

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Донецький національний університет економіки і торгівлі  
імені Михайла Туган-Барановського  
Навчально-науковий інститут ресторанно-готельного бізнесу та туризму  
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

ДОПУСКАЮ ДО ЗАХИСТУ  
Гарант освітньої програми  
«Обладнання переробної і харчової  
промисловості»  
Цвіркун Л.О.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**  
на здобуття ступеня вищої освіти «Бакалавр»  
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»  
за освітньою програмою «Обладнання переробної і харчової промисловості»

на тему: **«УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ**  
**ВИГОТОВЛЕННЯ МАКАРОННИХ ВИРОБІВ»**

Виконав:

здобувач вищої освіти Шамрієнко Богдан Володимирович \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Керівник:

доцент, к.т.н., доцент, Омельченко О.В. \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у кваліфікаційній  
роботі немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_  
(підпис)

Кривий Ріг  
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТОРГІВЛІ  
ІМЕНІ МИХАЙЛА ТУГАН-БАРАНОВСЬКОГО

Навчально-науковий інститут ресторанно-готельного бізнесу та туризму  
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

Форма здобуття вищої освіти денна

Ступінь бакалавр

Галузь знань Механічна інженерія

Освітня програма Обладнання переробної і харчової промисловості

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Гарант освітньої програми «Обладнання переробної і харчової промисловості»

Цвіркун Л.О.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 року

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Шамрієнку Богдану Володимировичу  
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Удосконалення процесу та обладнання для виготовлення макаронних виробів»

Керівник роботи к.т.н., доцент, Омельченко О.В.  
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Затверджено: наказом першого проректора ДонНУЕТ імені Михайла Туган-Барановського від « 15 » листопада 2023 р. № 353-с.

2. Строк подання здобувачем ВО роботи « 03 » червня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Технічна документація до устаткування.  
2. Монографії, наукові статті, автореферати дисертацій, тези доповідей на наукові конференції.

3. Навчальна і методична література, інформація мережі Інтернет.

4. Зміст пояснювальної записки:

1. Вступ.
2. Аналіз технологічного процесу для виготовлення макаронних виробів.
3. Удосконалення обладнання для виготовлення макаронних виробів.
4. Аналіз результатів досліджень.
5. Висновки.

6. Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Схема гвинтової геометрії.

Моделювання швидкості руху сировини всередині екструдера для макаронних виробів.

Дослідження якісних параметрів спагеті.

6. Дата видачі завдання «17» листопада 2023 р.

7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Вступ	31.01.2024-15.02.2024
2	Аналіз технологічного процесу для виготовлення макаронних виробів	16.12.2024-10.03.2024
3	Удосконалення обладнання для виготовлення макаронних виробів	11.03.2024-15.04.2024
4	Аналіз результатів досліджень	16.04.2024-30.04.2024
5	Висновки по роботі	01.05.2024-12.05.2024
6	Оформлення роботи і подання до захисту	16.05.2024-03.06.2024

Здобувач вищої освіти

\_\_\_\_\_

(підпис)

Шамрієнко Б.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

Омельченко О.В.

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Обсяг і структура бакалаврської роботи. Повний обсяг бакалаврської роботи – 52 сторінки, в тому числі основного тексту – 42 сторінки. Робота містить 24 рисунки, 2 таблиці. Список використаних джерел складається з 18 найменувань.

Об'єкт роботи – екструдер для макаронних виробів.

Предмет роботи – процес виготовлення макаронної сировини.

Мета роботи – удосконалення процесу та обладнання для виготовлення макаронних виробів.

У роботі зазначено, що макарони є універсальним і улюбленим продуктом у багатьох кухнях світу. Вони мають багату історію, яка еволюціонувала, щоб запропонувати різноманітний спектр форм, смаків та текстур.

Узагальнено параметри, що впливають на якість тіста макаронних виробів у процесі усіх етапів, включаючи приготування, формування та сушіння, кожен з яких відіграє вирішальну роль у виробництві високоякісних макаронних виробів.

Вважається, що серцем екструдера є екструзійний шнек або черв'як, який являє собою обертовий вал, поєднаний з гвинтоподібним лезом. Стандартний одноступінчастий шнек екструдера розділений уздовж на зону подачі, зону пластифікації і дозуючу зону.

Запропоновано, у зв'язку з тим, що на перехідній і дозуючій стадіях відбувається більша частина формоутворення сировини, висунути загальну гіпотезу про те, що зменшивши секцію подачі та збільшивши в свою чергу дві інші секції конструкції гвинта можна покращити процес змішування і, отже, збільшити механічні властивості шнека.

Сконцентровано увагу на тому, що температура тіста нерівномірна, особливо, близько до вихідного отвору. Термоізоляція екструдера може призвести до більш рівномірної температури на виході із шнекової секції, таким чином забезпечивши більш рівномірні властивості тіста до того, як тісто досягне насадки. Здійснено моделювання швидкості руху сировини всередині екструдера для макаронних виробів.

Досліджено якісні показники трьох зразків спагеті, а саме колір, форма, текстура. Зразок №1 після приготування мав золотистий, в міру яскравий колір, зразок не злипався, був не кашоподібним, проте мав дещо неоднорідну форму та з деякими дефектами на поверхні після приготування, тверду та еластичну текстуру. Зразок №2 після приготування мав сірувато-бурштиновий колір, в міру яскравий, зразок не злипався, був не кашоподібним, не мав дефектів на поверхні після приготування, тверду та еластичну текстуру. Зразок №3 після приготування мав білувато-жовтуватий насичений колір, зразок не злипався, був не кашоподібним, проте мав дещо неоднорідну форму, без дефектів на поверхні після приготування, в міру тверду та еластичну текстуру.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** екструдер, макаронні вироби, шнек, моделювання, спагеті, якісні параметри, швидкість руху сировини, колір, форма, текстура.

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ МАКАРОННИХ ВИРОБІВ	7
1.1 Інгредієнти та види макаронної сировини	7
1.2 Технологія виготовлення макаронних виробів	9
1.3 Дефекти макаронних виробів	17
РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ МАКАРОННИХ ВИРОБІВ	19
2.1 Екструзія макаронних виробів	26
2.2 Геометрія гвинта екструдера	27
2.3 Моделювання швидкості руху сировини всередині екструдера для макаронних виробів	32
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	35
3.1 Харчова цінність спагеті	35
3.2 Методи вимірювання якісних параметрів макаронних виробів	41
3.3 Дослідження якісних параметрів спагеті	46
ВИСНОВКИ	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	48
ДОДАТКИ	49

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>			
<b>Зм.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>				
Розроб.	Шамрієнко				<b>Удосконалення процесу та обладнання для виготовлення макаронних виробів</b>	<b>Літ.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Аркушів</b>
Перевір.	Омельченко						5	1
Н. Контр.	Омельченко					<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>		
Затверд.	Цвіркун							

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** У роботі зазначено, що макарони є універсальним і улюбленим продуктом у багатьох кухнях світу. Вони мають багату історію, яка еволюціонувала, щоб запропонувати різноманітний спектр форм, смаків та текстур. Макаронні вироби продовжують захоплювати смакові рецептори своїм широким спектром варіантів і кулінарних можливостей.

**Мета та задачі дослідження.** Удосконалення процесу та обладнання для виготовлення макаронних виробів.

**Практична та наукова новизна.** На основі аналізу, було узагальнено параметри, що впливають на якість тіста макаронних виробів у процесі усіх етапів, включаючи приготування, формування та сушіння, кожен з яких відіграє вирішальну роль у виробництві високоякісних макаронних виробів.

Вважається, що серцем екструдера є екструзійний шнек або черв'як, який являє собою обертовий вал, поєднаний з гвинтоподібним лезом. Стандартний одноступінчастий шнек екструдера розділений уздовж на зону подачі, зону пластифікації і дозуючу зону.

Запропоновано, у зв'язку з тим, що на перехідній і дозуючій стадіях відбувається більша частина формоутворення сировини, висунути загальну гіпотезу про те, що зменшивши секцію подачі та збільшивши в свою чергу дві інші секції конструкції гвинта можна покращити процес змішування і, отже, збільшити механічні властивості шнека.

Сконцентровано увагу на тому, що температура тіста нерівномірна, особливо, близько до вихідного отвору. Термоізоляція екструдера може призвести до більш рівномірної температури на виході із шнекової секції, таким чином забезпечивши більш рівномірні властивості тіста до того, як тісто досягне насадки. Здійснено моделювання швидкості руху сировини всередині екструдера для макаронних виробів.

Досліджено якісні показники трьох зразків спагеті, а саме колір, форма, текстура. Якісні фактори макаронних виробів можна розділити на такі параметри: зовнішній вигляд (розмір, колір і форма), аромат (смак і запах), текстура (дотик) і харчова цінність (вуглеводи, білки, жири, вітаміни).

Зразок №1 після приготування мав золотистий, в міру яскравий колір, зразок не злипався, був не кашоподібним, проте мав дещо неоднорідну форму та з деякими дефектами на поверхні після приготування, тверду та еластичну текстуру. Зразок №2 після приготування мав сірувато-бурштиновий колір, в міру яскравий, зразок не злипався, був не кашоподібним, не мав дефектів на поверхні після приготування, тверду та еластичну текстуру. Зразок №3 після приготування мав білувато-жовтуватий насичений колір, зразок не злипався, був не кашоподібним, проте мав дещо неоднорідну форму, без дефектів на поверхні після приготування, в міру тверду та еластичну текстуру.

