробничих площ. Така обробка забезпечує необхідну стерильність продукту та високу харчову цінність внаслідок короткочасності обробки сировини» [21].

Ряд дослідників процес екструзії класифікують на три групи: «холодне формування (холодна екструзія), теплова обробка та формова ня при низькому тиску (теплова екструзія), теплова обробка та формування при високому тиску (гаряча екструзія)» [23].

Параметри проведення екструзії наведено у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Параметри екструзійної обробки

Параметри	Вид екструзії		
	холодна	теплова	гаряча
Вологість, %	28-30	30-32	17-19
Температура, ° С	30-35	70-90	120-140
Тиск, МПа	12	14	19
Число оборотів шнека за хвилину	120	120	157

При тепловому методі екструзії поряд з механічним впливом сировина піддається тепловій обробці. «Додатково здійснюється нагрів продукту зовнішнім обігрівачем. Висока температура та тиск призводять до часткової або повної клейстеризації крохмалю борошна. Продукт, що вийшов (екструдат) відрізняється невеликою щільністю, збільшеним об'ємом, пластичністю, пористою будовою» [23].

Гаряче екструдування здійснюється при високих механічних навантаженнях, тиску та температурі. Тут має місце регульована подача тепла як ззовні і безпосередньо в продукт, так і через стінки корпусу екструдера. Така обробка призводить до різних за глибиною змін у сировині.

Відносно сухий матеріал переходить у пластичну, здатну текти масу і крохмаль, що міститься в сировині, майже повністю клейстеризується. «При виході маси з матриці в результаті раптового падіння тиску і температури відбувається раптове підривання продукту та розпушення його структури, обсяг його значно збільшується» [23].

Екструзійна обробка борошна супроводжується змінами вуглеводного, білкового, ліпідного та вітамінного комплексів, глибина яких визначається режимом екструзії.

Найбільшим змінам у процесі екструзійної обробки підвергається вуглеводний комплекс борошна, особливо крохмаль.

«Крохмаль являє собою високомолекулярну речовину, що складається з молекул двох полісахаридів: амілози та амілопектину, що характеризуються різними структурою, молекулярною масою та фізико-хімічними властивостями» [1, 4, 20].

Амілоза є полісахаридним компонентом крохмалю, молекула якого має переважно лінійну структуру.

«У лінійному полімері глюкозні залишки з'єднані в основному α-1,4 глюкозидними зв'язками. Амілоза повністю розщеплюється β-амілазою з неальдегідного кінця частинами – по два глюкозні залишки, що утворюють при з'єднанні однієї молекули води мальтозу» [24].

Макромолекула амілопектину має переважно розгалужену структуру. «У ланцюжку амілопектину молекули пов'язані α-1,4 глюкозидним зв'язком, а в точках розгалуження є зв'язок α-1,6, який руйнується приблизно в 4 рази важче, ніж зв'язок α-1,4» [24]. При ферментативному гідролізі амілазою руйнуються лише зовнішні "ланцюжка" молекули амілопектину, що «мають зв'язок α-1,4, і практично не руйнуються зв'язок α-1,6 у точках розгалуження. На відміну від амілози, амілопектин нерозчинний у воді і дає з йодом фіолетове забарвлення» [24].

Екструзійна обробка сприяє формуванню пористої полідисперсної структури, що передбачає руйнування крохмальних зерен і що складається в

більшості випадків частинок складної форми. Пористість та формат частинок залежать від умов екструзійної обробки.

Слід зазначити, що здатність крохмалю утворювати спучену структуру, мало вивчена. Деякі автори, що вивчали зміни якості полісахаридів крохмалю методом хромотографії і спектрального аналізу припускають, що «у апаратах, які працюють під високим тиском, провідна роль належить амілопектину крохмалю. Вміст амілопектину крохмалю після екструзії зменшується на 10 – 12%» [25]. Проте, деструкції більшою мірою піддається амілоза. «З цього видно, що при дії гарячої екструзійної обробки на крохмаль у житньому борошні відбуваються глибші структурні зміни, ніж при амілолізі» [25].

Таким чином, «руйнування α-1,4 та α-1,6 глюкозидних зв'язків в амілозі та амілопектині обумовлює утворення великої кількості декстринів, ніж при амілолізі» [26].

Ферментативний гідроліз – процес розпаду біополімерів до мономерів (або полімерів) нижчого порядку, що каталізується ферментами.

Гідроліз крохмалю здійснюється під дією природних та штучних ферментів. Нативні ферменти входять до складу житнього борошна – це α, β-амілази. Амілази здатні розщеплювати 1,4-глюкозидні зв'язки, але специфічність амілолітичних ферментів різна.

«Дія α-амілази сповільнюється і навіть зупиняється, коли гідроліз сягає місця раз галуження ланцюгів крохмалю, так як тут є 1,6-глюкозидні зв'язки, які фермент не розриває» [25]. Інакше гідролізує крохмаль β-амілаза, що присутня в зерні жита. Фермент діє на ланцюг лише з нередукуючого кінця і відщеплює у своїй дії молекули мальтози, тобто розриває кожний другий зв'язок між елементарними ланками. «Мальтоза виділяється у β-формі, так як у процесі гідролізу має місце оптична інверсія. Глюкоамілази та ферменти даного підпідкласу розщеплюють 1-4, 1-6-глюкозидні зв'язки, продуктами гідролізу яких є декстрини та цукру, залежно від характеру ферменту» [26].

У процесі розщеплення глюкозидних зв'язків крохмалю важливу роль відіграє електрофільно-нуклеофільна система "карбоксил-імідазол". Вона має

всі необхідні властивості для здійснення каталітичного акту, що протікає за типом кислотно-основного.

Можливість переходу протона з одного енергетичного мінімуму в інший зумовила високу каталітичну ефективність даної системи.

«У каталітично активній парі "карбоксил-імідазол" роль електрофільної-(протоно-донорної) відводиться імідазольної групі, а карбоксильна виконує функції нуклеофіла» [26].

При спільній дії цієї пари в глюкозидному зв'язку крохмалю, з погляду вчених, відбувається стягування електронів до "точки закріплення" іона до β-карбоксилу, що і призводить до руйнування цього зв'язку .

«Було встановлено, що α і β амілази розривають у глюкозидних зв'язках крохмалю C_1-O , а не O-C_4. Далі стало відомо, що і глюкоамілаза розщеплює зв'язок C_1-O, а не O-C_4 або O-C_6» [26].

З цих даних вченими був запропонований описаний нижче гіпотетичний механізм дії α-, β-глюкоамілаз на α-1,4 глюкозидний зв'язок.

Атом кисню має більший негативний індукційний ефект, ніж атом вуглецю. Тому атом кисню α-1,4 глюкозидного зв'язку матиме більшу щільність електронної хмари, ніж атом C_1. «Це також пов'язано з індукційним впливом атома кисню глюкопіранозного кільця. Очевидно, це є головною причиною електрофільно нуклеофільної атаки зв'язку C_1-O систему карбоксил-імідазол» [27].

У сучасних уявленнях про механізм каталізу широкого поширення «набула гіпотеза про "активну порожнину" або "щілини" в молекулах ферменту, згідно з якою реагуюча речовина втягується всередину порожнини і так здійснюється акт каталізу» [26].

Ця гіпотеза дозволяє пояснити контакт великої кількості груп активного центру з субстратом і можливість атаки молекул субстрату з різних сторін. «Внаслідок впливу системи карбоксил-імідазол на глюкозидний зв'язок останній піддається двосторонній атаці, що призводить до швидкого ферментативного розщеплення зв'язку» [27].

На підставі цієї гіпотези утворення глюкози при гідролізі крохмалю глюкоамілазою можна пояснити виникненням у глобулі ферменту "активної порожнини", здатної вмістити один глюкозидний залишок; зазначається, що з дії β-амілаз у її глобулі виникає "активна порожнина", за розміром достатня для вміщення двох глюкозидних залишків.

«Важливу роль в утворенні фермент-субстратного комплексу при гідролізі крохмалю амілазами грає ОН- група. Такий механізм можна пояснити здатністю глюкоамілази розщеплювати як α-1,4, так і α-1,6 глюкозидний зв'язок» [25].

Для "активної порожнини" глюкоамілази фактично "байдуже", який глюкозидний залишок буде втягнутий у нього: залишок пов'язаний з C_4 або C_6 атомом сусідньої ланки. Важливо, щоб зв'язок з C_1-О була комплементарна системі карбоксил-імідазол.

"Активна порожнина" β-амілази здатна вмістити два глюкозидних залишки, тому відгалуження у вигляді зв'язку О-C_4 може стати серйозною стеричним перешкодою для зближення системи карбоксил-імідазол зі зв'язком C_1-О. «Аналогічно пояснюється утворення декстринів при гідролізі крохмалю α-амілазою, якщо каталітичний центр даного ферменту подати у вигляді "щілини" не містить контактну порожнину (групу)» [28].

До унікальних властивостей ферментів слід віднести, передусім, їхню високу каталітичну активність, тобто. здатність прискорювати реакції значно сильніші за прості (низькомолекулярні) каталізатори типу $H3O^+$, OH^-, Fe^{3+} імідазол та ін. Так, «для співвідношень швидкостей ферментативної та неферментативної реакції нерідко можна зустріти значення 10^{10}-10^{13}» [29].

«Поряд з високою каталітичною активністю можна відзначити так само і неперевершену вибірковість ферментів не тільки за типом реакції, що каталізується, але і по відношенню до структури субстрату і, нарешті, їхню високу здатність відгукуватися на прояви тонких змін у властивостях та специфічному складі середовища» [29].

Так, наприклад, «поява іонів Ca^{2+} з концентрацією від 10^{-5} до 10^{-3} моль/л викликає збільшення активності амілаз удвічі» [30].

Сутність процесу амілолізу доцільно розглядати у світлі теорії кінетики гідролізу α-1,4-глюкозидних зв'язків у полісахаридах.

Однак, для полімерних субстратів таких, як полісахариди, ситуація ускладнюється тим, що продукт реакції може знову піддаватися ферментативній атаці.

Теоретично можна представити три різних способи взаємодії ферменту з полісахаридним субстратом:

1. Багатоланцюговий механізм.

За час існування фермент субстратного комплексу може відбутися лише один каталітичний акт. «Розщеплення одного доступного до дії ферменту зв'язку призводить до дисоціації. Багатоланцюговий механізм невпорядкованої дії ферменту і повинен описуватися класичним рівнянням Міхаеліса-Ментена» [31].

Протилежним описаному явищу є одноланцюговий механізм реакції, при якому відбувається гідроліз усіх доступних у лінійному ланцюзі полісахариду зв'язків за час існування одного фермент-субстратного комплексу. При цьому має відбуватися "механічне ковзання ферменту" вздовж полісахаридного ланцюга, утвореного α-1,4-глюкозидними зв'язками, гідролізу амілопектину, або до редукуючого глюкозного залишку (у разі гідролізу амілопектину), або до редукуючого глюкозного залишку (у випадку гідролізу).

«Одноланцюговий механізм є найбільш ефективним способом гідролізу полісахариду, проте, насправді, він, мабуть, не зустрічається в "чистому вигляді", а входить як складовий елемент наступного механізму дії, що називається множинною атакою» [31].

Множинна атака є проміжною між багато- і одноланцюговим механізмом дії. Суть множинної атаки полягає в тому, що за час існування комплексу гідролізується кілька зв'язків. «Ступінь множинної атаки

характеризується кількістю каталітичних актів і здійснюється за час існування одного фермент-субстратного комплексу» [31].

Бейлі і Френі вивчали гідроліз синтетичної амілози, що складається з 44 глюкозних залишків і містить мітку на нередукуючому кінці під дією (β-амілази з батату. Вони показали, що β-амілаза, за час існування одного фермент-субстратного комплексу розщеплять в глюкозидні зв'язки в амілозі і утворюються чотири молекули мальтози.

«З вищевикладеного можна розкрити фізико-хімічні механізми руйнації глюкозидних зв'язків у активних центрах ферменту. Відомо, енергія зв'язків у структурній ланці молекули крохмалю становить близько 20кДж» [31].