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Шамрієнко			Удосконалення процесу та обладнання для виготовлення макаронних виробів	Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір.		Омельченко					6	1
Н. Контр.		Омельченко				ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
Затверд.		Цвіркун						

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ МАКАРОННИХ ВИРОБІВ

### 1.1 Інгрєдєнти та види макаронної сировини

Макарони є універсальним і улюбленим продуктом у багатьох кухнях світу. Вони мають багату історію, яка еволюціонувала, щоб запропонувати різноманітний спектр форм, смаків та текстур. Від традиційних методів ручної роботи до сучасного промислового виробництва, макарони продовжують захоплювати смакові рецептори своїм широким спектром варіантів і кулінарних можливостей. Останніми роками відбулися значні успіхи в галузі виготовлення макаронних виробів, революціонізувавши галузь завдяки інноваційним технологіям, інгрєдєнтам та обладнанням. Ці розробки не тільки підвищили ефективність виробництва макаронних виробів, але й розширили можливості для створення унікальних і більш здорових варіантів макаронних виробів.

Одним із ключових факторів у приготуванні виробів з борошна є вибір інгрєдєнтів. Історично макарони виготовлялися з твердих сортів пшениці, яка відома своїм високим вмістом білка і міцністю глютену. Роль інгрєдєнтів у виготовленні макаронних виробів є ключовою у формуванні смаку, консистенції та отриманні поживної цінності кінцевого продукту. Кожен інгрєдєнт сприяє загальній якості сировини. Пшениця, особливо твердих сортів, є основним інгрєдєнтом традиційних макаронних виробів. Вона має високий вміст білка та глютену, надає тісту необхідної структури та еластичності.

Якість використовуваного борошна безпосередньо впливає на текстуру макаронних виробів, властивості приготування та смак. Цільнозернове борошно набуло популярності як альтернативний інгрєдєнт у виготовленні макаронних виробів через високий вміст клітковини та додаткові харчові переваги. Такі вироби збагачені висівками та зародками, які містять клітковину, вітаміни та мінерали. Це додавання покращує поживні властивості макаронних виробів, роблячи їх більш корисними у порівнянні з традиційною сировиною з борошна [1, 2, 11]. У якості альтернативного зерна в макаронне тісто додається борошно з гречихи. Сировина змішуються з пшеничним борошном для посилення харчової цінності макаронних виробів. Поєднувальна комбінація забезпечує унікальні смаки, текстури та переваги для здоров'я споживача з більш широким діапазоном вибору. Останнім часом додавання овочів в макаронне тісто стає все більш популярним. Шпинат, буряк і помідори зазвичай використовуються для додавання кольору, смаку і поживних речовин для макаронних виробів. Доповнення тіста допоміжними інгрєдєнтами не лише покращує візуальну привабливість макаронних виробів, а й сприяє його

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Шамрієнко</i>				<b>Удосконалення процесу та обладнання для виготовлення макаронних виробів</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Омельченко</i>						7	13
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>					<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>		
<i>Затверд.</i>	<i>Цвіркун</i>							

загальній харчовій цінності. Крім основних інгредієнтів, макаронні вироби можуть містити також добавки для підвищення його якості та терміну зберігання. Наприклад, яєчні жовтки можна включити в тісто, в результаті чого буде отримано більш насичену та ніжну текстуру. Деякі виробники додають харчову сіль або ферменти для покращення еластичності тіста, текстури та розвитку клейковини.

У світі існує безліч видів макаронних виробів. Розглянемо деякі з них. Капелліні більш відомі як паста з волосся ангела, схожа на спагеті, за винятком того, що вона становить приблизно третину розміру. Капелліні перекладається як волосся, що вказує на те, наскільки м'якою і тонкою є його текстура. Ніжні макарони виготовлені із суміші борошна, яєць і води, часто продаються згорнутими в гнізда, вимагають лише невеликої кількості часу для приготування та ідеально заправляються в дуже легкі соуси [2]. Карамель, незважаючи на те, що це звучить як смачна солодкість, ця форма насправді є фаршированою пікантною пастою. Названа так за візуальну схожість із загорнутою карамеллю. Карамель виготовляється шляхом наповнення трубочки макаронного тіста м'якою начинкою, наприклад, рікоттою зі скручуванням кінців, як обгортка від цукерки. Наповнюють вироби м'якою начинкою, наприклад, горіховим пюре.

Каватаппі різновид спіралеподібних макаронних виробів. Каватаппі – довший двоюрідний брат макаронів. Його виготовляють так само, за допомогою матриці та екструдуючої машини, тільки більше макаронних виробів пропускається перед нарізанням. Кончілье схожі за формою на морські мушлі. Кончілье, зазвичай, виготовляються з пшениці твердих сортів, що дозволяє макаронним виробам тримати форму навіть під час варіння та запікання. Форма схожа на шкаралупу, означає, що макарони мають вузьку порожнину з одного боку, яка може затримувати начинку у вигляді м'яса або овочів всередині [2]. Деталіні мають меншу форму, які найкраще їсти ложкою. Їх іноді називають тубеттіні, є коротшою версією макаронів, і їх можна приготувати так само за допомогою екструдера для макаронів. Зовнішня сторона може бути гладкою або ребристою. Деталіні перекладається як «маленькі наперстки». Ця форма в супі працює, тому що вона досить маленька, щоб поміститися на ложці та будь-якому бульйоні.

Фарфалле в перекладі з італійської означає «метелики». Завдяки своїй унікальній формі, що нагадує метеликів, макарони також часто мають іншу популярну назву – макарони з краваткою-метеликом. Кажуть, що фарфалле був випадковим побічним продуктом макаронних виробів з начинкою. Згідно з даними господині шостої століття готували фаршировані макарони і щоразу, коли у них закінчувалася начинка, вони перетворювали залишки тіста на фарфалле у формі метелика. Завдяки веселій формі макарони із залишків тіста стали настільки популярними, що самі по собі перетворилися на повноцінний вид макаронних виробів [2]. Фузіллі отримує свою форму завдяки особливому методу обертання смужок макаронних виробів на веретеноподібному стрижні до тих пір, поки вони не перетворяться на спіраль. Через порівняно складний спосіб приготування такі макарони важко приготувати вдома. Оскільки більшість магазинних фузіллі виготовляються з твердих сортів пшениці і вони,

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8



як правило, добре тримають форму навіть при повторному нагріванні після охолодження. Традиційні фузілли – це, по суті, смужка тіста в скрученій формі. Джиглі перекладається як маленькі дзвіночки. Широко поширена думка, що назва походить з Тоскани і натхненна квіткою лілії, яка є національною емблемою Флоренції [2]. Завдяки своїй унікальній формі макарони мають глибоку порожнину з одного боку, як і дзвіночок, який може утримувати соус усередині. Букатіні в перекладі з італійської означає «дірка». Букатіні, по суті, схожий на спагеті, за винятком того, що він має повністю порожнистий центр. Каннеллоні – порожнисті трубочки макаронних виробів, які отримують, коли тонкі листи макаронів для лазаньї згортаються в циліндри і начиняють начинкою всередині.

Основним компонентом макаронних виробів є пшеничне борошно. Клейковина відповідає за еластичність і структуру тіста для макаронів. Наявність клейковини дозволяє тісту розтягуватися і тримати форму при формуванні і приготуванні. У процесі змішування розвиток клейковини відбувається шляхом утворення зв'язків між молекулами білка. Цей процес, відомий як утворення клейковини, полегшується механічними маніпуляціями та гідратацією. Правильний розвиток клейковини має вирішальне значення для міцності та здатності макаронного тіста зберігати форму під час приготування. Варіння макаронних виробів включає клейстеризацію, процес, під час якого гранули крохмалю поглинають воду та набухають. Час приготування та температура макаронних виробів є вирішальними факторами, які визначають їх текстуру. Переварювання може призвести до втрати структурної цілісності, оскільки гранули крохмалю продовжують поглинати воду та надмірно клейстеризуватися. Недоварювання може залишити макарони з сирим, крохмалистим смаком і небажаною текстурою [1, 2]. Додавання солі у воду для варіння має значний вплив на смак і текстуру макаронів. Сіль допомагає посилити загальний смак макаронів, додаючи в процес приготування приправи. Крім того, вона впливає на процес клейстеризації крохмалю, роблячи макарони більш стійкими до переварювання та в результаті роблячи їх з більш твердою текстурою.

## 1.2 Технологія виготовлення макаронних виробів

Сучасна тенденція розвитку макаронної промисловості характеризується високим ступенем концентрації виробництва, комплексною механізацією процесів на основі впровадження безперервно діючих потокових ліній з автоматичним контролем і регулюванням технологічних режимів та покращенням якості сировини. Технології виробництва макаронних виробів розвивалися з часом, починаючи від традиційних методів ручної роботи і закінчуючи сучасними промисловими процесами. Методи охоплюють різні етапи, включаючи приготування, формування та сушіння тіста, кожен з яких відіграє вирішальну роль у виробництві високоякісних макаронних виробів. Прогрес у виготовленні макаронних виробів призвів до значного прогресу в різних аспектах виробництва, включаючи приготування тіста, технології формування, інновації інгредієнтів та ефективність виробництва. Ці досягнення

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

зробили революцію в макаронній промисловості, підвищивши якість, різноманітність і стійкість.

1. Приготування тіста. Процес виготовлення макаронних виробів починається з приготування тіста. Традиційно – змішування борошна і води для отримання потрібної консистенції. Однак, з технологічним прогресом були впроваджені автоматизовані системи змішування для оптимізації процесу. У цих системах використовуються передові методи змішування, такі як низькошвидкісне змішування та вакуумне змішування. Це забезпечує правильне утворення клейковини та рівномірну гідратацію у всьому тісті. Методи дозволяють краще утворювати клейковину та більш рівномірну гідратацію, що призводить до покращення текстури та кулінарних властивостей кінцевого макаронного продукту.

Тісто готують в тістомісильних машинах. Спочатку воно має м'якоподібну структуру, потім пресується за допомогою вакуумних пресів і перетворюється в однорідну масу. У міру обробки з нього видаляються бульбашки повітря і тісто виходить щільним і придатним для подальшої обробки. На цьому етапі можна помірно нагріти його, що сприятиме тому, що тісто стане пластичним, зручним для нарізки.

Змішувач розділений на дві секції: преміксер і основний змішувач. Основна функція основного змішувача – забезпечити час для ретельного зволоження. Більшість міксерів містять два паралельні вали, що обертаються протилежно, з лопатками, встановленими так, що вони переміщують гідратований матеріал вперед. Час перебування в камері змішування залежить від швидкості лопатей і довжини змішувальної камери [2, 3]. Час має бути достатнім для належного виконання поглинання води. Звичайні міксери мають час витримки від 10 до 20 хв. Розробляються нові системи, які зменшують час утримання до 2-3 хв або менше. Змішувачі з коротким часом утримання вимагають дрібного гранулювання манної крупи для досягнення швидкого зволоження. Горизонтальний змішувач представлено на рисунку 1.1.

Одним із помітних досягнень у виготовленні макаронних виробів є поява автоматизованих макаронних машин. Обладнання змінило виробничий процес, пропонуючи швидкість, послідовність і точність. Використання автоматизованих макаронних машин значно підвищило ефективність виробництва макаронних виробів, зменшивши потребу в ручній праці та забезпечивши стабільну якість протягом усього виробничого процесу. Ці машини здатні автоматизувати такі завдання, як замішування тіста, екструзія та формування, що призводить до швидшого та оптимізованішого виробництва.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 – Горизонтальний змішувач

2. Техніка формування. Формування є важливим етапом у виробництві макаронних виробів, оскільки воно визначає остаточну форму та текстуру макаронних виробів. Сучасні промислові методи впровадили екструзійні машини, які можуть формувати тісто в широкому діапазоні форми макаронних виробів зі стабільними розмірами. Екструзійні машини використовують спеціальні матриці для екструдуювання тіста, в результаті чого виходять різні форми, такі як спагетті, фарфалле тощо (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Екструзійні машини

Крім того, відбулися значні зрушення в техніці формування. Традиційні форми макаронних виробів, такі як спагетті були доповнені введенням нових форм і текстур. Технології екструзії були вдосконалені для створення складних форм, що дозволяє отримати більш широкий спектр варіантів макаронних виробів. Цей прогрес не тільки розширив творчість і універсальність страв з макаронних виробів, але й покращив загальні сенсорні якості для споживачів. Інновації в інгредієнтах також відіграли значну роль у нещодавніх досягненнях у виготовленні макаронних виробів.

Формування спрямоване на створення чітко визначеної форми і являє собою серце процесу виготовлення макаронних виробів. Це може відбуватися двома способами: видавлюванням під тиском або рулонним листуванням.

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Перший передбачає замішування тіста в циліндр через шнек, який стискає і проштовхує масу до матриці, де тиск може досягати значень 10 МПа і більше. Розмір і конструкція гвинта можуть відрізнятися в залежності від компаній-виробників. Як правило, шнеки поділяються на три секції: секцію подачі, де «грудочки» тіста штовхаються до секції передачі, а потім до секції екструзії. Під час цього потоку тісто піддається спіралеподібному руху, що сприяє замішуванню [3, 4, 11]. На макроскопічному рівні маса набуває компактності, але клейковина може зазнавати розтягування і напружень високої інтенсивності, особливо в кінцевій секції екструдера, до того, як тісто пройде через матрицю.

Підхід, який використовується для формування тіста, передбачає розкочування тіста через проходи в циліндрах, які поступово і злегка зменшують товщину тіста до отримання листа потрібної товщини. Під час листування тісто піддається тиску протягом дуже короткого часу, тобто тільки тоді, коли воно проходить в зазор між двома циліндрами. З двох процесів екструзія є кращим підходом на промисловому рівні не тільки через його вищу продуктивність, але й через універсальність. За допомогою екструзії можна отримати понад 200 різних форм макаронних виробів. Неправильні умови екструзії можуть спричинити набухання крохмалю та клейстеризацію через тепло, що виділяється напругою зсуву. Цього можна уникнути підтримуючи температуру екструзії нижче 50<sup>0</sup>С і вибираючи сорти пшениці з високими температурами клейстеризації крохмалю, щоб затримати набухання і зменшити вплив білка.

Нарізка сирих макаронних виробів проводиться відразу після пресування. Його призначення – підготовка продуктів до сушіння. Оброблення макаронних виробів складається з видування, нарізки і викладання з метою підготовки напівфабрикату до найбільш трудомісткого етапу виробництва – сушіння. Від правильності нарізки залежить тривалість сушіння і якість готових виробів.

Для швидкої сушки сировина продувається повітрям, взятим з приміщень цеху. При цьому вологість виробів знижується на 2–3% і в результаті знижується пластичність напівфабрикату, підвищується еластичність, а на поверхні утворюється скоринка, що перешкоджає злипанню і згинанню виробів. Метою різання є отримання виробу певної довжини. Короткі вироби ріжуть двома способами. У першому випадку ніж ковзає по поверхні матриці або зрізає звисаючу нитку на деякій відстані від матриці; У другому випадку нарізка проводиться після того, як продукція трохи підсохне [4, 5]. Сировина подається в сушарки похилими схилами або пневматичним транспортом. Використання пневматичного транспорту дозволяє злегка підсушити виріб, що скорочує час сушіння. Для розкладки сирих короткорізаних виробів застосовують механічні розкидачі (растри), трубу або транспортер який здійснює коливальний рух над рухомою стрічкою сушарки, розподіляючи на ній продукт рівним шаром товщиною 2–5 см в залежності від виду продукції.

Нарізка і викладання макаронних виробів залежить від способу сушіння: касетний або підвісний. Касета являє собою коробку, яка має тільки дві бічні

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

стілки, між якими розміщуються макарони так, щоб через них по трубках проходило сушильне повітря. При касетному сушінні пресовані вироби, що досягли довжини 1,5–2 м, механічно підхоплюють, укладають на касети і розрізають розкидно-ріжучим механізмом на шматки довжиною 250 мм.

3. Сушіння. Сушіння є важливим процесом у виробництві макаронних виробів, оскільки забезпечує видалення вологи з сировини, щоб продовжити термін їх зберігання та забезпечити структурну цілісність. Традиційно макарони сушили на повітрі, що вимагало значної кількості часу і ретельного контролю. Однак, прогрес у технологіях сушіння запровадив більш ефективні методи. Вакуумна сушка та сушіння гарячим повітрям зазвичай використовуються для скорочення часу сушіння, контролю вмісту вологи та збереження якості макаронних виробів. Ці методи зберігають природний смак і текстуру макаронних виробів, забезпечуючи при цьому стабільну якість.

Особлива увага приділяється завершальному етапу процесу приготування макаронних виробів – етапу сушіння. Як відомо, процес сушіння надає сухим макаронним виробам остаточні характеристики фізико-хімічної стабільності та дозволяє продовжити термін їх зберігання. Загальна кулінарна якість кінцевого продукту (високий ступінь твердості, низька липкість і низькі втрати при варінні) є результатом декількох одночасних явищ у макаронних виробках, ступінь яких залежить як від характеристик сировини, так і від температурно-вологісних умов, що застосовуються під час сушіння [4, 5]. Змінні, що регулюють цю фазу (температура, відносна вологість і час) фактично можуть бути змінені, пропонуючи різні комбінації (і стільки ж циклів сушіння), щоб поліпшити поведінку макаронних виробів при варінні. Зокрема, фізико-хімічні модифікації основних макромолекул контролюють поведінку при варінні макаронних виробів протилежним чином. Класифікація сушарок для макаронних виробів наведена на рисунку 1.3.