На першій стадії ферментативного процесу відбувається сорбція субстрату. За рахунок гідрофобної взаємодії між групою і гідрофобним "крохмалем" у глобулі ферменту, утвореним коферментом карбоксильно-імідазольного характеру. «За рахунок теплоти адсорбції, що дорівнює 4,8 кДж/моль, відбувається послаблення цього зв'язку до 15 кДж» [31]. Цього цілком достатньо для ацилування гідроксильних груп із утворенням ацилферментної групи. «Тепловий ефект цієї взаємодії ΔН дорівнює 17 кДж/моль; згодом це зумовлює розрив зв'язків C_1—О—С утворенням активного проміжного комплексу. Надлишкової кількості енергії 2 кДж цілком достатньо для дисоціації продуктів гідролізу з порожнини ферменту» [32].

«Прискорення даної ферментативної реакції, обумовлене "сорбцією" хімічно інертних "глюкозидних" ланок ланцюга біополімеру, досить велике» [31].

Відповідно до теорії Арреніуса та даних сучасних вчених-дослідників енергія активації знижується до 15-20 кДж·моль. При цьому з урахуванням молекулярної маси крохмалю $7 \cdot 10^5$ г/моль надлишкова кількість теплоти становить 1400 кДж. Цим пояснюється "легкість" даного ферментативного процесу.

Виходячи з викладеного, представляється доцільним визначення загальних кінетичних закономірностей, визначення порядку реакції та кінетичних констант, застосовних до об'єкта, що вивчається.

«Отримані гідролізати з жита перспективно використовувати в кондитерському виробництві для заміни таких продуктів, як цукор, патока, мед та ін. Тому дуже важливо знати, яку роль у структуроутворенні кондитерських мас відіграють житні гідролізати та цукор» [32].

Фізико-хімічні процеси, що протікають при виробництві кондитерських виробів, залежать не тільки від технологічних умов переробки сировини і напівфабрикатів, але визначаються значною мірою хімічним складом і властивостями сировини.

«Цукор-пісок є практично хімічно чистою сахарозою, та його властивості визначаються властивостями останньої» [33].

Молекула сахарози складається з двох залишків моносахаридів: D-глюкози та D-фруктози, з'єднаних глюкозидними групами.

Кристали сахарози відносяться до монолітної системи, мають складну багатогранну призматичну форму. Відносна щільність кристалів сахарози – 1,5879; молекулярна маса – 341,296. Температура плавлення сахарози знаходиться в межах 180-188°С.

Сахароза добре розчинна у воді. «При розчиненні сахарози поглинається теплота: при 30° – 10,5 Дж/моль, а при 57° – 32,9 Дж/моль. Тепло розчинення кристалічної або аморфної сахарози у воді дорівнює 14,7 Дж/моль. При кристалізації сахарози виділяється відповідна кількість теплоти» [33].

Завдяки присутності в молекулі асиметричних атомів вуглецю сахароза обертає площину поляризації світла, тобто є оптично активною речовиною.

Розчини сахарози заломлюють світлові промені. Показник заломлення залежить від концентрації розчину.

«Температура кипіння розчину зростає із підвищенням концентрації та залежить від тиску. До розчинів сахарози низької і високої концентрації застосуємо експериментальний закон Бабо, згідно з яким відношення

пружності пари над розчином до пружності пари чистої води при тій же температурі є величина постійна (Pp/Pg=const) і при даній концентрації не залежить від температури» [34].

Розчини сахарози та інших цукрів не підпорядковуються закону Рауля, за яким підвищення температур кипіння розчинів перебуває у прямої залежності від молекулярної концентрації. Відхилення від закону Рауля у розчинів цукрів обумовлені гідратацією розчиненого речовини . У етиловому та метиловому спиртах сахароза не розчиняється.

«Сахароза відноситься до нередукуючих цукрів і практично не відновлює мідно-лужних розчинів. Сахароза не гігроскопічна. Навіть за відносної вологості нижче 90% її кристали не поглинають вологу з повітря» [34].

При виробництві пастиломармеладних виробів пектин утворює колодці при обов'язковому додаванні в його розчини будь-якої води, що відбирає речовини. Як така речовина в кондитерській промисловості використовується цукор. «Роль цукру в студнеутворенні зводиться до дегідратації та зниження сольватних частинок пектину. Утворення структурного каркасу відбувається за рахунок зчеплення окремих частинок по десольватованих ділянках» [34]. Залежно від якості і кількості пекти для освіти колодець потрібен різний вміст пектину і чим краща його якість, тим більше потрібно цукру для студнеобразования.

«Однак, якщо взята кількість цукру непропорційно велика по відношенню до пектину, це веде до зниження міцності колодця і прискорення його утворення. Якщо, навпаки, цукру взято менше, ніж потрібно за цією кількістю та якістю пектину, то холодець може вийти занадто міцним і твердим» [35].

«При використанні пектину хорошої якості при концентрації в розчині 0,6 -11,0%, кількість цукру повинна становити близько 65%» [34].

При виробництві карамелі додавання глюкози та фруктози в розчини – сахарози при постійній температурі знижує спільний середній ступінь

гідратації молекул. В результаті витісняючої дії цих цукрів зменшується кількість високогідратованої сахарози і зростає концентрація розчину.

«Таким чином, враховуючи спільний середній ступінь гідратації цукрів, можна змінити їх розчинність при даній температурі, підвищувати загальну концентрацію сухих речовин, знижувати температуру уварювання сиропів, що має важливе практичне значення при виробництві карамелі» [36].

Найбільший інтерес представляє процес кристалізації сахарози з її розплаву, оскільки ця система найбільш близько підходить за своїми фізичними властивостями до карамельної маси. Сахароза є переважним компонентом у карамельній масі, тому вона кристалізуватиметься в першу чергу.

«Якщо карамельну масу розглядати як розплав цукрів, то троянда в цій масі навіть при температурі 110-120 ºС вже перебуває в переохолодженому стані» [35].

Переохолодженим називається явище утворення метастабільного стану рідини, охолодженої нижче температури плавлення відповідної твердої фази. Температура плавлення кристалів сахарози лежить у межах 170 -180 ºС. «Вільна енергія кристалічного стану менша, ніж переохолодженою рідиною. Тому нижче температури плавлення термодинамічно рівноважною є лише кристалічна модифікація» [36].

Цим і пояснюється здатність карамельної маси до кристалізації, оскільки необхідною умовою утворення зародків та їх росту є переохолоджені розчини.

Помадні маси ж утворюються з пересичених розчинів у результаті кристалізації сахарози. «Тому дисперсний склад твердої фази помади, від якого залежить якість останньої, значною мірою залежить також від тих факторів, які впливають на процес кристалізації» [37].

Одним із вирішальних факторів є пересичення розчинів сиропу. З підвищенням пересичення сиропу значно збільшується кількість твердої фази, покращується дисперсність помади. «Максимум кривої розподілу кристалів за розмірами стає вищим і вузьким, криві зрушуються убік малих розмірів

кристалів. Це можна пояснити утворенням великої кількості центрів кристалізації, зростанням сумарної поверхні кристалів» [38].

На дисперсність помади також впливає кількість патоки, що додається . Утворення дрібніших кристалів у присутності патоки може бути пояснено підвищенням в'язкості сиропу, а також підвищенням ступеня пересичення сиропу сахарозою при одній і тій же вологості, оскільки патока сильно знижує розчинність сахарози.

«Цукрове та затяжне тісто значно відрізняються за рецептурою, особливо за вмістом цукру та жиру. Змінюючи в їх вміст у поєднанні з іншими технологічними факторами можна отримувати тісто із заданими пружно-пластично-в'язкими властивостями» [39].

З водному розчині молекули цукрів покриваються гідратними оболонками, що збільшує їх міжмолекулярний об'єм, знижує швидкість дифузії при осмотичному набуханні білків борошна. Особливо високогідратованими є молекули сахарози. «При температурі 20 °С вони зв'язують і утримують 8-12 молекул води. Отже, чим більше цукру в рецептурі тіста, тим менше в його рідкій фазі вільної води, що бере участь у першу чергу в гідратації та набуханні колоїдів борошна» [39].

Для замісу цукрового тіста використовується трохи води та велика кількість цукру. У рідкій фазі цукрового тісту волога відсутня. «У затяжному тесті, вологість якого в 1,5 раза вища за цукровий, а вміст цукру значно менший (майже в 2 рази), більша частина вологи в рідкій фазі знаходиться у вільному стані» [40]. Ці особливості визначають процес набухання білків борошна, сорбційні процеси зволоження крохмалю та активність ферментативних процесів.

При замісі цукрового тіста вільна волога відсутня. Тому «в набуханні білків борошна бере участь значна частина рідкої фази, що містить розчинені речовини. Зрозуміло, що швидкість дифузії навіть низькомолекулярних гідратованих речовин при набуханні незрівнянно менше, ніж молекул води» [41].

«Крім того, малі молекули води легше і швидше заповнюють внутрішньо-молекулярний простір коливаються гілок макромолекул білка і крохмалю, ніж громіздкі гідратовані молекули сахарози» [42]. Цим пояснюється обмежене набухання білків борошна. Крім того, цукор підвищує осмотичний тиск у рідкій фазі тесту, що також зменшує набухання колоїдів борошна.

1.2 Амілолітичні ферменти в харчовій промисловості

Важливе місце в харчовій промисловості займають продукти гідролізу - картопляного та зернового крохмалю, які знайшли місце в кондитерській та хлібопекарській промисловості. «Застосування кислотного гідролізу крохмалю не дозволяє варіювати співвідношенням вуглеводів, що утворюються і, тому, не дає можливість урізноманітнити асортимент паток і сиропів» [43]. У зв'язку з цим особливого значення набуває використання в крохмало паточному виробництві ферментативних препаратів, які «завдяки специфічності дії дозволяють отримати цукристі продукти з краху мало строго заданого вуглеводного складу» [44].

«При отриманні кристалічної та харчової глюкози з крохмалю широко застосовуються різні амілолітичні ферменти» [44].

На перших етапах гідролізу крохмалю житнього борошна розрідження борошна і зниження в'язкості водно-борошняних суспензій обумовлено дією власних амілаз, що виключає необхідність додаткового використання препаратів, таких як амілосубтилін Г10Х або амілоризин П10Х, під дією яких глюкози.

«Власна α-амілаза житнього борошна гідролізує в полісахаридах або продуктах їх деградації внутрішні α-1,4-глюкозидні зв'язки, приводячи до утворення великих декстринів, α, β-амілаза виявляє спорідненість до передостанньої α-1,4-зв'язки з нередукуючого крохмалю, амілози та амілопектину, утворюючи мальтозу в β-конфігурації, β-амілаза гідролізує

клейстеризований крохмаль, чим і обумовлені температурні режими гідролізу крохмалю у водно-борошняних сумішах» [45]. На наступному етапі можна застосовувати препарати, що містять глюкоамілази (глюкаваморин П10Х, глюконігрин Г20Х, глюковаморин Г20Х) для перетворення декстринів на моносахариди.

Завдяки застосуванню ферментних препаратів можна отримувати гідролізати з різним вмістом декстринів та моносахаридів, що дозволило, наприклад, застосовувати декстрини у технології при виробництві клеючих засобів. «Низькооцукрену патоку використовують для отримання малогігроскопічної карамелі в кондитерському виробництві. Високооцукрену патоки покращують якість і збільшують термін зберігання помадних цукерок, пастильно-зефірних виробів, тістечок, кексів та ін. виробів» [46].

Є відомості, що «у Японії 1980г. близько 10% всього споживаного цукру замінено глюкозно-фруктозними сиропами» [47]. «У США 35-45% загальної потреби в цукристих речовинах покривається за рахунок глюкозо-фруктозного сиропу» [48]. При отриманні глюкозо-фруктозних сиропів на початкових етапах гідролізу крохмалю зазвичай використовують розчинну α-амілазу, через те, що «до теперішнього часу не вдається отримати досить активні іммобілізовані препарати цього ферменту, про що свідчать наведені вище дані і те, що реакція іммобілізованої α-амілази з в'язкими розчинами крохмалю проходять важко» [49].

Застосування житнього сировини знімає перераховані складності, так як житнє борошно містить ферментативний комплекс амілаз, який і «проводить першоетапну деструкцію крохмальних полімерів, тим самим "готуючи" субстрат для більш глибоких ферментативних процесів при використанні надалі глюкоамілазних препаратів» [50].

Процеси гідролізу житнього крохмалю протікають повільно. Це пов'язано з тим, що власні амілаза мало активні, а зерна крохмалю «покриті щільними амілопектиновими оболонками і атакованість ферментами такого субстрату слабка; клейстеризований крохмаль житнього борошна представляє

гелеподібну структуру, яка уповільнює дифузійні процеси рівномірного розподілу власних амілаз, тому гідроліз на першому етапі йде незначно» [50].

1.3 Структурні зміни в крохмалі борошна при ферментативному гідролізі

Процеси формування водно-борошняних систем з екструдованого та неекструдованого житнього борошна суттєво відрізняються один від одного.

«Водно-борошняна система є сумішшю трьох частин води і однієї частини житнього борошна і має температуру 60С° для створення умов дії ферментативного препарату, що гідролізує клейстеризований крохмаль до цукрів» [51].

У процесі нагрівання водно-борошняної суспензії відбуваються зміни в’язкісних та структурних характеристик, які характеризують стан колоїдних систем у цей період.

«Підвищення температури від 25 до 40°С викликає посилення дизагрегуючої і гідролітичної дії власних амілаз борошна, що зумовлює зниження в'язкості» [52]. З іншого боку, відбувається набухання та пептизація колоїдних систем борошна, в першу чергу – білків, слизів та частини декстринів, про що можна судити щодо зміни електропровідності системи. «Електропровідність у період знижується, тому що пептизація і на бухання сприяє формуванню арабіноксиланової фракції, яка встановлює взаємозв'язок крохмалю білків і слизів, що набухає, що призводить до утворення великих малорухливих міцел» [53].

Подальше підвищення температури системи від 40 до 50 °С веде до значного зниження в'язкості і різкого збільшення електропровідності. Даний етап характеризується процесами активації D-амілаз, які частково декстринізують крохмаль, викликаючи розрив зв'язків між великими міцелами і збільшуючи їх рухливість. «При температурі від 52 до 55С° починається процес клейстеризації крохмалю, що характеризується інтенсивним

набуханням більш глибоких шарів зерен крохмалю, які за рахунок різниці осмотичного тиску звільняються від амінопектинових оболонок» [54]. В результаті цього золь переходить у гель, в'язкість суспензії різко зростає, а електропровідність виходить на лінійну залежність від температури через те, що гель значно обмежує рух частинок.

Після досягнення температури 60°С нагрівання припиняють і одержана суспензія використовується для ферментативного гідролізу.

«Водно-борошняна суспензія з екструдованого борошна, яка також піддається нагріванню до 60°С, значно відрізняється за фізико-хімічними характеристиками від стандартної суспензії» [55].

Відмінність у властивостях суспензій з екструдованого борошна обумовлена структурними змінами, що сталися з біополімерами в результаті екструзії. «При цьому крохмальний комплекс деструктувався від 35 до 40%. Крохмальний комплекс після екструзії звільнений від амілопектинових оболонок і розпушений у результаті випаровування вологи з крохмальних зерен» [56]. Суспензія з екструдованого борошна має високу в'язкість, що обумовлено здатністю крохмалю клейстеризуватися при низьких температурах, т.к. зерна деструктовані та проникні для води.

При нагріванні суспензії до 45° відбуваються процеси зниження. в'язкості, що обумовлено термічним руйнуванням гелю та посиленням броунівського руху. З іншого боку, мають місце процеси набухання деструктованих слизів, білків і декстринів, які формують мало рухливі міцели, що зумовлює зниження електропровідності на даному етапі. «Подальше підвищення температури від 45 до 60 ° С призводить до ще більшого зниження в'язкості» [56].

Слід зазначити, що D-амілази у екструдованого борошна зруйновано, тому їх вплив на крохмальний комплекс відсутня, в результаті часткове руйнування міцел викликане температурою і броунівським рухом. «Провідність суспензії цьому етапі збільшилася, так як міцели стали рухливими» [57].

При досягненні температури 65°С нативний крохмаль, що залишився, починає клейстеризуватися і електропровідність лінійно залежить від температури за умови подальшого нагрівання. «На цій стадії клейстеризуються зерна "малих" розмірів, тобто. їх структура представлена центральною частиною великих зерен, що мають щільну упаковку макромолекул амілопектину» [58-62].

Потім цю суспензію нагрівають до 60 °С і використовують для гідролізу.

Колоїдні системи, які сформували суміш у процесі підготування водно-борошняних систем з екструдованого та вихідного борошна, «зазнають у процесі гідролізу крохмально-декстринного комплексу декстриногенними та сахарогенними ферментами значні зміни» [63].

Водно-борошняна суміш з вихідного борошна витримується протягом години при температурі 60° для декстринізації клейстеризованого крохмалю власними амілазами. В результаті дії власних амілаз відбувається часткова дезагрегація великих міцелярних структур, наслідком чого є зниження в'язкості та підвищення електропровідності. «Через годину в суспензію вводять ферментний препарат Глюковаморин Г20Х, активність якого в перші дві години досить висока» [64]. Це призводить до зниження в'язкості, що пояснюється деструкцією крохмального гелю.

Надалі, як показали результати аналізу, «міцели знову укрупняються і гель перетворюється на більш структурований стан. Однак цей факт не говорить про зниження цукрогенної активності ферменту» [65]. Результати аналізу цукрів показали, що цукру на цьому етапі накопичуються в просторі тривимірної структури клейстеризованого гелю.

Після досягнення десяти годин гідролізу суспензії процеси формування міцелярних і гелеподібних структур припиняються, і здійснюється їх деструкція. «У крохмальному комплексі руйнується і послаблюється зв'язок між білками та слизами, що підтверджується значним зниженням в'язкості та підвищенням рухливості частинок» [66].

Відомо, що «екструдоване борошно жита має від 20 до 40% декстринів, що збільшує спорідненість цукрогенних ферментів до субстрату» [67]. Протягом перших п'яти годин відбуваються процеси активного руйнування міцелярних структур, сформованих денатурованим білком, слизами та декстринами.

Міцелярні структури являють собою систему, ядром якої є декстрини ($(C_6H_{10}O_5)_n$), а адсорбційний шар утворений арабіноксилановою фракцією ($(C_4H_9COO^-)_n$). Дифузійний шар характеризується наявністю водневих іонів.

Таке розташування шарів веде до загальмовування гідролізу декстрин на шостій годині амілолізу. Потім, «коли фермент проникнув через шар всередину ядра, починається процес внутрішнього руйнування частинок, які легко розпадаються з утворенням дрібніших структур, що і підтверджується зниженням електропровідності та в'язкості на цій стадії» [67].

Можна припустити, що міцелярні структури мають загальну формулу:

$$\left[\underbrace{(C_6H_{10}O_5)_n \cdot (C_5H_{10}O_3)_n}_{ЯДРО} \underbrace{(C_4H_9COO^-)_n}_{АДСОРБЦІЙНИЙ\ ШАР} \right]$$

У перші п'ять годин декстрини не встигли сформуватися у великі міцели, тому легко атаковані ферментами. Потім, як це згадано вище, відбувається формування міцелярних структур, ядром яких є декстрини.

«Після їх розблокування починається активація ферменту, що супроводжується збільшенням загального цукру» [67].

Висновки по розділу.

Один із перспективних напрямків для задоволення попиту у кондитерській промисловості на буряковому (тростниковому) цукрі полягає в промисловому виробництві та використанні продуктів з високим вмістом

цукру, які отримані через ферментативний гідроліз крохмалевмісної сировини. Один із таких перспективних продуктів, що містять крохмаль, - це жито.

Продукти з жита, які містять цукор і отримані через ферментативний гідроліз, можуть бути використані в різних галузях харчової промисловості як заміна бурякового цукру, патоки та іншим продуктам.

Існує відомий метод отримання цукровмісного продукту з некондиційного борошна зерна жита. Для більшої ефективності виробництва продуктів, що містять цукор, шляхом гідролізу житнього борошна, доцільно включити його попередню екструзійну обробку.

Структура водно-борошняної суспензії з екструдованого житнього борошна має деякі відмінності в порівнянні з вихідним борошном, і ферментативний гідроліз крохмалю екструдованого борошна протікає з деякими особливостями.

2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Основна використана сировина

Одним із важливих напрямків цього дослідження є розробка технології гідролізованого житнього борошна для виробництва борошняних кондитерських виробів. Ця інноваційна технологія передбачає застосування гарячої екструзійної обробки для створення гідролізату з житнього борошна, що може визначити нові стандарти в якості та харчовій цінності продуктів харчування.

Об'єктом нашого дослідження є технологія гідролізованого житнього борошна, яка має потенціал стати ключовим компонентом у виробництві борошняних кондитерських виробів. Обґрунтування вибору цього об'єкта дослідження полягає в його перспективному впливі на покращення харчового складу та смакових властивостей продуктів, а також в можливості відповідати зростаючим вимогам споживачів до здорового та смачного харчування.

Відповідно до цього в дослідженнях використані:

– дві проби товарного житнього оббивного борошна ДСТУ 8791:2018;

– проба товарного пшеничного борошна в/с ГСТУ 46.004-99;

– ферментний препарат глюковаморин Г20Х ГОСТ 20264.1-89;

– молочна кислота 40% ДСТУ 4621:2006;

– гідролізат з житнього вихідного борошна;

– гідролізат з житнього екструдованого борошна.

Гідролізат із житнього вихідного борошна готували за принциповою технологічною схемою отримання ЦВП, представленої на рис. 1.2 у розділі Аналітичний огляд літератури.

Гідролізат з екструдованого житнього борошна готували за розробленою технологічною блок-схемою отримання цукристих житніх гідролізатів, представленої на рис. 3.1.

Товарне пшеничне борошно внутрішньовенно характеризується показниками, наведеними в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Показники якості пшеничного борошна в/с

Показники	Значення
Кислотність, град.	0,5
Масова частка вологи, %	11,3
Кількість сирий клейковини, %	29,0
Якість клейковини, од. приладу ВДК	91,0

Житнє оббивне борошно характеризується показниками якості, наведеними в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Показники якості житнього оббивного борошна

Показники якості	Проби борошна	
	1	2
Кислотність, град.	1,0	1,25
Масова частка вологи, %	12,0	12,0
Зольність, %	1,6	1,6

Як видно з табл. 2.1 та 2.2, показники якості пшеничного та житнього борошна відповідають значенням за відповідних ГСТУ та ДСТУ [68-70].

2.2 Методики дослідження

У процесі аналізу властивостей сировини використовували загальноприйняті методи дослідження [70-74], які включали фізико-хімічні та органолептичні аспекти.

Під час аналізу пшеничного борошна використовували наступні показники:

– Визначення масової частки вологи проводили відповідно до ГОСТ 26574-85 та виражали у відсотках.

– Кислотність борошна визначали за ГОСТ 27493-87.

– "Силу" борошна оцінювали через зміст та властивості клейковини. Масову частку сирої клейковини в борошні визначали за стандартним методом.

– Структурно-механічні властивості сирої клейковини визначали на приладі ІДК-1, аналізуючи її здатність протистояти деформаційному навантаженню стиснення протягом певного часу відповідно до спеціальної методики.

Аналіз крохмалю житнього борошна та продуктів його переробки проводять за методом Еверса. «Метод Еверса – основний стандартний метод визначення масової частки крохмалю в оцінці якості зерна та продуктів її переробки» [73].

Повнота гідролізу при виконанні роботи контролювалася методом вивчення в'язкості системи, що вимірюється стандартним методом на в'язкозиметрі ВПЖ-4 ⌀=2,62 мм.