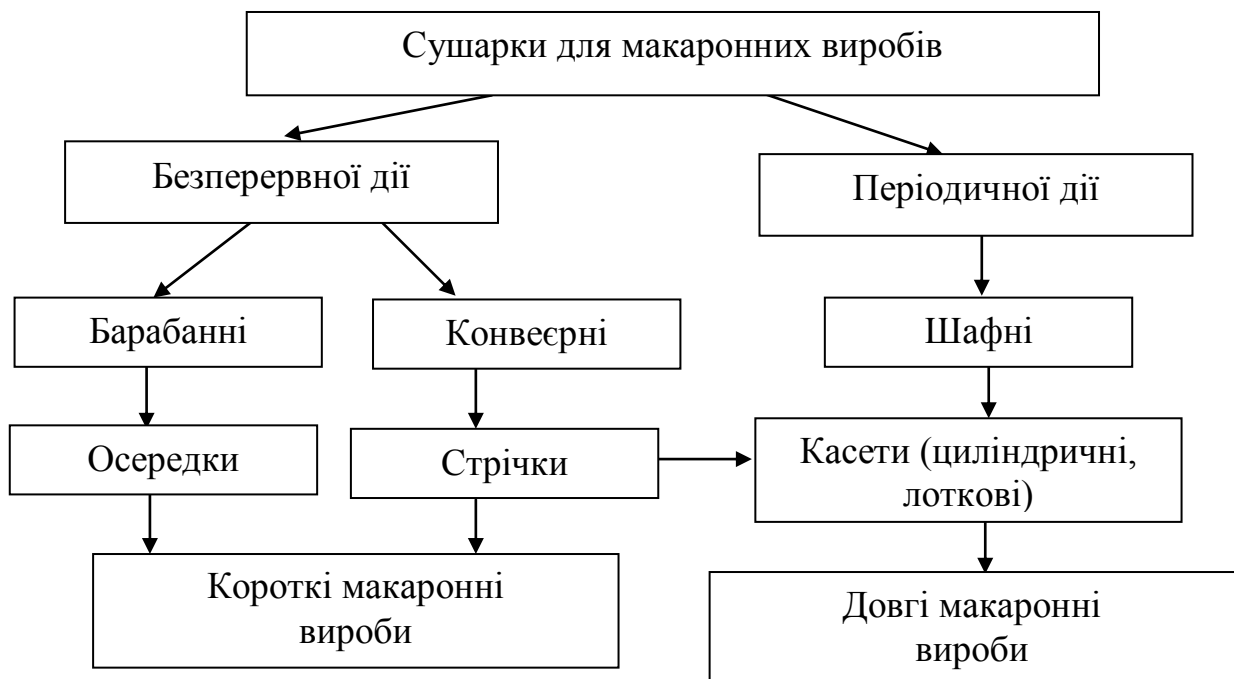


Рисунок 1.3 – Класифікація сушарок для макаронних виробів

Сушіння макаронних виробів здійснюється конвективним способом, який заснований на тепло- і вологообміні між висушуваним матеріалом та нагрітим повітрям. Процес сушіння полягає у підведенні вологи від внутрішніх шарів виробу до зовнішніх, перетворення її на пару та видалення пари з поверхні за рахунок нагрітого сушильного повітря. Кількість вологи, яка може поглинути 1 кг повітря до стану повного його насичення називається сушильною здатністю повітря. Чим вища температура, швидкість руху повітря і нижче його відносна вологість, тим вища його сушильна здатність і тим швидше протікає процес сушіння.

Процес сушіння повинен бути організований правильно, так як при порушенні технології заготовки можуть зіпсуватися. Якщо висихання буде занадто сильним, макарони потріскаються і деформуються, якщо їх сушити занадто довго то вони закиснуть. Сушіння поділяється на два етапи:

1. Попереднє сушіння. Етап попереднього сушіння починається коли продукт виходить із матриці. Як правило, навколишнє повітря (можливо, підігріте) надходить до матриці, що забезпечує деяке висихання поверхні продукту. Це називається початковим попереднім сушінням, яке необхідне для забезпечення кількох цілей. Основною метою є достатньо висушити поверхню виробу, щоб запобігти злипанню сировини. Початкове попереднє висихання збільшує жорсткість поверхні макаронів, що мінімізує згортання, деформування порожнистих виробів. Кількість вологи, видаленої під час початкового попереднього сушіння є досить невеликою, але необхідною для досягнення якісної кінцевої сировини [1, 2, 5]. Після початкового попереднього сушіння продукт передається до секції сушіння в сушарку за допомогою сітчастого транспортера. Вологість макаронних виробів, що входять до передсушильної секції сушарки ~29 до 31%. Передсухий становить ~10% від загального часу висихання та видаляє приблизно одну третину загальної води в сировині. Відбувається досить швидке висихання, тому, що макарони все ще знаходяться в пластичному стані, що запобігає накопиченню вологості в сировині.

Залежно від температури сушарки макарони будуть залишатися пластичними, оскільки вміст вологи знижується до 18% (для надвисокої температури, 80°C сушіння) або 21% (для низької температури 60°C сушіння). Вода дозволяє виробу деформуватися без створення залишкових напруг. Температура є ще одним фактором, що сприяє пластифікації виробу. Вміст вологи при якому макарони переходять із пластичного стану в пружний зменшується при підвищенні температури.

2. Остаточна стадія сушіння буде, як правило, запланованою стадією «відпочинку». Протягом цієї стадії рушійна сила для сушіння (температура та вологість повітря) будуть досить низькими, щоб продукт не втрачав воду з навколишнім повітрям. Протягом цього часу всередині продукту здійснюється перерозподіл вологи, що сприяє вирівнюванню зміни розмірів і мінімізує втрату вологи у продукті. Якщо достатньо вологи досягає поверхні, поверхня стає пластичною, продукт матиме від ~18 до 21% вологості, яка буде при вході в сушарку, а на виході із сушарки ~12% [4, 5]. Швидкість видалення вологи в кінці сушіння є критичною, оскільки сировина знаходиться в еластичному

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

стані. Якщо сушка буде здійснюватися досить швидко, напруга біля поверхні сировини буде перевищувати міцність макаронів, що призведе до порушення текстури.

Залежно від температури повітря використовують три основні режими конвективного сушіння макаронних виробів: 1 – традиційні низькотемпературні режими, коли температура сушильного повітря не перевищує температури +60°C, 2 – високотемпературні режими, коли температура повітря на певному етапі сушіння досягає +70 – 90°C, 3 – найвищі режими, коли температура повітря перевищує +90°C. Високотемпературні цикли сушіння (>65°C) ефективні для поліпшення сенсорних характеристик макаронних виробів [4, 5]. Липкість відіграє найбільш значну роль щодо твердості та громіздкості у випадку макаронних виробів, висушених при низькій температурі, тоді як при високій температурі три сенсорні атрибути мають однакове значення. Схема установки для високотемпературного сушіння макаронних виробів наведена на рисунку 1.4.

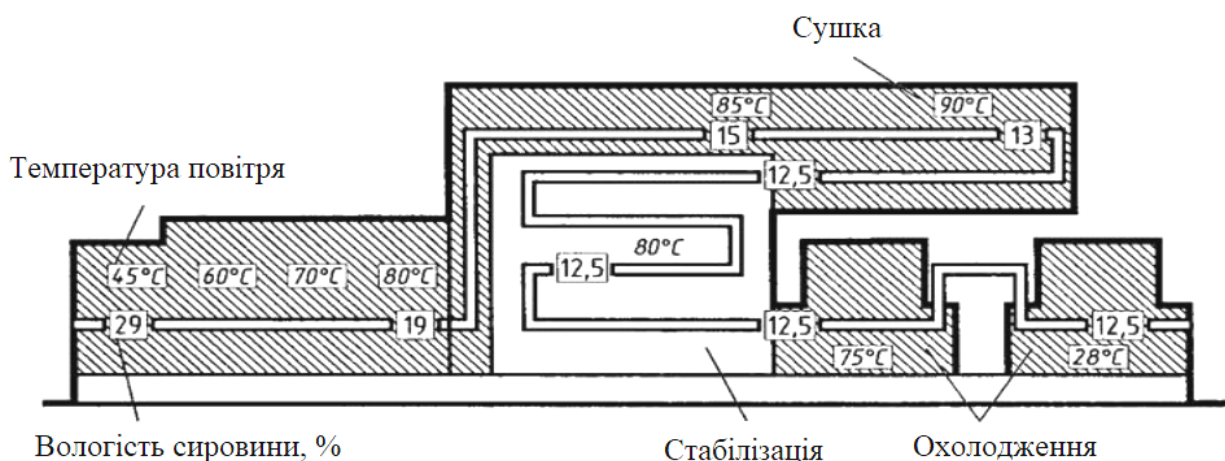


Рисунок 1.4 – Схема установки для високотемпературного сушіння макаронних виробів

Більшість нововведень, пов'язаних з етапом сушіння, спрямовані на скорочення часу сушіння, не впливаючи на якість макаронних виробів. У зв'язку з цим останнім часом були проведені роботи по використанню мікрохвиль. Процес сушіння макаронних виробів мікрохвилями виявився дуже ефективним не тільки з точки зору скорочення часу сушіння, але і тому, що можна отримати кінцевий продукт без тріщин, з більш високою твердістю і меншим ступенем клейстеризації, ніж макарони, висушені гарячим повітрям. Це збільшило стійкість макаронних виробів до варіння, а також час їх приготування.

Було досліджено вплив вакуумної сушки (коли видалення вологи з харчових продуктів відбувається під низьким тиском) на якість макаронних виробів [1, 4]. У порівнянні зі звичайною сушкою, вакуумна сушка характеризується нижчою температурою сушіння та більшою швидкістю сушіння (тобто випаровування води відбувається легше). Посилена вологовіддача може призвести до запобігання утворенню поверхневого бар'єру,

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

який спричиняє внутрішню напругу всередині виробу. Таким чином, використання вакуумної сушки може зменшити внутрішню напругу та запобігти погіршенню структури, що призводить до кращої якості приготування їжі. Оскільки волога видаляється за відсутністю кисню, окислювальна деградація, наприклад, потемніння або окислення жиру, зводиться до мінімуму, в результаті чого макарони мають яскраво-жовтий колір.

3. Стадія охолодження/стабілізації. На виході із сушарки макаронні вироби мають температуру приблизно рівну температурі сушильного повітря. Продукт доводять до температури, близької до температури навколишнього середовища і піддається впливу ~50% відносної вологості під час охолодження. Перед упаковкою вироби слід охолодити до температури пакувального відділення (+25 – 30°C та відносної вологості повітря 60 – 65%. Найкраще використовувати повільне охолодження висушених виробів у спеціальних бункерах та камерах (стабілізаторах-накопичувачах) протягом щонайменше 4 год [3, 4, 6]. При цьому відбувається стабілізація виробів: вирівнювання вологості по всій товщині виробів, розсмоктування внутрішніх напруг зсуву, які могли залишитися після інтенсивного сушіння виробів, а також деяке зниження маси виробів за допомогою випаровування їх 0,5 – 1,0 % вологи. Волога більш рівномірно розподіляється коли продукт рухається через холодну стадію. Частина води біля серцевини продукту буде мігрувати до поверхні, що полегшить деякі напруги, що накопичилися під час процесу сушіння.