При цьому ступінь гідролізу розраховується за формулою:

$$B = \frac{\eta_K - \eta_0}{\eta_K - \eta_B} \cdot 100\% \qquad (2.1)$$

де η_K – в’язкість гідролізату до введення ферменту;

η_O – в’язкість гідролізату після введення ферменту;

η_B – в’язкість води, що дорівнює 0,0031 м.

Отримані дані показують, що при екструзії відбувається значна деструкція молекул крохмалю. В результаті, вони легше гідролізуються з утворенням вуглеводів.

Фотоколориметричне дослідження проводилося за ГОСТ 5903-77. Сутність цього методу полягає в колориметрії розчину фериціаніду, що залишився після взаємодії з редукуючими речовинами. «Метод застосовується для визначення цукрів у всіх кондитерських виробів» [74].

Висновки по розділу.

В розділі надано характеристики основної використаної сировини під час проведення дослідження технології гідролізованого житнього борошна, яка має потенціал стати ключовим компонентом у виробництві борошняних кондитерських виробів.

У процесі аналізу властивостей сировини використовували загальноприйняті методи дослідження, які включали фізико-хімічні та органолептичні аспекти. На всі методи і використані методики надано відповідні посилання на літературні джерела.

3 ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Вплив гарячої екструзійної обробки на зміну якості та хімічного складу житнього борошна

Основні результати аналізу житнього вихідного та екструдованого борошна зведені в табл. 3.1, які відображають вплив гарячої екструзійної обробки на якість житнього борошна.

Таблиця 3.1 – Вплив гарячої екструзійної обробки на якість житнього борошна

Показники якості	Борошно житнє	
	вихідне	екструдоване
Розмір частин, мкм	700-750	1200
Масова частка вологи, %	13,0	5,0
Ліпіди, % на СР	1,76	1,7
Вміст білка, % на СР	11,22	10,8
Кількість крохмалю, % на СР	66,84	28,27
Редукуючі цукру, % на СР	2,36	5,76
Декстрини, %	0,12	40,0

Аналіз зміни фізико-хімічних показників та хімічного складу з табл. 3.1 показав, що найбільшим змінам піддається вуглеводно-амілазний комплекс житнього борошна.

Кількість декстринів після гарячої екструзійної обробки склала 55,0 %. В результаті високих температур і тиску при гарячій екструзійній обробці відбувалася денатурація білка, але його кількість (11,1%) практично не змінилася.

Відомо, що «при екструзійній обробці вода всередині зернівки переходить у пару, і створений тиск призводить до руйнування її

мікроструктури» [24]. При цьому пара, володіючи значною енергією, розриває міжмолекулярні зв'язки крохмалю та білка.

Це призводить до деструкції крохмальних зерен, що супроводжується частковою клейстеризацією крохмалю та утворенням декстринів. Утворення декстринів тісно пов'язане з процесом зростання ступеня клейстеризації крохмалю.

Денатурація білка борошна призводить до утворення меланоїдинів, внаслідок чого екструдоване житнє борошно набуває золотаво-коричневого кольору і характерного приємного специфічного смаку.

Проведення екструзійної обробки житнього борошна супроводжується максимальним руйнуванням крохмалю та білкової матриці на дрібні фрагменти та досить глибокою деструкцією структурних компонентів. Це призводить до збільшення водопоглинальної здатності при суспензуванні.

Крохмаль у водно-борошняній суміші з житнього вихідного борошна набухає і клейстеризується, тобто формується єдиний комплекс клейстеризованого крохмалю та розгалуженої арабіноксиланової фракції пентозанів.

Крохмаль екструдованого борошна являє собою спучену структуру, вільну від амілопектинових оболонок, що зумовлює у водно-борошняній суспензії високу початкову в'язкість і низьку електропровідність , яка потім зростає в результаті посилення рухливості міцел за рахунок посилення броунівського руху.

Отримані дані узгоджуються з даними інших авторів. «Знімки електронної мікроскопії показують, що водно-борошняна суспензія з екструдованого борошна менш структурована в порівнянні з системою з вихідного борошна, що посилює дифузійне проникнення ферменту всередину міцелярних структур» [67]. Тому, використання екструдованого борошна як сировини для виробництва гідролізатів найбільш доцільно.

3.2 Розробка способу приготування гідролізату з житнього екструдованого борошна

Ґрунтуючись на результатах дослідження впливу гарячої екструзійної обробки на якість житнього оббивного борошна, а так само враховуючи розроблені раніше способи отримання цукристих продуктів з крохмалотримаючої сировини, приходимо до висновку про необхідність розробки способу отримання гідролізату з екструдованого житнього борошна використанням ферментативного препарату амілолітичної дії Глюковаморину Г20Х (рис. 3.1).

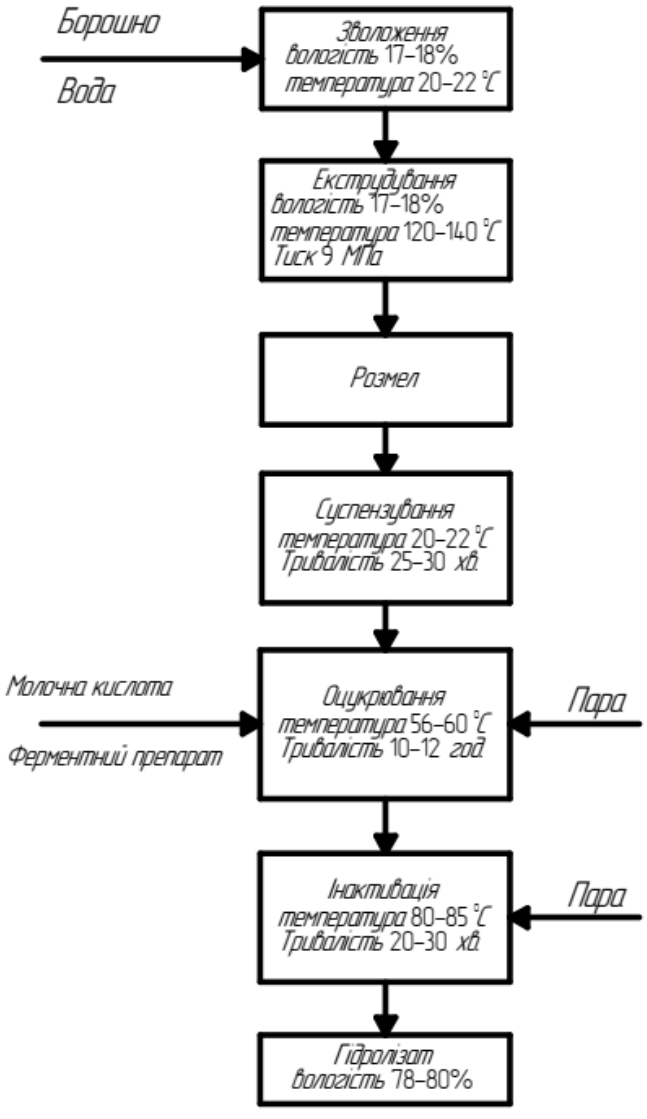

Рисунок 3.1 – Блок-схема отримання гідролізату з житнього екструдованого борошна

За цією схемою житнє борошно після підготовки (просіювання) зволожується до 17 - 18% і екструдується на прес-екструдері при температурі 120-140 °С, і тиску 9 МПа. Потім готовий екструдат подрібнюється на молотковій дробарці.

Далі екструдоване борошно змішують з водою температурою 18-20 °С, у співвідношенні 1:3 і суспензують протягом 40 - 60 хв., поступово доводячи температуру до 58-60 °С, і додавши (приблизно на тридцятій хвилині) ферментний препарат і молочну кислоту.

Оцукрювання триває протягом 10-12 годин. Після цього наступає стадія інактивації ферменту при температурі 80-85 °С протягом часу 20-30 хв. Отриманий гідролізат містить вміст сухих речовин 22%. Для подальшого використання у виробництві рекомендується уварювати до вмісту сухих речовин 30-50%.

3.3 Дослідження впливу гарячої екструзійної обробки на ступінь гідролізу житнього борошна

Результати кількісного визначення крохмалю у водно-борошняній суспензії з вихідного борошна показали, наскільки він гідролізується під дією власних амілаз та ферментативного препарату протягом 24 годин (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Дослідження ступеня гідролізу крохмалю житнього вихідного борошна у водно-борошняній суміші

Час, год.	Кількість крохмалю, %	Ступінь гідролізу, %	Масова частка вологи, %
Гідроліз під впливом власних амілаз			
0	62,97	0	78,0
1	59,97	4,76	78,0

Продовження табл. 3.2

Час, год.	Кількість крохмалю, %	Ступінь гідролізу, %	Масова частка вологи, %
Гідроліз під дією ферментного препарату Глюковаморину Г20Х			
0	59,97	4,76	78,0
2	59,55	5,43	78,0
4	54,41	13,59	78,0
6	50,98	19,04	78,0
8	44,98	28,56	78,0
10	38,55	38,78	78,0
12	36,41	42,12	78,0
14	34,70	44,89	78,0
16	29,98	52,39	78,0
18	29,13	53,79	78,0
20	28,70	54,42	78,0
22	28,27	55,10	78,0
24	27,84	55,78	78,0

Після того, як водно-борошняна суспензія сформувалася, її витримують протягом години при 60°С для часткової деструкції крохмального комплексу.

Наступним етапом є ферментативний гідроліз за допомогою ферментного препарату Глюковаморину Г20Х протягом 24 годин.

Як очевидно з табл. 3.2, ступінь гідролізу житнього крохмалю під впливом власних амілаз становить 4,76 %. Наприкінці стадії оцукрювання ступінь гідролізу становить 55,78%.

Найменша ступінь гідролізу посідає 12 і 16 год. При цьому було з’ясовано, що власні амілази гідролізують крохмаль на 4-8%, причому їхня активність протягом часу падає.

Власні амілолітичні ферменти житнього борошна в результаті екструзійної обробки інактивовані. Тому при суспензуванні проходять лише процеси міцелоутворення. Причому, ґрунтуючись на даних кондуктометричного аналізу, стадія суспензування повинна проходити при температурі 20 - 22 ° С протягом 20-30 хв. Потім слідує стадія оцукрювання під дією ферментного препарату Глюковаморину Г20Х.

Таблиця 3.3 – Дослідження ступеня гідролізу крохмалю житнього екструдованого борошна у водно-борошняній суміші

Час, год.	Кількість крохмалю, %	Ступінь гідролізу, %	Масова частка вологи, %
Утворення водно-борошняної суспензії без дії амілаз			
0	28,275	0	75,0
1	28,275	0	75,0
Гідроліз суміші під дією ферменту Глюковамарину Г20Х			
0	28,275	0	75,0
2	19,227	32,0	75,0
4	13,195	53,3	75,0
6	11,687	58,67	75,0
8	7,54	73,33	75,0
10	4,52	84,01	75,0
12	0,754	97,33	75,0

Як бачимо з табл. 3.3 ступінь гідролізу крохмалю становить 32%. Другий пік спостерігається на 8 - 9 годині оцукрювання. Ступінь гідролізу 73,33%. До 12 годин оцукрювання ступінь гідролізу становить 97,33%.

Встановлено, що під впливом ферменту Глюковамарину Г20Х відбувається ефективний гідроліз крохмалю протягом різних часових інтервалів. Кількість крохмалю зменшується, що свідчить про здатність ферменту розщеплювати крохмаль на більш прості речовини.

Ступінь гідролізу, визначений у відсотках, збільшується протягом експерименту. Це свідчить про те, що фермент продовжує активно розщеплювати крохмаль з плином часу. Масова частка вологи залишається на стабільному рівні близько 75%. Це може вказувати на те, що зміни в гідролізі крохмалю не суттєво впливають на кількість води в системі.

Протягом експерименту можна визначити оптимальний час для досягнення певного ступеня гідролізу в залежності від конкретних вимог чи цілей дослідження.

В цілому, результати експерименту підтверджують здатність ферменту Глюковамарину Г20Х до ефективного гідролізу крохмалю, що може бути важливим для різноманітних застосувань, таких як харчова промисловість чи виробництво біопалива.