4. Промислове виробництво. Виробництво макаронних виробів у промислових масштабах передбачає інтеграцію кількох процесів для досягнення ефективного та послідовного виробництва. Автоматизовані макаронні машини можуть виконувати різні завдання, такі як замішування тіста, екструзія, формування та сушіння. Ці машини працюють з точністю та швидкістю, забезпечуючи рівномірність та високу ефективність виробництва. Автоматизовані системи зробили революцію у виробництві макаронних виробів, дозволивши виробникам задовольнити зростаючий попит на макаронні вироби в усьому світі.

Параметри, що впливають на якість тіста макаронних виробів у процесі усіх етапів, включаючи приготування, формування та сушіння тіста, кожен з яких відіграє вирішальну роль у виробництві високоякісних макаронних виробів наведено в таблиці 1.1.

Відповідно, кожний етап процесу виготовлення макаронних виробів впливає на якість кінцевого продукту. Першим етапам процесу виготовлення макаронних виробів є формування тіста шляхом екструзії під тиском або розкочуванням. Фазі розкочування поки що приділяється менше уваги, ніж фазі сушіння. Більший інтерес до останнього обґрунтовується модифікаціями спричиненими температурами вище 60<sup>0</sup>C як на властивості білків, так і на крохмаль, а також їх великим впливом на якість макаронних виробів як на сенсорному (наприклад, текстура), так і на поживному (наприклад, теплове пошкодження) рівнях. На змінні процесу (перш за все, тиск екструзії) впливають властивості тіста (тобто вологість, температура, в'язкість) і будь-яка зміна однієї зі змінних обробки впливає на всі інші взаємозалежним чином.

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



Таблиця 1.1 – Параметри, що впливають на якість тіста макаронних виробів

Операція	Мета	Внутрішні параметри, що впливають на макаронні вироби	Зовнішні параметри, що впливають на макаронні вироби
Дозування, змішування і заміс	дозувати в потрібних пропорціях; для гідратації крохмалю і білків	розмір частинок, що підлягають змішуванню; ферментна активність; температура води	наявність попереднього змішування; ступінь вакууму
Замішування і формування методом екструзії	для (часткового) утворення клейковинних сіток; для замішування і надання форми тісту	міцність клейковини; вологість тіста; температура тіста; в'язкість тіста	подача суміші в екструдер; геометричні характеристики шнека (довжина, конструкція); умови екструзії (питома механічна енергія, швидкість обертання шнека, система); форма екструдованого продукту; відкрита поверхня матриці (кількість і положення вставок)
Сушіння	для (часткового) утворення клейковинних сіток; для замішування і надання форми тісту	міцність клейковини; властивості сировини	температура повітря; відносна вологість повітря; час висихання

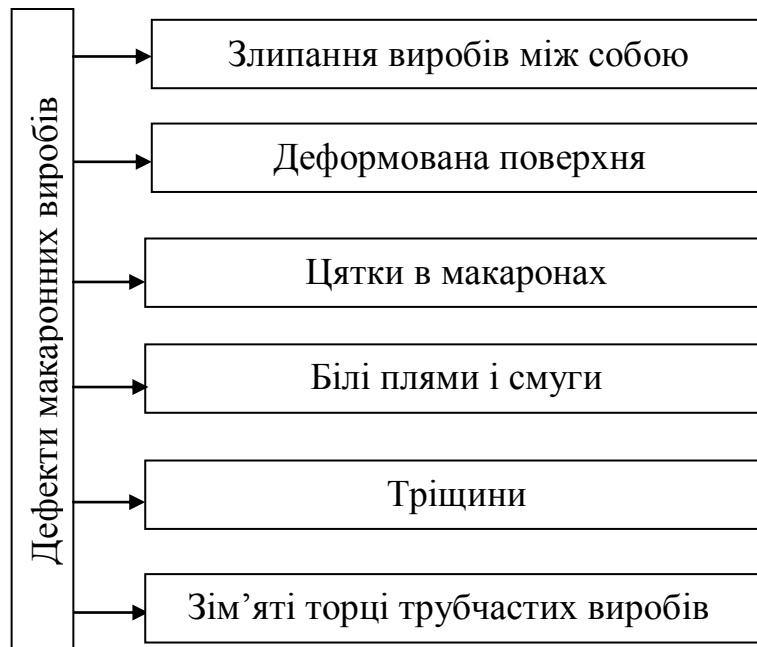
### 1.3 Дефекти макаронних виробів

Макаронні вироби можуть мати дефекти викликані двома основними причинами:

1. Якістю борошна, що застосовується.
2. Відхиленням від оптимальних режимів проведення окремих стадій технологічного процесу.

Основні дефекти макаронних виробів представлено на рисунку 1.5.

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17



Рисунку 1.5 – Дефекти макаронних виробів

Тріщини є найбільш серйозними дефектами:

– тріщина, що характеризується наявністю лінії зламу довжиною від декількох до багатьох міліметрів. Якщо тріщини дуже великі і глибокі або розгалужені, шматочки макаронів можуть зламатися під час варіння;

– поломка виробу є більш серйозною ніж тріщина, тому, що шматок макаронів вже зламаний або відколотий. Місце зламу виглядає гладким, склоподібним, а внутрішня частина блискучою.

На рисунку 1.6 представлено макаронні вироби з механічними пошкодженнями. Тріщини у макаронних виробих є лише в кінці макаронних виробів і зламані ділянки приблизно прямокутні.

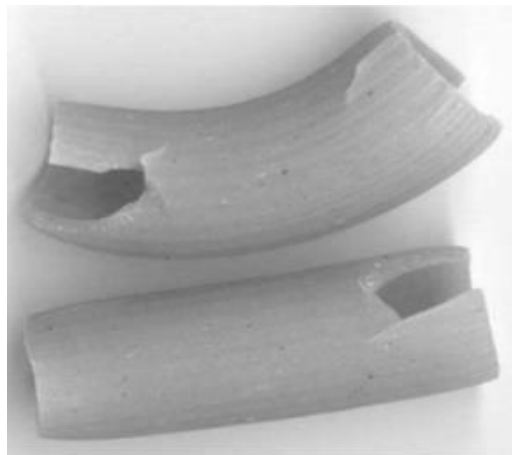


Рисунок 1.6 – Макаронні вироби з механічними пошкодженнями

На основі вище зазначеного можна вважати, що макарони – основний продукт харчування в багатьох культурах світу, мають багату історію і продовжують захоплювати смакові рецептори своєю універсальністю та заспокійливими смаками. Традиційно виготовлення макаронних виробів включало ручні техніки, що передаються з покоління в покоління, вимагаючи вмільних рук для замішування тіста та формування його в різні форми. Однак, останніми роками відбулися значні успіхи в галузі виготовлення макаронних виробів, революціонізувавши галузь завдяки інноваційним технологіям, інгредієнтам та обладнанню.

Одним із ключових факторів у приготуванні виробів з борошна є вибір інгредієнтів. Історично макарони виготовлялися з твердих сортів пшениці, яка відома своїм високим вмістом білка і міцністю глютену. Роль інгредієнтів у виготовленні макаронних виробів є ключовою у формуванні смаку, консистенції та отриманні поживної цінності кінцевого продукту. Кожен інгредієнт сприяє загальній якості сировини. Пшениця, особливо твердих сортів, є основним інгредієнтом традиційних макаронних виробів. Вона має високий вміст білка та глютену, надає тісту необхідної структури та еластичності.

Технології виробництва макаронних виробів розвивалися з часом, починаючи від традиційних методів ручної роботи і закінчуючи сучасними промисловими процесами. Методи охоплюють різні етапи, включаючи приготування, формування та сушіння тіста, кожен з яких відіграє вирішальну роль у виробництві високоякісних макаронних виробів. Прогрес у виготовленні макаронних виробів призвів до значного прогресу в різних аспектах виробництва, включаючи приготування тіста, технології формування, інновації інгредієнтів та ефективність виробництва. Ці досягнення зробили революцію в макаронній промисловості, підвищивши якість, різноманітність і стійкість.

Зазначено, що кожний етап процесу виготовлення макаронних виробів впливає на якість кінцевого продукту. Першим етапам процесу виготовлення макаронних виробів є формування тіста шляхом екструзії під тиском або розкочуванням. Фазі розкочування поки що приділяється менше уваги, ніж фазі сушіння. Більший інтерес до останнього обґрунтовується модифікаціями спричиненими температурами вище 60<sup>0</sup>С як на властивості білків, так і на крохмаль, а також їх великим впливом на якість макаронних виробів як на сенсорному (текстура), так і на поживному (теплове пошкодження) рівнях. На змінні процесу (тиск екструзії) впливають властивості тіста (вологість, температура, в'язкість) і будь-яка зміна однієї зі змінних обробки впливає на всі інші взаємозалежним чином.

Сконцентровано увагу на тому, що макаронні вироби можуть мати дефекти викликані двома основними причинами: якістю борошна, що застосовується та відхиленням від оптимальних режимів проведення окремих стадій технологічного процесу. На виробках можуть бути тріщини, що характеризується наявністю лінії зламу довжиною від декількох до багатьох міліметрів. Якщо тріщини дуже великі і глибокі або розгалужені, шматочки макаронів можуть зламатися під час варіння.

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ МАКАРОННИХ ВИРОБІВ

### 2.1 Екструзія макаронних виробів

Екструзійна обробка – це техніка пластифікації білкових, крохмалистих і вологих харчових інгредієнтів за допомогою поєднання механічного зсуву, тепла, тиску та вологи в матриці. Наприкінці 1950-х років було впроваджено екструзійне приготування їжі у виробництві продуктів харчування. Технологія екструзії використовується в харчовій промисловості, зокрема у процесі виготовлення макаронних виробів. Екструдери можуть працювати при низькому, середньому або високому зсуві залежно від використовуваної сировини та необхідних якостей готового продукту [3, 12]. Як правило, термопластичні екструдери використовуються при високому зсуві. Низький зсув (холодна екструзія) використовується у виробництві макаронних виробів і переробленні м'ясних продуктів, середній зсув використовується у виробництві м'ясних аналогів і деяких кормів для домашніх тварин, а високий зсув (термопластична екструзія) використовується у виробництві розширених закусок, ранкових каш і текстурованих рослинних білків.

Якість сировини та умови роботи екструдера є двома найважливішими елементами, які визначають атрибути екструдованого продукту. До ключових характеристик сировини можна виділити наступне: хімічний склад, фізичний стан, вміст вологи та вид сировини. Діаметр матриці, тиск, температура та сила зсуву, остання з яких контролюється внутрішньою конструкцією та довжиною екструдера, а також геометрією шнека та швидкістю обертання (робочі чинники) можна виділити як найважливіші. Метод екструзії має такі переваги: висока продуктивність виробництва, гнучкість, відмінна якість продукції.

Екструзія харчових продуктів – це тип екструзії, що використовується в харчовій промисловості при якому суміш сировини проштовхується через отвір або матрицю з характерним для харчових продуктів малюнком, а потім обрізається за розміром лезами [3, 12, 13]. Екструдер виготовлений з великого обертового шнека, який щільно встановлений у нерухому бочку та має матрицю на кінці, яка формує бажаний збільшений результат. Приготування їжі при високих температурах створює труднощі в харчовій промисловості, оскільки високі температури призводять до того, що їжа втрачає свої поживні властивості. На відміну від традиційного приготування, при екструзійному приготуванні рекомендується запобігати цього, оскільки процес має короткий час обробки, значне збереження поживних речовин і велику продуктивність.

Технологія розглядається як гнучка, недорога та високоефективна переробка харчових продуктів, здатна постачати широкий спектр багатих

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Шамрієнко</i>				<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Омельченко</i>					20	16
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>				<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>		
<i>Затверд.</i>	<i>Цвіркун</i>						

поживними речовинами продуктів. Сучасна технологія переробки харчових продуктів використовується для створення широкого асортименту текстурованої сировини. Екструдовані продукти містять менше вологи, є поживно насиченими, мікробіологічно безпечними та мають довший термін зберігання.

Сирі інгредієнти поміщаються в бочку екструдера, де транспортується за допомогою шнеку. Менші прольоти далі вниз по бочці обмежують кількість тіста і роблять його більш стійким до руху. Як наслідок, стискається ствол, а також зазори між гвинтовими прольотами. Шнек замішує сировину в напівтверду пластифіковану масу в міру того, як вона просувається глибше вниз по стволу. Гаряча екструзія відбувається коли їжа готується до температури вище 100°C. Температура швидко підвищується в результаті нагрівання тертя і будь-якого додаткового нагрівання. Згодом їжа переноситься в частину бочки, де тиск і зсув ще більше посилюються через менший політ. Коли їжа виходить під тиском матриці, вона розширюється до готового стану і швидко охолоджується, оскільки волога виривається у вигляді пари через одну або кілька обмежених матриць на розвантажувальному кінці бочки. Конфігурації гвинта та матриці можуть впливати на дані параметри. Екструдери класифікуються:

Гарячі екструдери – під тиском часто використовуються для термомеханічної зміни сировини. В основному він використовується для виготовлення текстурованої їжі та кормових продуктів, таких як готові до вживання сухі сніданки та закуски.

Холодні екструдери – для формування тіста в екструдері без використання прямого тепла або приготування. В основному використовується для виготовлення макаронних виробів у харчовій промисловості.

В цілому можна виділити три класи екструдерів для використання в харчовій промисловості: поршневі, роликові і шнекові екструдери. Найчастіше використовуються шнекові екструдери, які можна розділити на одно- та двошнекові. У шнекових екструдерах ефективна конструкція шнека має першорядне значення для вирівнювання та оптимізації процесу екструзії. Шнек або вал виконує різноманітні завдання в процесі екструзії, сильно залежать від конструкції. Основними характеристиками екструзійного шнека є довжина, відношення довжини до діаметра (відношення L/D), відповідні довжини подачі, зони стиснення та нагнітання, ширина польоту, крок польоту та глибина польоту в кожній секції [12, 13, 14]. Зокрема, (відношення L/D) є важливим атрибутом, який визначає довжину гвинта (L) як кратну діаметру гвинта (D). Не менш важливу роль відіграє ступінь стиснення. Це співвідношення обчислюється з глибини вхідної та вихідної зон, при цьому співвідношення 1:1 відповідає відсутності стиснення, а співвідношення 1:5, наприклад, відповідає сильному стисненню.

Позначення довжини шнекових екструдерів вказується, наприклад, як 30D, і означає, що довжина в 30 разів перевищує діаметр шнека. Всі операції, на які може впливати час перебування або швидкість, можуть бути спеціально контрольовані за допомогою довжини шнека. На першому етапі процесу екструзії сировина дозується за допомогою гравіметричних/об'ємних дозаторів

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(сухі компоненти) або за допомогою насосів (рідкі компоненти) і втягується шнеком.

Технологія екструдера значно просунулася вперед протягом попередніх трьох десятиліть. Проте потрібні технічні інновації при розробці екструдерів нового покоління і додаткового обладнання, спрямованих на підвищення результативності, поліпшення пропускної здатності, спрощення управління технологічним процесом, полегшення виробництва широкого асортименту та підвищення якості кінцевого продукту.

Одношнековий екструдер має один обертовий шнек, який міститься в металевій бочці в одношнековому екструдері. Одинарні екструдери з однаковим кроком і різноманітними візерунками є найбільш часто використовуваними. Такі продукти, як сухі сніданки, снеки та макарони, в основному виробляються за допомогою одношнекових екструдерів. Це найпростіші екструзійні системи з точки зору конструкції [15]. Сировина потрапляє всередину одношнекового екструдера з низьким зсувом, який безперервно штовхає та ущільнює (стискає) попередньо змішані матеріали при низькій температурі  $< 50$  градусів С разом із отвором матриці відповідної форми (форма може бути круглою, прямокутною або трубчастою або будь-якою іншою, визначеною отвором матриці). В екструдері частинки попередньо змішаної сировини сплавляються між собою за рахунок ущільнення і замішування, що призводить до утворення однорідної пластичної маси.

Усередині екструдера матеріал ущільнюється, стискається, рухаючись вперед до матриці. Це відбувається тому, що матеріал збирається обертотним гвинтом всередині бочки, яка має канавки на внутрішній поверхні. Канавки дозволяють липкій пластичній масі рухатися вперед і ретельно перемішуватися під контрольованим зсувом і температурою. Шнек має гвинтові канавки, прорізані на його поверхні, які ретельно перемішують, розминають, а також транспортують матеріал вперед.

Гвинтові прольоти глибокі, тому зсув мінімальний, а швидкість обертання також низька, що мінімізує тертя та підвищення температури. Температуру обробки не допускається перевищувати  $> 50$  градусів за Цельсієм для збереження смаку і якості продукту. Температура має тенденцію підвищуватися всередині машини через механічну обробку матеріалу всередині екструдера, але охолоджуючі сорочки, які розміщені навколо бочки, постійно циркулюють прохолодну воду, щоб відвести зайве тепло від матеріалу [12, 13, 14]. Екструдер оснащений вертикально спрямованим вниз головним пристроєм з тефлоновими (для гладкої екструзії) штампами відповідної форми, через які екструдат виходить безперервно, вертикально вниз. Він може бути круглої, овальної, трубчастої прямокутною або спіральною форми. Вибираючи вибір між двома доступними матеріалами для штампових вставок, слід мати на увазі, що латунні або бронзові вставки з їх відносною шорсткою поверхнею в ідеалі виробляють пористі або «шорсткі» макарони, до яких легко прилипають соуси, що цінується і добре споживається. На противагу цьому, тефлонові штампи, як правило, мають занадто гладку поверхню і дають слизькі макарони з занадто гладкою поверхнею, а соуси погано прилипають до такого продукту.

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продуктивність екструдера можна описана наступним рівнянням:

Продуктивність екструдера = потік тіста (опору) – потік тиску – витік потоку.

Потік тіста – це рух тіста вперед за рахунок відносного руху між гвинтом і стовбуром. Потік опору збільшується зі збільшенням швидкості гвинта та польоту співвідношення глибини і діаметра гвинта. Потік тиску є зворотним потоку тіста в шнековому каналі за рахунок градієнта тиску. Потік витіку – це зворотний потік між рейок і стовбуром екструдера через градієнт тиску. Потік тиску пропорційний градієнту тиску по довжині гвинта [3]. Збільшення глибини польоту до співвідношення діаметрів шнека збільшує потік опору. Співвідношення глибини польоту до діаметра гвинта для комерційний пресів для пасти зазвичай становить 0,25-0,33. Обидва потоки опору та тиск зростають зі збільшенням кроку та кута. Потік витіку пов'язаний з потоком тиску.

Типовий зазор між гвинтами і стовбуром 0,5 мм. Кліренс збільшиться з часом через знос. Збільшення кліренсу буде проявлятися зниженням виходу і збільшенням в енергії, що передається продукту, з пов'язаним збільшенням в температурі тіста.

Наприклад, припустимо, що прес для макаронних виробів видавлює 3500 кг/год.