3.4 Дослідження використання гідролізату у виробництві борошняних кондитерських виробів

В теперішній час структура харчування українського населення не відповідає принципам здорового та збалансованого харчування. Неузгодженість харчової цінності борошняних кондитерських виробів пояснюється високим вмістом жирів та вуглеводів, а також низьким вмістом вітамінів, мінеральних речовин і харчових волокон.

Занадто велике споживання вуглеводів, зокрема сахарози, і тваринних жирів призводить до виникнення ожиріння і атеросклерозу, знижуючи загальну опірність організму. Рівень споживання цукру перевищує раціональні норми на 11%. Крім того, співвідношення білків, жирів і вуглеводів у фактичному раціоні (1:3,3:5,4) суттєво відрізняється від рекомендованого співвідношення (1:1:4). Ці дані вказують на необхідність переосмислення структури борошняних кондитерських виробів.

Поміж невирішених проблем, що виникають в умовах самовизначення України та її економічного суверенітету, виокремлюється питання

самозабезпечення продовольчими товарами. Цю проблему можна вирішити залученням нетрадиційних видів сировини, що дозволить збільшити обсяги виробництва та розширити асортимент продукції.

В сучасній кондитерській промисловості велика увага приділяється виробництву продуктів з підвищеною харчовою цінністю, які є найбільш збалансованими за вмістом білків, жирів та вуглеводів, особливо в контексті виробництва борошняних кондитерських виробів. Однією з напрямків вдосконалення рецептур є зменшення кількості цукру, використовуючи нетрадиційну сировину, близьку за вмістом вуглеводів до цукру та містить важливі компоненти для здоров'я людини. Одним із таких компонентів є гідролізат з екструдованого житнього борошна.

Житній гідролізат представляє собою в'язку суспензію темно-коричневого кольору із запашним ароматом хліба і легкими нотами карамелі, а також солодким житнім смаком.

Всі показники якості гідролізатів зведені до табл. 3.4, яка відображає позитивний вплив гарячої екструзійної обробки на якість і швидкість гідролізу житнього борошна. Це свідчить про те, що технологія гарячої екструзії сприяє поліпшенню характеристик гідролізатів, що може бути значущим фактором у виробництві високоякісних борошняних кондитерських виробів.

Таблиця 3.4 – Вплив екструзійної обробки на якість гідролізатів

Показники якості	Житній гідролізат	
	з вихідного борошна	з екструдованого борошна
Масова частка вологи, %	78,0	78,0
pH, од.	4,7-5,0	4,7-5,0
В'язкість (при 60 ° С), Па·с	1,48	0,06
Вміст крохмалю, % на СР	27,84	0,75
Масова частка редукуючих цукрів, % на СР	35,84	68,1

У табл. 3.5 представлений хімічний склад гідролізату з житнього екструдованого борошна.

Таблиця 3.5 – Хімічний склад гідролізату з екструдованого житнього борошна

Найменування	Вміст
Масова частка вологи, %	78,0
Ліпіди, % на СР	1,76
Білок, % на СР	10,8
Сахароза, % на СР	2,4
Глюкози, % на СР	68,1
Клітковина, % на СР	3,02
Зола, % на СР	1,86
Крохмаль, % на СР	0,75
Декстрини, % на СР	6,85
Мінеральні елементи, мг	2,13
Вітамін В1, мг	0,42
Вітамін В2, мг	0,15
Вітамін РР, мг	1,16

З табл. 3.5 видно, що найбільша частка до 80% посідає вуглеводи, вміст білка становить 10,8 % СР. Продукт має кислу реакцію, кількість сухих речовин 22%. Енергетична цінність 78 ккал.

При використанні житнього гідролізату в рецептурі борошняних кондитерських виробів сахароза замінюється моносахаридами, переважно глюкозою (68,1 % на СР), що дуже важливо для швидкого та якісного засвоєння продукту та введення його в харчовий раціон людям, хворих цукровим діабетом, атеросклерозом, ожирінням. Цьому також сприяє наявність харчових волокон (3,02% на СР), мінеральних речовин (2,13% на СР) та вітамінів.

Потрібно відзначити, що велика кількість білків (10,8% на СР), декстринів (6,85% на СР) і пентозанів і, внаслідок цього, велика в'язкість дозволяють замінювати патоку в рецептурах борошняних кондитерських виробів.

Наявність редукуючих цукрів (глюкози) та декстринів, близьких за молекулярною будовою до них підвищують гігроскопічність пряників та печива, позитивно впливаючи на продовження термінів зберігання.

Кисла реакція (pH = 4,7-5,0) сприяє зниженню лужності печива та поліпшенню смакових переваг готових виробів.

У табл. 3.6 представлені показники якості гідролізату з житнього екструдованого борошна в порівнянні зі звичайною патокою.

Таблиця 3.6 – Показники гідролізату з екструдованого житнього борошна в порівнянні зі звичайною патокою

Показники	Гідролізат з екструдованого борошна	Патока
Вміст редукуючих речовин, % на СР	68,1	52,7
Вміст сухих речовин, %	22,0	78,0
В'язкість за 60 °С, Па·с	0,065	1,0
Вміст золи, % на СР	1,86	0,3
Вміст білка, % на СР	10,8	0,3
Мінеральні речовини, % на СР	2,13	0,55
pH, од.	4,7 – 5,0	4,7-5,1

Наявність мінеральних речовин і вітамінів (В1, В2, РР) надає готовим виробам цінні харчові якості.

Аналізуючи табл. 3.6 видно, що за вмістом редукуючих цукрів і значенням pH гідролізат з екструдованого житнього борошна наближений до патоки. Значення вмісту золи, білка та мінеральних речовин гідролізату з

житнього екструдованого борошна в кілька разів перевищує значення патоки, що при внесенні в рецептури борошняних кондитерських виробів позитивно відбивається на підвищенні їхньої харчової цінності.

Таким чином, гідролізат з екструдованого житнього борошна за своїм хімічним складом виявляє великий інтерес для його використання в рецептурах борошняних кондитерських виробів.

В силу дозволу МОЗ України у застосуванні ферментативного препарату Глюкаваморину Г20Х у галузях харчової промисловості отриманий гідролізат із житнього екструдованого борошна є безпечним для здоров'я та життєдіяльності людини харчовим продуктом.

Висновки по розділу.

Встановлено, що найбільшим змінам під час гарячої екструзійної обробки піддається вуглеводно-амілазний комплекс житнього борошна. Кількість декстринів після гарячої екструзійної обробки склала 55,0 %. В результаті високих температур і тиску при гарячій екструзійній обробці відбувалася денатурація білка, але його кількість (11,1%) практично не змінилася.

Розроблено блок-схему отримання гідролізату з житнього екструдованого борошна, до складу якої входить наступні операції: зволоження, екструдування, розмел, суспензування, оцукрювання, інактивація. Отриманий гідролізат містить вміст сухих речовин 22%. Для подальшого використання у виробництві рекомендується уварювати до вмісту сухих речовин 30-50%.

Дослідження ступеня гідролізу крохмалю житнього вихідного борошна у водно-борошняній суміші показали, що ступінь гідролізу житнього крохмалю під впливом власних амілаз становить 4,76 %. Наприкінці стадії оцукрювання за 24 години ступінь гідролізу необробленого житнього борошна становить 55,78%.

При гідролізі крохмалю житнього екструдованого борошна виявлено, що ступінь гідролізу крохмалю становить 32%. Другий пік спостерігається на 8 - 9 годині оцукрювання. Ступінь гідролізу 73,33%. До 12 годин оцукрювання ступінь гідролізу становить 97,33%. Підтверджено здатність ферменту Глюковамарину Г20Х до ефективного гідролізу крохмалю.

При дослідженні хімічного складу гідролізату з екструдованого житнього борошна зафіксовано, що найбільша частка до 80% посідає вуглеводи, вміст білка становить 10,8 % СР. Продукт має кислу реакцію, кількість сухих речовин 22%. Енергетична цінність 78 ккал.

Встановлено, що при використанні житнього гідролізату в рецептурі борошняних кондитерських виробів сахароза замінюється моносахаридами, переважно глюкозою (68,1 % на СР), що дуже важливо для швидкого та якісного засвоєння продукту та введення його в харчовий раціон людям, хворих цукровим діабетом, атеросклерозом, ожирінням. Цьому також сприяє наявність харчових волокон (3,02% на СР), мінеральних речовин (2,13% на СР) та вітамінів.

Визначено, що велика кількість білків (10,8% на СР), декстринів (6,85% на СР) і пентозанів і, внаслідок цього, велика в'язкість дозволяють замінювати патоку в рецептурах борошняних кондитерських виробів. Кисла реакція (pH = 4,7-5,0) сприяє зниженню лужності печива та поліпшенню смакових переваг готових виробів.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Організація охорони праці при виробництві гідролізованого житнього борошна

Виробництво борошна включає в себе послідовні етапи очищення та обробки зерна, які виконуються на різних машинах, таких як зерноочисні, розмельні, просіювальні та вибійні. Між цими відділеннями встановлені зв'язки за допомогою пневматичних та самотічних транспортерів. «Кожен з цих процесів має свої ризиковані аспекти, які, якщо не дотримуватися правил техніки безпеки, можуть негативно позначитися на здоров'ї працівників» [75].

Під час експлуатації млина можуть виникати різні небезпечні фактори, такі як механічні ушкодження, вплив електричного струму та можливість вибухів. «Механічні ризики пов'язані з роботою машин та механізмів, що передають крутний момент, а також з ланцюговими, стрічковими та пасовими передачами» [75]. Важливо забезпечити адекватний захист цих небезпечних зон за допомогою спеціальних пристосувань.

Вплив електричного струму може виникнути через неполадки в електричній системі млина або неправильну експлуатацію електричних пристроїв. Для уникнення цього, необхідно систематично перевіряти стан електрообладнання та правильно використовувати системи заземлення.

Фактор вибуху може виникнути через збільшену концентрацію мучного пилу в приміщенні, перевищуючи граничні норми (6 $м^2/м^3$). «Для попередження можливості вибуху використовують вентиляційні системи, які допомагають у відведенні надлишкової пилу з приміщення» [75].

З метою запобігання нещасних випадків під час виконання робіт на машинах для виробництва борошна важливо, щоб «кожен керівник, спеціаліст і налагоджувальник дотримувався вимог техніки безпеки та вживав протипожежні заходи» [75]. Це включає в себе не лише знання цих вимог, але і їх відповідне виконання.

Для обслуговування машин, які використовуються в процесі виробництва борошна, допускаються особи старше 18 років незалежно від статі, які мають середню або середньотехнічну освіту. Важливо, щоб такі особи пройшли медичний огляд та не мали протипоказань до виконання відповідних завдань. Також «вони повинні успішно пройти ввідний інструктаж, отримати первинні навички на робочому місці та скласти іспит з охорони праці для підтвердження їхніх знань у цій області» [75].

Контроль за дотриманням правил охорони праці та порядку подання повідомлень про інциденти виробництва гідролізованого житнього борошна включає в себе систематичні та комплексні заходи для забезпечення безпеки працівників та вчасного реагування на можливі небезпеки.

Регулярне проведення внутрішніх аудитів та перевірок для визначення рівня дотримання правил охорони праці та виявлення потенційних ризиків. Забезпечення систематичного моніторингу робочих процесів з метою ідентифікації можливих порушень та їхньої виправлення. «Забезпечення регулярного проведення інструктажів щодо безпеки для всіх працівників цеху» [75]. Надання персоналу необхідних знань та навичок з правил безпеки при роботі з обладнанням та хімічними речовинами.

«Регулярна перевірка та технічний огляд обладнання для визначення можливих несправностей та їхнього негайного усунення. Впровадження системи технічного обслуговування для забезпечення безпеки робочого обладнання» [75].

Розроблення та регулярне практичне проведення тренувань з евакуації та дій в надзвичайних ситуаціях.