Потік опору – Потік під тиском = 3500 кг/год

Потік тиску/Потік опору = 0,6.

Потік опору x 0,6 = Потік під тиском

Потік опору – Потік опору x 0,6 = 3500 кг/год

Потік опору (1 – 0,6) = 3500 кг/год

Потік опору = 8750 кг/год

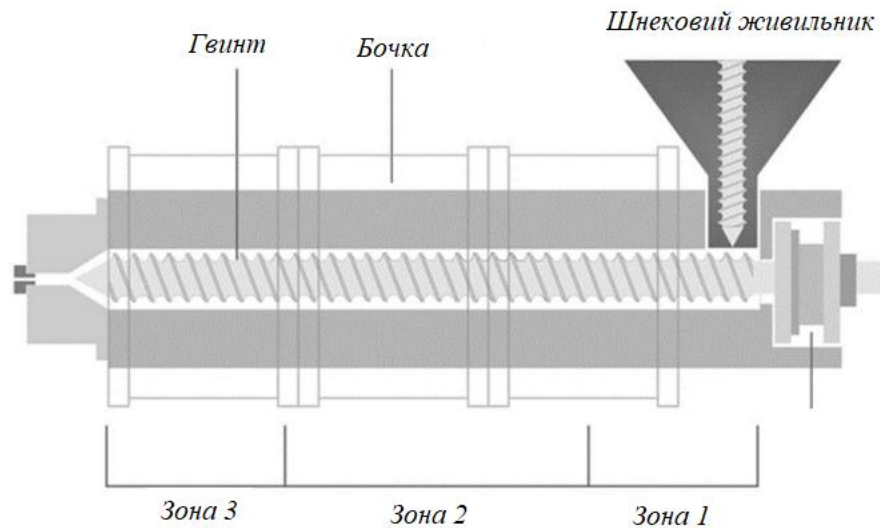
Потік під тиском = 5250 кг/год

Екструдери складаються з п'яти основних компонентів. Основні секції та зони екструдера наведено на рисунку 2.1.

1. Система подачі. Для ефективного і послідовного процесу екструзії подача сировини в екструдер повинна бути безперервною. Сировина подається в секцію подачі бункером, а матеріал транспортується в перехідну секцію за допомогою обертового шнека. Гвинтовий канал дрібнішає в області переходу і матеріал стискається, що призводить до підвищення температури. Речовина стає більш зв'язкою, а дозуюча частина транспортує його далі і проштовхує через отвір матриці.

2. Черв'як або шнек. Матеріал транспортується в бочку екструдера за допомогою шнека. Шнек екструдера впливає на денатурацію білка, декстринізацію та клейстеризацію крохмалю та ступінь приготування, але він також забезпечує якість кінцевого продукту. Доступні мононероз'ємні або багатокомпонентні гвинти. Кількість і форма гвинтових компонентів можуть відрізнятися і кожен сегмент виконує унікальну роль. Деякі компоненти краще транспортують сиру сировину у бочку екструдера, тоді як інші ущільнюють її. Щоб сприяти механічному розсіюванню енергії, зворотному потоку та дисперсному перемішуванню в екструдері, деякі шнеки для замішування мають перервані польоти.

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1 – зона подачі, 2– зона пластифікації, 3 – дозуюча зона

Рисунок 2.1 – Основні секції та зони екструдера

Всередині тиск швидко зростає від 0 до 2 МПа приблизно після двох обертів гвинта. Сировина під впливом 2 МПа починає перехід із гранульованого матеріалу в повністю ущільнене тісто. Після ущільнення залишається деяка довжина шнека, яка бере участь у замішуванні та транспортуванні тіста. Тиск продовжує повільно зростати, а тісто просувається до кінця шнека. Глибокі прольоти забезпечують високу транспортну здатність. Конструкцію гвинта наведено на рисунку 2.2.

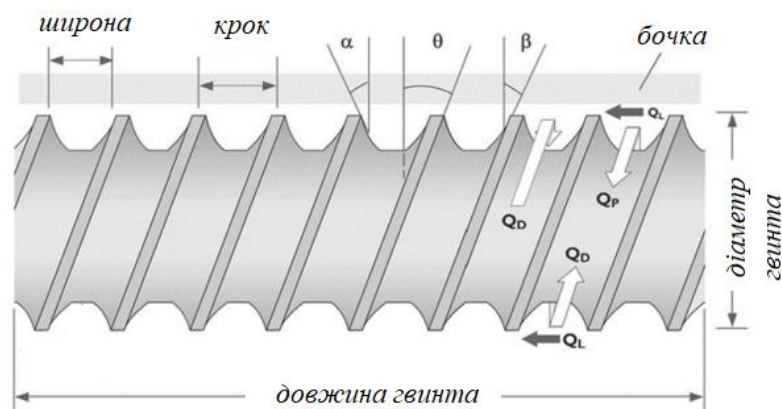


Рисунок 2.2 – Конструкція шнека

де  $Q_D$  – напрям потоку;  
 $Q_P$  – напрям потоку тиску;  
 $Q_L$  – напрям потоку витіку;  
 $\alpha$  – передній кут флангу;  
 $\theta$  – кут гвинта.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



- ширина осьового польоту;
- зазор між гвинтом і стволом;
- напрямок потоку опору;
- напрямок потоку витоку;
- напрямок напірного потоку;
- кут випередження флангу;
- глибина шнекового каналу;
- ширина швелера гвинта;
- діаметр шнека;
- кут гвинтової спіралі;
- довжина гвинта;
- крок гвинта;
- кут заднього флангу.

Суміш матеріалу переміщується одним шнеком через екструзійний ствол до матриці. Стандартний одноступінчастий шнек екструдера розділений уздовж на зону подачі, зону пластифікації та дозуючу зону. У зоні подачі сипучі сухі матеріали подаються в шнек екструдера і транспортуються до зони стиснення. Живильна зона, як правило, активно охолоджується і має більш глибокі гвинтові прольоти, щоб уникнути агломерації [12, 14]. У наступній зоні стиснення ще більше прискорюється ущільнення маси. В кінці області шнека відбувається остаточне формування виробу в так званій зоні матриці. Геометрія та дизайн матриці є критичними змінними для візуального вигляду (розмір, форма), а також для суттєвих сенсорних властивостей (текстури) виробів.

Тісто подається в канал шнека, де рухається біля кореня шнека, який змушує тісто обертатися по спіралі вниз вдовж каналу. Прямий потік і зворотний тиск діють разом в процесі замісу тіста. Під час замішування молекули клейковини розтягуються та вирівнюються відповідно до обертального руху кріплення гвинта. Потік тіста в каналі нерівномірний. Тісто біля кореня гвинта рухається набагато повільніше. Нерівномірна швидкість потоку може призвести до нерівномірного формування тіста. Щоб зменшити неоднорідність тіста, деякі гвинтові конструкції включають виріз або пластину для замішування на кінці гвинта.

Тертя між тістом і екструзійним барабаном, між тістом і шнеком необхідно для стиснення тіста та для транспортування тіста через екструзійний ствол. Без тертя гвинт обертався, а тісто залишалося б нерухомим відносно шнека. Щоб мати належне транспортування тіста, тертя має бути більше, ніж сила тертя за допомогою гвинта. Поздовжні канавки оброблені вздовж внутрішньої поверхні екструзійного ствола створенні для посилення тертя між тістом і бочкою, між тістом і шнеком.

Екструдер розвиває менше зсуву, яке необхідне для екструзії, щоб запобігти надмірному підвищенню температури, але більший час перебування в бочці, щоб забезпечити адекватне перемішування та контроль температури тіста. Усередині екструдера, завдяки механічній обробці сировини під дією гвинтового шнека, що обертається, продукти частково нагріваються за рахунок механічного тепла тертя, і важливо обмежити це підвищення температури, інакше це призведе до липкого продукту.

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

3. Ріжучий механізм і матриця: матриця має два призначення. Вона формує готовий продукт і сприяє опорі потоку сировини всередині екструдера, збільшуючи внутрішній тиск. Матриця може бути різних форм і розмірів, а також має різну кількість отворів. Ріжучий механізм повинен мати можливість виготовляти кінцеві вироби однакового розміру. Швидкість обертання ріжучих лез визначає розмір виробу.

Макаронне тісто, сформоване в місильній машині, направляється екструзійним шнеком до головки преса і продавлюється через матрицю, характеристики якої сильно впливають на зовнішній вигляд поверхні макаронів. У матриці присутні різні розрізи залежно від бажаних макаронних виробів. Мушлі, смужки, трубочки – це лише кілька прикладів форм, які можна зробити. Такі продукти, як макарони, змішуються та формуються за допомогою холодної екструзії, де температура продукту залишається постійною.

Крім того, область матриці визначає ступінь заповнення, тиск, а також температурний профіль у технологічній камері екструдера. Виріб залишає матрицю у вигляді безперервної нитки, яку можна розрізати на шматки будь-якої довжини за допомогою грануляційного блоку, наприклад, у вигляді обертових ножів. Тверді гранули, волокнисті пластівці або сильно роздуті продукти можна виробляти за допомогою екструдера, залежно від температури, тиску та форми ниток на виході з матриці [12, 13, 14]. Матриця прикріплена до кінця екструзійної головки. Опора матриці виготовлена з бронзи або нержавіючої сталі. Підтримка повинна бути здатною витримувати величезний тиск. Нержавіюча сталь може витримувати вищий тиск, але, як правило, утримує більше тепла, ніж бронза. Більшість опор промислових матриць виготовлені з нержавіючої сталі. Вставки – це мініатюрні плашки, які розміщені всередині отворів. Вставки, зазвичай, виготовляються з бронзи через низьку теплоту утримання. Перевагою використання вставок є те, що зношені вставки можна легко замінити без повернення всю матрицю виробнику. Кількість вставок у матриці визначається потужністю виробництва і повинна бути збалансована пресом для макаронних виробів. Забагато вставок може послабити матрицю, що може спричинити згинання матриці під тиском, зменшити щільність продукту, що може спричинити накладання пасом під час екструзії. Занадто мало вставок може призвести до надмірного тиску, що може пошкодити матрицю або екструдер, зменшити випуск продукції.