«Для ефективної організації системи охорони праці на підприємстві рекомендується використовувати різноманітні агітаційні та інструктивні матеріали, що стосуються питань безпеки праці» [75]. Таким чином, для підвищення рівня усвідомленості працівників цеху, який займається виробництвом гідролізованого житнього борошна, була створена спеціальна пам'ятка з охорони праці (див. рис. 4.1).

1. Правильне використання та обслуговування обладнання
- Перед початком роботи перевірте технічний стан усього обладнання та засобів автоматизації. - Дотримуйтеся інструкцій з експлуатації і технічного обслуговування
2. Захист від хімічних ризиків
- Вживайте заходів безпеки при роботі з хімічними речовинами, використовуваними в процесі гідролізу. - Забезпечте належне зберігання та маркування хімічних речовин.
3. Використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ)
- Забезпечте персонал необхідними ЗІЗ відповідно до характеру виробництва. - Здійснюйте регулярні перевірки та забезпечуйте правильне використання ЗІЗ.
4. Організація робочого місця
- Дотримуйтеся вимог до розміщення обладнання та матеріалів для запобігання травмам та аваріям. - Забезпечте належний вентиляційний режим та усунення можливих джерел пилу.
5. Електробезпека
- Стежте за тим, щоб всі електроустаткування було в справному стані. - Дотримуйтеся правил безпеки при роботі з електроінструментами та електрообладнанням.
6. Навчання та інструктажі
- Забезпечте персонал систематичними інструктажами та тренуваннями з питань безпеки виробництва. - Підтримуйте сталу свідомість щодо потенційних ризиків та правил безпеки.
7. Проведення регулярних аудитів безпеки
- Періодично здійснюйте перевірки стану обладнання, виконання правил безпеки та впровадження виробничих стандартів.
8. Евакуаційні та надзвичайні ситуації
- Розробіть та проводьте тренування щодо дій персоналу в разі пожежі, аварій та інших надзвичайних ситуацій. - Забезпечте легкий доступ до евакуаційних виходів та засобів пожежогасіння.
Контакти служб порятунку
101 Пожежна служба — **102** Національна поліція **103** Швидка медична допомога — **104** Аварійна газова служба

Рисунок 4.1 – Картка з охорони праці для працівників цеху з виробництва гідролізованого житнього борошна

4.2 Управління відходами при виробництві гідролізованого житнього борошна

Управління відходами при виробництві гідролізованого житнього борошна – це процес, який забезпечує відповідальне та екологічно безпечне видалення залишків та відходів, які виникають під час цього виробництва. Основна мета – уникнути негативного впливу на навколишнє середовище.

У цьому процесі важливо використовувати методи переробки та вторинного використання відходів. Наприклад, обробка залишків виробництва може включати їхнє використання в якості добрив або матеріалів для виробництва інших продуктів.

«Додатково, важливо регулярно оцінювати та вдосконалювати системи управління відходами, спрямовані на зменшення викидів та оптимізацію використання ресурсів. Такий підхід дозволяє забезпечити сталість та відповідність виробництва екологічним стандартам» [76].

Для уникнення негативного впливу на навколишнє середовище при виробництві гідролізованого житнього борошна, можна приймати ряд заходів:

- Зменшення втрат сировини шляхом впровадження технологій, що дозволяють отримати більше продукту з одиниці сировини.

- «Використання відходів виробництва як ресурсу для інших процесів або їхнє вторинне використання, таке як створення добрив або виробництво інших продуктів» [76].

- Застосування енергоефективних технологій та обладнання для зменшення споживання енергії під час виробництва.

- Використання систем очищення води та повітря для мінімізації викидів та витоків забруднюючих речовин.

- «Вибір безпечних для навколишнього середовища хімічних речовин та заміна шкідливих речовин більш екологічно чистими аналогами.

- Розробка та впровадження ефективної стратегії управління відходами, включаючи їхню переробку та використання» [76].

- Встановлення систем моніторингу та контролю за викидами забруднюючих речовин в атмосферу та водойми.

- «Отримання сертифікатів та відповідність екологічним стандартам у виробництві гідролізованого житнього борошна» [76].

Ці заходи допоможуть зменшити вплив виробництва на довкілля та сприяють сталому виробництву.

Висновки по розділу.

В розділі проаналізовано стан охорони праці під час виробництва гідролізованого житнього борошна. Для підвищення рівня усвідомленості працівників цеху, який займається виробництвом гідролізованого житнього борошна, було розроблено спеціальну карту з охорони праці

Управління відходами при виробництві гідролізованого житнього борошна – це процес, який забезпечує відповідальне та екологічно безпечне видалення залишків та відходів, які виникають під час цього виробництва.

5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Організація досліджень

5.1.1. План проведення дослідження

План проведення дослідження з обґрунтування процесу виробництва гідролізованого житнього борошна наведено в табл.5.1.

Таблиця 5.1 – План проведення дослідження

Шифр робіт i-j	Найменування робіт	Тривалість робіт t_{ij}, (дні)
1-2	Вибір теми наукового дослідження	2
2-3	Аналітичний огляд літератури	15
3-4	Розробка плану роботи над дослідження та виконання експериментальної частини	3
4-5	Характеристика об’єктів та методів дослідження	3
5-6	Визначення впливу гарячої екструзійної обробки на зміну якості та хімічного складу житнього борошна	10
6-7	Розробка способу приготування гідролізату з житнього екструдованого борошна	10
7-8	Дослідження впливу гарячої екструзійної обробки на ступінь гідролізу житнього борошна	10
8-9	Дослідження можливості використання гідролізату у виробництві борошняних кондитерських виробів	5
7-10	Аналіз отриманих результатів (побудова та опис таблиць, графіків та ін.)	1
8-10		1
9-10		1
10-11	Формулювання висновків по роботі на основі результатів	5
11-12	Складання демонстраційного матеріалу для оприлюднення результатів дослідження	4

5.1.2 Побудова сітьового графіка

Відповідно до плану проведення дослідження було побудовано «сітьовий графік (рис.5.1) – графічна модель комплексу робіт, у якій точно до деталей визначається логічний взаємозв'язок між ними» [77].

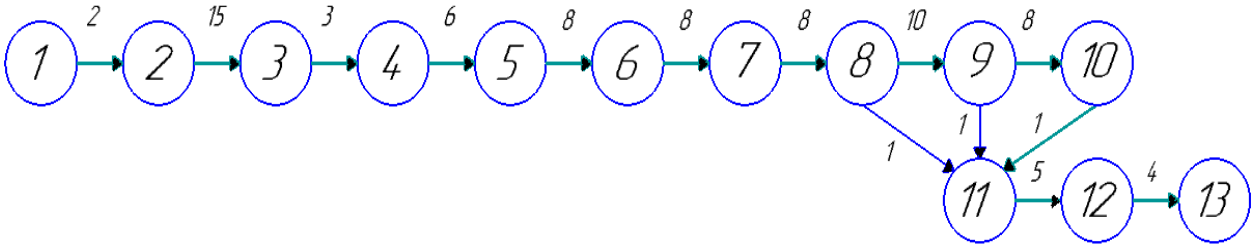

Рисунок 5.1 – Сітьовий графік проведення дослідження

Тривалість виконання (t_{ij}) всього комплексу робіт визначається для планування, оптимізації та управління виконанням процесу:

$L^1_{1\text{-}2\text{-}3\text{-}4\text{-}5\text{-}6\text{-}7\text{-}8\text{-}9\text{-}10\text{-}11\text{-}12}$=2+15+3+3+10+10+10+5+1+5+4=68 днів;

$L^2_{1\text{-}2\text{-}3\text{-}4\text{-}5\text{-}6\text{-}7\text{-}8\text{-}9\text{-}11\text{-}12}$=2+15+3+3+10+10+10+1+5+4=63 днів;

$L^3_{1\text{-}2\text{-}3\text{-}4\text{-}5\text{-}6\text{-}7\text{-}8\text{-}11\text{-}12}$=2+15+3+3+10+10+1+5+4=53 днів.

У даному випадку критичними є перший шлях, тобто $L_{кр}= L^1_{1\text{-}2\text{-}3\text{-}4\text{-}5\text{-}6\text{-}7\text{-}8\text{-}9\text{-}10\text{-}11\text{-}12}$.

Далі розраховуємо параметри сітьової моделі:

- «ранній термін здійснення події ($T_i{}^p$) – це найбільший шлях від початкової події до *i*-тої.

- пізній термін здійснення події ($T_i{}^n$) – це різниця між критичним шляхом і максимальним шляхом від даної події до кінцевої» [77].

Резерв шляху розраховується за формулою (5.1):

$$R_I = T_i^n - T_i^p \qquad (5.1)$$

де R_I – резерв шляху;

$T_i{}^n$ – пізній термін здійснення події;

$T_i{}^p$ – ранній термін здійснення події.

Отримані дані розрахунку наведені в табл.5.2.

Таблиця 5.2 – Терміни здійснення подій (ранній і пізній) і резерв шляху

Номер події	$T_i^{р}$, дні	$T_i^{п}$, дні	R_I, дні
1	0	0	0
2	2	2	0
3	17	17	0
4	20	20	0
5	23	23	0
6	33	33	0
7	43	43	0
8	53	53	0
9	58	58	0
10	59	59	0
11	64	64	0
12	68	68	0

Далі визначаються резерви часу:

а) повний резерв часу роботи ($R_{ij}^{п}$):

$$R_{ij}^{п} = T_j^{п} - T_i^{п} - t_{ij}, \tag{5.2}$$

де t_{ij} – тривалість роботи.

б) вільний резерв часу роботи ($R_{ij}^{в}$):

$$R_{ij}^{в} = T_j^{р} - T_i^{р} - t_{ij}, \tag{5.3}$$

Коефіцієнт напруженості робіт ($K_{ij}^{н}$) визначається по формулі (5.4):

$$K_{ij}^{н} = \frac{L_{\max ij} - t_{ij}}{L_{кр} - t_{ij}}, \tag{5.4}$$

де $L_{max,ij}$ – довжина максимального шляху, що проходить через дану роботу;

L_{Kp} – критичний шлях.

Результати розрахунку всіх робіт заносимо в табл.5.3.

Таблиця 5.3 – Результати розрахунку вільного, повного резервів та коефіцієнту напруженості

Шифр робіт, i-j	Вільний резерв, $R_{ij}^{в}$, (дні)	Повний резерв, $R_{ij}^{п}$, (дні)	Коефіцієнт напруженості
1-2	0	0	0,00
2-3	0	0	0,04
3-4	0	0	0,26
4-5	0	0	0,31
5-6	0	0	0,40
6-7	0	0	0,57
7-8	0	0	0,74
8-9	0	0	0,84
7-10	15	15	0,64
8-10	5	5	0,79
9-10	0	0	0,87
10-11	0	0	0,94
11-12	0	0	1,00

Аналіз даних у таблицях 5.2 та 5.3 показує, що критичний шлях займає 68 днів. Така тривалість критичного шляху не перевищує встановлений термін для завершення робіт з дослідження обґрунтування технології гідролізованого житнього борошна для виробництва борошняних кондитерських виробів. Таким чином, можна вважати, що розроблений мережевий графік є оптимальним і його можна рекомендувати для затвердження та виконання.

5.1.3 Витрати, пов'язані з проведенням дослідження

«До витрат, які пов'язані з проведенням дослідження відносяться: витрати на основні матеріали, електроенергію, нарахування на заробітну плату, амортизацію, накладні витрати» [77].

Розраховуємо витрати на основні матеріали (5.5):

$$M = \sum m_i \cdot Ц_i, \quad (5.5)$$

де m_i – кількість витраченого і-го матеріалу;

$Ц_i$ – ціна одиниці і-го матеріалу, грн.

Результати розрахунків зводяться в табл.5.4.

Таблиця 5.4 – Необхідна кількість матеріалів та їх вартість

Найменування матеріалу, одиниці	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Борошно житнє оббивне, кг	10,0	19,00	190,00
Борошно пшеничне в/с, кг	1,0	14,90	14,90
Ферментний препарат глюковаморин Г20Х, уп.	2	77,00	154,00
Молочна кислота 40%, л	0,1	250,00	25,00
Всього			383,90

Розрахунки заробітної плати зводяться в табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Розрахунок витрат на заробітну плату

Посада	Середньо-місячний заробіток, грн	Середньо-годинний заробіток,грн	Кількість людино-годин	Сума, грн
Дипломний керівник	10000	70,00	15	1050,0
Всього				1050,0

Нарахування на заробітну плату приймаються у розмірі 22 % єдиного соціального внеску. Від загальної суми заробітної платні вони складають:

$$H = \frac{1050 \cdot 22}{100} = 231,00 \text{ грн.}$$

Затрати на витрачену електроенергію визначаються по формулі (5.6):

$$E = M \cdot K \cdot T \cdot a \ , \qquad (5.6)$$

де M – потужність встановленого електрообладнання, кВт;

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

T – час роботи на обладнанні, год;

a – тариф за електроенергію (за 1 кВт), грн/(кВт/год.).

$$E_{ел.піч} = 2,0 \cdot 0,9 \cdot 24 \cdot 2,64 = 114,05 \text{ грн;}$$

$$E_{ваг} = 0,8 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 2,64 = 63,36 \text{ грн;}$$

$$E_{заг} = E_{ел.піч} + E_{ваг} = 114,05 + 63,36 = 177,41 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію обладнання, яке використовується в процесі проведення досліджень, розраховуються за допомогою формули (5.7):

$$A = \frac{Ф \cdot H \cdot t}{100 \cdot 365}, \qquad (5.7)$$

де A – амортизаційні відрахування, грн.

$Ф$ – вартість устаткування, грн.;

H – річна норма амортизації, *%;*

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

365 – кількість днів у році.

$$A_{ел.піч} = \frac{3000 \cdot 20 \cdot 1}{100 \cdot 365} = 1,64 \text{ грн;}$$

$$A_{ваг} = \frac{4500 \cdot 12,5 \cdot 1}{100 \cdot 365} = 1,54 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків витрат на амортизацію наведено в табл.5.6.

Таблиця 5.6 – Результати розрахунків витрат на амортизацію

Устаткування	Вартість, грн	Річна норма амортизації, %	Час роботи, днів	Витрати на амортизацію, грн
Електрична піч	3000	20	1	1,64
Ваги лабораторні	4500	12,5	1	1,54
Всього				3,18

Накладні витрати приймаються на рівні 80% від нарахованої заробітної платні виконавців дослідження:

$$НВ = \frac{1050 \cdot 80}{100} = 840,00 \text{ грн.}$$

Результати розрахунку всіх витрат на проведення наукового дипломного дослідження зводимо в табл.5.7.

Таблиця 5.7 – Кошторис витрат на проведення дослідження

Витрати	Сума, грн
Основні матеріали	383,90
Заробітна плата	1050,00
Нарахування на заробітну плату	231,00
Електроенергія	177,41
Амортизація	3,18
Накладні витрати	840,00
Всього	2685,49

Як видно з табл. 5.7, найбільшими статтями витрат під час проведення даного дослідження є витрати на заробітну плату, які складають 39,0 % від загальної суми витрат. Найменші витрати під час проведення дослідження були пов'язані з амортизацією використаного обладнання, і склали 0,1% від загальної суми витрат.

5.2 Розрахунок ціни дослідження

«Науково-дослідна робота відноситься до фундаментальних досліджень, тому ціна визначається на основі витрат на дослідження та рентабельності, згідно формули (5.8)» [77]:

$$Ц = C + \frac{P \cdot C}{100}, \tag{5.8}$$

де $Ц$ – ціна дослідження, грн.;

C – витрати на дослідження, грн.;

P – нормативна рентабельність (Р = 30%).

Таким чином:

$$Ц = 2685,49 + \frac{30 \cdot 2685,49}{100} = 3491,14 \text{ грн.}$$

Отже, вартість проведеного дослідження становить 3491,14 грн.

Висновки по розділу.

Аналіз даних у таблицях 5.2 та 5.3 показує, що критичний шлях займає 68 днів. Така тривалість критичного шляху не перевищує встановлений термін для завершення робіт з дослідження обґрунтування технології гідролізованого житнього борошна для виробництва борошняних кондитерських виробів і його можна рекомендувати для затвердження та виконання.

Найбільшими статтями витрат під час проведення даного дослідження є витрати на заробітну плату, які складають 39,0 % від загальної суми витрат. Найменші витрати під час проведення дослідження були пов’язані з амортизацією використаного обладнання, і склали 0,1% від загальної суми витрат. Загалом, з урахуванням 30% нормативної рентабельності вартість проведеного дослідження становить 8416,03 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Один із таких перспективних продуктів, що містять крохмаль – це жито. Продукти з жита, які містять цукор і отримані через ферментативний гідроліз, можуть бути використані в різних галузях харчової промисловості як заміна бурякового цукру, патоки та іншим продуктам.

Існує відомий метод отримання цукровмісного продукту з некондиційного борошна зерна жита. Для більшої ефективності виробництва продуктів, що містять цукор, шляхом гідролізу житнього борошна, доцільно включити його попередню екструзійну обробку.

Встановлено, що найбільшим змінам під час гарячої екструзійної обробки піддається вуглеводно-амілазний комплекс житнього борошна. Кількість декстринів після гарячої екструзійної обробки склала 55,0 %. В результаті високих температур і тиску при гарячій екструзійній обробці відбувалася денатурація білка, але його кількість (11,1%) практично не змінилася.

Розроблено блок-схему отримання гідролізату з житнього екструдованого борошна, до складу якої входить наступні операції: зволоження, екструдування, розмел, суспензування, оцукрювання, інактивація. Отриманий гідролізат містить вміст сухих речовин 22%. Для подальшого використання у виробництві рекомендується уварювати до вмісту сухих речовин 30-50%.

Дослідження ступеня гідролізу крохмалю житнього вихідного борошна у водно-борошняній суміші показали, що ступінь гідролізу житнього крохмалю під впливом власних амілаз становить 4,76 %. Наприкінці стадії оцукрювання за 24 години ступінь гідролізу необробленого житнього борошна становить 55,78%.

При гідролізі крохмалю житнього екструдованого борошна виявлено, що ступінь гідролізу крохмалю становить 32%. Другий пік спостерігається на 8 - 9 годині оцукрювання. Ступінь гідролізу 73,33%. До 12 годин оцукрювання

ступінь гідролізу становить 97,33%. Підтверджено здатність ферменту Глюковамарину Г20Х до ефективного гідролізу крохмалю.

При дослідженні хімічного складу гідролізату з екструдованого житнього борошна зафіксовано, що найбільша частка до 80% посідає вуглеводи, вміст білка становить 10,8 % СР. Продукт має кислу реакцію, кількість сухих речовин 22%. Енергетична цінність 78 ккал.

Встановлено, що при використанні житнього гідролізату в рецептурі борошняних кондитерських виробів сахароза замінюється моносахаридами, переважно глюкозою (68,1 % на СР), що дуже важливо для швидкого та якісного засвоєння продукту та введення його в харчовий раціон людям, хворих цукровим діабетом, атеросклерозом, ожирінням.

Для підвищення рівня усвідомленості працівників цеху, який займається виробництвом гідролізованого житнього борошна, було розроблено спеціальну карту з охорони праці

Управління відходами при виробництві гідролізованого житнього борошна – це процес, який забезпечує відповідальне та екологічно безпечне видалення залишків та відходів, які виникають під час цього виробництва

Найбільшими статтями витрат під час проведення даного дослідження є витрати на заробітну плату, які складають 39,0 % від загальної суми витрат. Найменші витрати під час проведення дослідження були пов’язані з амортизацією використаного обладнання, і склали 0,1% від загальної суми витрат. Загалом, з урахуванням 30% нормативної рентабельності вартість проведеного дослідження становить 8416,03 грн

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Єгоров, Д. К. Нові селекційні розробки як фактор збільшення виробництва зерна жита озимого. *Селекція і насінництво* 95 (2008): 55-64.

2. Моргун В.О. Кількісно-якісні показники муки обдирного 87 % - ного помелу зерна жита / В.О. Моргун, Л.Я. Ковтун // Зернові продукти та комбікорми. 2007. №2. С.22-24.

3. Пшенишнюк Г. Ф., Битка М. В. Битка. Вплив зерна жита на біотехнологічні властивості тіста та якість хліба. *Харчова наука і технологія* 1 (2014): 48.

4. Ткаченко, Л. Ю. Врожайність та якість зерна жита озимого залежно від системи захисту рослин. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво* 54 (1) (2012): 69-73.

5. Моргун В.О. Підвищення загального виходу муки 87%-ного помелу жита / В.О. Моргун, Л.Я. Ковтун // Хранение и переработка зерна. 2007. №10. С. 25-26.

6. Каленський, В. П., Матвієнко А. І. Якість зерна озимих зернових культур залежно від сортових особливостей та системи живлення. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків* 17 (1) (2013): 132-136.

7. Моргун В.О. Жито можна молоти за особливою технологічною схемою із загальним виходом борошна до 92 % / В.О. Моргун, Л.Я. Ковтун // Зерно і хліб. 2007. №4. С.26.

8. Моргун В.О. Розробка нового сорту житнього борошна / В.О. Моргун, Л.Я. Ковтун // Наук. пр. ОНАХТ. Вип. 31. Т.2. Одеса: ОНАХТ, 2008. С. 36-39.

9. Любич, В. В., В. В. Желєзна, Я. С. Стратуца. Перспективи використання тритикале в хлібопекарській промисловості. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки* 3 (2022): 133-143.

10. Моргун В.О. Житнє борошно підвищеного виходу з попереднім подрібненням / В.О. Моргун, Л.Я. Ковтун // Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. 2009. № 3. С.14-16.

11. Кондратюк, Д., В. Петренко. Технологічні передумови екструдування зернових матеріалів. *Матеріали XVIII наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя* (2014): 29-29.

12. Максименко, А. Вплив процесу солодорощення на вуглеводно-амілазнний комплекс зерна жита та зерна вівса як сировини для виробництва продуктів дитячого харчування / Анастасія Максименко, Інна Зінченко // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті : програма і матеріали 80 міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 10–11 квітня 2014 р. К.: НУХТ, 2014. Ч. 1. С. 222-223.

13. Мостова Л. М. Технологічні функції та перспективи використання декстринів крохмалю пророщених зернових при виробництві емульсійних десертів / Л. М. Мостова, О. О. Грінченко // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ" : сб. науч. тр. Темат. вып. : Химия, химическая технология и экология. Харків : НТУ "ХПИ", 2006. № 13. С. 54-58.

14. Єгоров, Д., О. Змієвська. Жито озиме як джерело сировини для виробництва біоетанолу. *Вісник аграрної науки* 97.6 (2019): 46-51.

15. Мостова, Л. М., В. О. Гапоненко. Динаміка гідролітичних процесів під час пророщування жита. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі* 1 (2010): 408-414.

16. Бойко, М. І. Розроблення технологічних режимів і визначення оптимальних параметрів приготування зерна із тритікале / М. І. Бойко, В. Л. Прибильський, М. В. Бондар // Хранение и переработка зерна. 2012. № 5 (155). С. 45–47.

17. Інноваційні напрями розвитку харчових технологій : колективна монографія [Електронний ресурс] / за загальн. ред. канд. техн. наук, доц. Н. А.

Нагурної ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. Черкаси: ЧДТУ, 2020. 154 с.

18. Шиян П. Л., Сосницький В. В., Олійнічук С. Т. Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика. Київ: ВД «Асканія», 2009. С. 424.

19. Технологія спирту: підручник для студ. вищих навч. закл. / В. О. Маринченко та ін.; під ред. В. О. Маринченка. Вінниця: Поділля– 2000, 2003. 496 с.

20. Глускіна, Т. С. Дослідження ферментативного гідролізу біополімерів жита у спиртовому виробництві / Т. С. Глускіна, Л. В. Левандовський, Т. О. Мудрак // Вісник аграрної науки. 2011. № 3.С.47-50.

21. Українець А., Шиян П., Мудрак Т., Кириленко Р., Єрмакова Г., Сосницький В., Боровик І. Зброджування висококонцентрованого сусла з крохмалевмісної сировини // Харчова та переробна промисловість. 2009. № 6. С. 19-22.

22. Kovaliova O., Pivovarov O., Koshulko V. Study of hydrothermal treatment of dried malt with plasmochemically activated aqueous solutions // Food science and 59 technology. 2020. Vol. 14, Issue 3. P. 113-121 DOI: https://doi.org/10.15673/fst.v14i3.1799.

23. Дослідження підготовки вуглеводів сировини / В. Ковбаса, О. Кобилінська, В. Терлецька, О. Ромашко, О. Сторожук // Харч, і перероб. пром. 2000. – № 8–9. Р. 14–15.

24. Зміни вуглеводного комплексу зернових у процесі екструзії / В.М. Ковбаса, Н.Г. Миронова, Н.Г. Шаповал Н.Г. // Вісн. аграр. науки. 1997. № 3. С. 55–57.

25. Pivovarov O., Kovaliova O. Features of grain germination with the use of aqueous solutions of fruit acids // Food Science and Technology. 2019. Volume 13 Issue 1. P.83-89. DOI: http://dx.doi.org/ 10.15673/fst.v13i1.1334

26. Глускіна, Т. С., Л. В. Левандовський, О. С. Гайдарджи. Енергоощадна технологія спирту із зерна. *Редакційна колегія* (2011): 112.

27. Півоваров, О. А. Вплив плазмохімічно обробленої води на процес Рощення житнього солоду і його якісні показники. *Харчова наука і технологія* 3 (2013): 82-86.

28. Kurylenko, A. O., O. B. Kuchmenko. Вплив передпосівної обробки насіння на амілазну активність, вміст вуглеводів і білків в зерні жита озимого. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The series: Agronomy and Biology* 48.2 (2022): 105-110.

29. Олійнічук, С., Н. Процан, Л. Ткаченко. "Вплив технологічних факторів на в'язкість житнього сусла." *Продовольчі ресурси* 5.09 (2017): 244-248.

30. Мукоїд, Роман Миколайович, et al. "Спосіб отримання біологічно активного продукту «Прозер житній»(Патент на корисну модель№ 18764)." (2006).

31. Технологія солоду, пива та безалкогольних напоїв у задачах і прикладах: навч. посіб. / А.Є. Мелетьєв та ін. ; під ред. А.Є. Мелетьєва. Київ: НУХТ, 2007. 256 с

32. Процан, Н.В., Ткаченко Л.В.. Активація ферментів під час розварювання житніх замісів підвищеної концентрації. *Технічні науки та технології* 1 (19) (2020): 241-249.

33. Технологія солоду та пива: підручник для студ. вищих закл. освіти, що навч. за спец. «Технологія бродильних виробництв і виноробства» / В. А. Домарецький. К. : Урожай, 1999. 542 с.: рис.

34. Півоваров О.А., Ковальова О.С. Сучасні методи інтенсифікації солодорощення: монографія // О.А. Півоваров, О.С. Ковальова. Дніпро: ДВНЗ УДХТУ, 2020. 242 с.

35. Левандовський, Л. В. Екологізація виробництва спирту із зерна / Л. В. Левандовський, А. П. Михайлів, С. Т. Олійнічук // Наукові праці НУХТ. 2005. № 16.

36. Heiniq W., Einenckel J., Werther H. Energieeinsparung durch Rückführung von Getrideschlempe in den Maischprozeβ // Lebensmittelindustrie. - 1986. - №5 (33).

37. Кириленко, Р. Г. Удосконалення енерго- та ресурсозберігаючої технології спиртової бражки з крохмалевмісної сировини : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.07 "Технологія продуктів бродіння" / Кириленко Роман Григорович ; НУХТ. К., 2007. 19 с.

38. Технологічні комплекси харчових виробництв : навчальний посібник / В. І. Теличкун, О. М. Гавва, Ю. С. Теличкун, О. О. Губеня, М. Г. Десик, О. М. Чепелюк. Київ : Видавництво «Сталь», 2017. 456 с.

39. Вплив мультиензимного комплексу ферментних препаратів на біоконверсію біополімерів в спиртовому виробництві / П. Л. Шиян, Т. О. Мудрак, П. М. Бойко, Г. В. Єрмакова // 2012.

40. Домарецький В.А., Куц А.М., Шевченко О.Ю. Біологічні та фізико-хімічні основи харчових технологій. Київ: «Фенікс», 2011. 696 с.

41. Мелетьєв А.Є., Тодосійчук С.Р., Кошова В.М. Технохімічний контроль виробництва солоду, пива і безалкогольних напоїв: підруч. / за ред. А.Є. Мелетьєва. Вінниця: Нова Книга, 2007. 392 с.

42. Bamforth C-W. Beer: tap into the art and science of brewing. New York: Oxford University Press, 2003. 233 p. (ISBN 0-19-515479-7).

43. Новіков В., Сидоров Ю., Швед О. Тенденції розвитку комерційної біотехнології // Вісн. НАН України. 2008. № 2. С. 25-39.

44. Біотехнологічні розробки та впроваджені технології // Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України. http://www.imv.kiev.ua/ index. php/uk/

45. Kumar J.P. Production of industrially important enzymes by some actinomycetes producing antifungial components / J.P. Kumar, J. Richa, P.C. Jain // Hindustan Antibiot. Bull. 2003-2004. V. 45-46. P. 29-33.

46. Salazar O. Enzymatic lysis of microbial cells / O. Salazar, J. Asenjo // Biotechnology letters. 2007. V. 29, № 7. P. 985-994.

47. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напряму підготовки 0929 «Біотехнологія» - «Загальна біотехнологія». У 2-х ч. / Уклад. Т.С. Тодосійчук, І.Р. Клечак, Л.П. Дзигун, М.А. Григор'єва. Київ НТУУ «КПІ». 2006.

48. Mala B. Molecular and Biotechnological aspects of microbial proteases / B. Mala, M. Aparna, S. Mohini [et al.] // Microb. and Molec. Biology Reviews. 1998. V. 62, № 3. - P. 597-635.

49. Hash H. Purification and properties of staphylolytic enzymes from Chalaropsis sp. // From the Biochemical Research Section, Lederle Laboratories Division: New York, USA. 2004. P. 83.

50. Курченко І.М. Вивчення наявності деяких гідролітичних окисновідновних ферментів у штамів Fusarium oxysporum (Schlecht.) Snyd. Et Hans., ізольованих з різних місцеперебувань / І.М. Курченко, Н.М. Жданова, О.В. Соколова // Мікробіологічний журнал. 2001. Т. 63, № 5. С. 34-43.

51. Паньків, Н. О. Ферментативний гідроліз крохмалю. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки* 5 (2014): 86-89.

52. Дехтяренко Н.В. Виробництво ферментних препаратів в Україні / Н.В. Дехтяренко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». 2013. № 3. С. 48–58.

53. Бліщ Р.О. Вплив кавітації на активність ферментних препаратів спиртового виробництва / Р.О. Бліщ, А.М. Лудин, С.Р. Мельник, В.О. Маринченко // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". 2003. № 488. С. 140–143.

54. Романова З.М. Вплив лазерного опромінення на активацію ферментів солоду при отриманні пивного сусла / З.М. Романова, В.С. Зубченко, М.В. Карпутіна, Р.М. Подаєв // Харчова промисловість. 2010. № 9. С. 20–22.

55. Fujii M. Synergism of α-amylase and glucoamylase on hydrolysis of native starch granules / M. Fujii, T. Homma, M. Taniguchi // Biotechnology and Bioengineering. 1988. Vol. 32, Issue 7. P. 910–915.

56. Паляниця Л. Я. Активація ферментного препарату Amylex 4T / Л.Я. Паляниця, Н.І. Березовська, Р.Б. Косів, Н.О. Паньків // Молодий вчений. 2014. № 7. С. 11–13.

57. Препарати ферментні для спиртового виробництва. Методи визначення амілолітичної активності: СОУ 15.9-37-241:2005 // Стандарт організацій Мінагрополітики України. Укрaгростандартсертифікація. 2006. 26 с.

58. Verwimp Tiny Isolation and characterisation of rye starch. *Journal of cereal science* 39.1 (2004): 85-90.

59. Gomand, S. V. Structural and physicochemical characterisation of rye starch. *Carbohydrate research* 346.17 (2011): 2727-2735.

60. Schierbaum Friedrich. Studies on rye starch properties and modification. Part I: Composition and properties of rye starch granules. *Starch-Stärke* 43.9 (1991): 331-339.

61. Mihhalevski Anna. Structural changes of starch during baking and staling of rye bread. *Journal of agricultural and food chemistry* 60.34 (2012): 8492-8500.

62. Radosta, S., Kettlitz, B., Schierbaum, F., & Gernat, C. Studies on rye starch properties and modification. Part II: Swelling and solubility behaviour of rye starch granules. *Starch-Stärke*, *44*(1), 1992. 8-14.

63. Buksa Krzysztof. Extraction and characterization of rye grain starch and its susceptibility to resistant starch formation. *Carbohydrate polymers* 194 (2018): 184-192.

64. Buksa, K., Nowotna, A., Praznik, W., Gambuś, H., Ziobro, R., & Krawontka, J. The role of pentosans and starch in baking of wholemeal rye bread. *Food Research International*, *43*(8), 2010. 2045-2051.

65. Nguyen, S. N., Drawbridge, P., & Beta, T. Resistant Starch in Wheat-, Barley-, Rye-, and Oat-Based Foods: A Review. *Starch-Stärke*, *75*(9-10), 2023. 2100251.

66. Bederska-Łojewska, D., Świątkiewicz, S., Arczewska-Włosek, A., & Schwarz, T. Rye non-starch polysaccharides: their impact on poultry intestinal physiology, nutrients digestibility and performance indices–a review. *Annals of Animal Science*, *17*(2), 2017. 351-369.

67. Autio, Karin, and Ann-Charlotte Eliasson. Rye starch. *Starch*. Academic Press, 2009. 579-587.

68. Міждержавний стандарт 46.004-99 «Борошно пшеничне. Технічні умови». К. : Держспоживстандарт України, 2006. 14 с.

69. Національний стандарт ISO 6820:2004. Борошно пшеничне та житнє. Загальні настанови щодо розроблення хлібопекарських випробувань (ISO 6820-1985, IDT) / Л... Гуленко (пер.і наук.-техн.ред.). - Офіц. вид - К. : Держспоживстандарт України, 2006. - IV, 6с.

70. Батуріна А. П. Експертиза товарів: навч. посібн. [для студ. вищ. навч. закл.] / А. П. Батуріна, І. В. Ємченко. К. : Центр навчальної літератури, 2004. 320 с.

71. Бабюк А.В. Безпека харчування: сучасні проблеми./ О.В.Макарова, Л.В. Рогозинський, О.Є Федорова. Посібник-довідник. Чернівці: Книги ЧЧІ, К.: 2005. 456с

72. Домарецький В. А. Технологія харчових продуктів: підруч. / В. А. Домарецький, А. І. Українець. Київ: НУХТ, 2003. 768 с.

73. Назаренко В. О., Юдічева О. П., Жук В. А. Формування якості товарів. Частина 1. Навчальний посібник. К.: Центр учбової літератури, 2012. – 386 с.

74. Основи фізіології харчування : підручник / Н. В. Дуденко, Л.Ф. Павлоцька, В. С. Артеменко, М. В. Кривоносов, І. С. Кратенко. Х. :Торнадо, 2003. 407 с.

75. Одарченко М.С. Основи охорони праці: підручник. Х.: СтильІздат, 2017. 334 с.

76. Нікітченко О. Ю. Конспект лекцій з дисципліни “Промислова екологія” (для студентів 3 курсу денної форми навчання за напрямом

підготовки 6.170202 “Охорона праці”). Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. Х.: ХНАМГ, 2013. 164 с.

77. 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.