Опори матриці зазвичай мають товщину 100 мм, а їх вставки зазвичай мають товщину 20 мм. Таким чином, тісто розтікається в отвір в опорі матриці, потім через отвір у вставці. Паста буває сотень форм, які визначаються потоком тіста через отвір матриці під час екструзії. Наприклад, вкладиші для спагетті містять круглий отвір, тоді як вставки для макаронних виробів у формі раковин і мають горизонтальний отвір, який трохи більший за центр.

## 2.2 Геометрія гвинта екструдера

Геометрія шнеків безпосередньо впливає на пропускну здатність та ефективність перемішування сировини. Крок і глибина польоту мають важливе значення для визначення розмірів гвинтових елементів, оскільки ці параметри в

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

поєднанні зі ступенем заповнення визначають тиск, необхідний для протікання через область шнека по всій довжині процесу, і, крім того, впливають на структуру сировини. Якщо всі інші параметри процесу постійні, то час перебування в шнеку прямо пропорційний його довжині і обернено пропорційний швидкості обертання. Залежно від типу екструдера в корпусі екструдера обертається один або два шнеки.

Конструкція шнеків є важливим фактором у проектуванні машини та ефективності процесу. Зазвичай використовуються бочки з гладкою внутрішньою поверхнею, оскільки покриття може становити ризик залипання або обертання вздовж гвинта. Типовими елементами конструкції всередині стволів є поздовжні (осьові канавки) або спіральні канавки, які забезпечують більш високу пропускну здатність, краще перемішування ствола або покращений ефект зсуву. Одночасно зворотне транспортування перешкоджає оптимальному транспортуванню продукту і може статися перевищення допустимого максимального тиску на виході з матриці. Залежно від конструкції, процеси фізико-хімічної модифікації матеріалу можуть контролюватися за допомогою різної кількості температурних зон уздовж корпусу в поєднанні з датчиками тиску і температури.

Екструзійний шнек виготовлений з нержавіючої або хромованої сталі. Традиційно екструзійні шнеки використовуються у процесі виготовлення макаронних виробів з постійним діаметром кореня і рівномірним кроком по всій довжині гвинта. Глибокі прольоти забезпечують шнекову високу транспортуючу потужність і високий протитиск потоку сировини в гвинт. Більш різкий кут прольоту збільшить швидкість змішування, що призведе до зниження ефективності транспортування [15]. Екструзійні гвинти розроблені із співвідношенням довжини до діаметра між 6:1 і 9:1. Велике співвідношення між довжиною та діаметром призводить до низької продуктивності механічної енергії. Шнеки, що використовуються для екструзування макаронних виробів, зазвичай мають діаметри, який коливається від 12 до 20 см.

Останнім часом екструзійні шнеки стали більш досконалішими. Деякі нові макаронні преси мають шнеки зі змінним кроком та змінним діаметром кореня. У міру кроку зменшується кількість вильотів на гвинті, що збільшує співвідношення поверхні гвинта до об'єму співвідношення і збільшує перетворення механічної енергії в тепло через тертя. Аналогічно зі збільшенням діаметра кореня зменшується глибина польоту, що збільшує кількість енергії та тиску, що прикладається до тіста. Таким чином, нові конструкції гвинтів збільшують обсяг роботи, що прикладається до тіста, що дозволило зменшити швидкість шнека з 20 до 40 об/хв у традиційних пресах, зазвичай до 18 об/хв все ще підтримується вихід. Геометрія п'яти гвинтів зображена на рисунку 2.3.

Найпростішою з конструкцій є гвинт загального призначення отриманий із загальноприйнятих рекомендацій щодо конструкції гвинтів для гвинта з квадратним кроком, у яких крок дорівнює діаметру гвинта (1). Шнек розділений на стандартні зони подачі, переходу та дозування однакової довжини, в яких глибина каналу зони подачі становить 20% діаметра шнека, а глибина каналу дозуючої зони – 10% діаметра шнека [17]. Ширина польоту постійна і дорівнює 10% діаметра шнека, з постійним жолобником 1,6 мм біля

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

кореня польоту. Ступінь стиснення для цього «стандартного» гвинта становить 2.0, тоді як комерційні гвинти часто мають ступінь стиснення 2.8 та близько 3.0. Конструкція загального призначення, хоча і проста з найвищою пропускною здатністю, але не забезпечує достатнього змішування, що може призвести до надмірних коливань температури і тиску при швидкостях обертання шнека вище 40 об/хв. Збільшення ступеня стиснення з 2,1 до 2,5 або 3,1 значно покращило б його продуктивність.

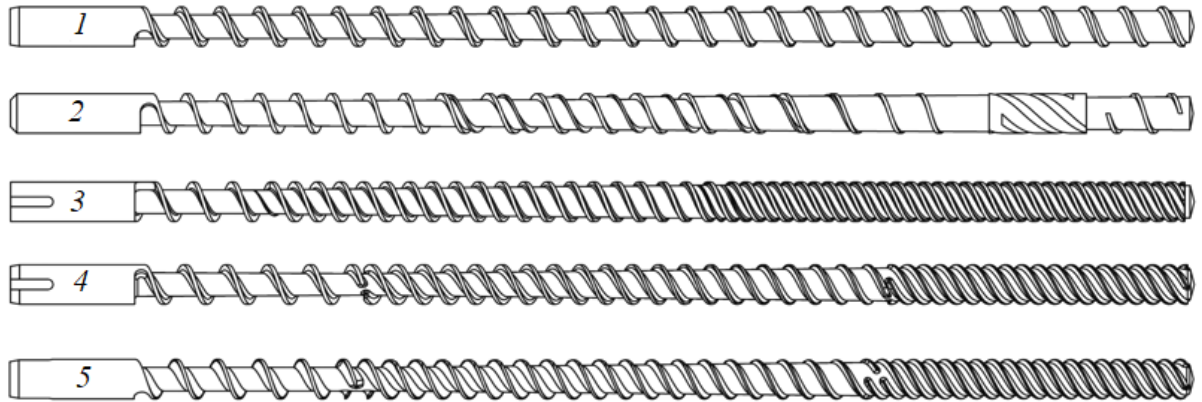


Рисунок 2.3 – Геометрія п'яти гвинтів

Бар'єрний гвинт вважається сучасною конструкцією, яка включає окремий канал розплаву для забезпечення повної пластифікації перед дозуючою секцією (2). Конструкція бар'єрного шнека використовує вторинний політ, що починається в перехідній зоні щоб відокремити сировину, що примикає до первинного польоту від нерозплавлених гранул, тим самим уникаючи розвитку великої зони розплаву в первинному каналі, що уповільнює вихід сировини [17]. Шнек також використовує повний окружний бар'єр в кінці перехідної секції, щоб гарантувати пластифікацію повністю розплавленої сировини перед остаточним змішуванням і перекачуванням секцій. Шнек бар'єрного типу є потужною конструкцією з хорошою продуктивністю зі швидкістю обертання гвинтів від 20 до 60 об/хв. Однак він, як правило, забезпечує надмірний зсувний нагрів при більш високих швидкостях шнека через велику площу поверхні бар'єру і змішувальних секцій.

Решта три «фрактальні» гвинти (2, 4, 5) позначаються як  $1 \times 2 \times 4$ , що означає, що вони мають один канал в зоні подачі, два канали в перехідній зоні і чотири канали в зоні дозування. Конструктивне призначення прольотів  $1 \times 2 \times 4$  полягає в зменшенні ширини каналів в перехідній і дозуючій зонах, оскільки необхідна швидкість плавлення регулюється квадратним коренем з ширини каналу 15. Завдяки використанню збільшеної кількості каналів у зонах нижче за течією швидкість плавлення та консистенція покращуються без шкоди для більшої пропускної здатності, що забезпечується одним каналом у зоні подачі. Усі фрактальні гвинти розроблені з низьким ступенем стиснення близько 1,5 для збільшення швидкості обробки.

Гвинт 3 має чудову стабільність тиску розплаву, але низьку об'ємну пропускну здатність і надмірний зсувний нагрів при більш високих швидкостях

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

обертання шнека. Другий фрактальний (2) гвинт був розроблений з п'ятьма основними змінами:

- для збільшення об'ємної пропускної здатності кути спіралі були збільшені за допомогою вильотів 40,64, 50,8 і 60,96 мм в зонах подачі, переходу і дозування;

- для збільшення об'ємної пропускної здатності ширина каналу була максимізована за рахунок використання змінної ширини польоту, що дорівнює 45% глибини каналу;

- для зменшення ущільнення вихідної сировини і збільшення пропускної здатності глибина каналу збільшується з 20 до 25% діаметра шнека через шість витків зони подачі;

- щоб поліпшити рівномірне навантаження каналів при додаванні вторинного рейсу, гвинт 2 вводить всі прольоти в центр попереднього вихідного каналу, щоб розділити потік на два потоки;

- для поліпшення дисперсійного перемішування при обробці заповнених систем були передбачені діаметральні зазори 0,1 мм на кожному другому польоті дозуючої зони для поліпшення дисперсійного перемішування.

Гвинт 3 є найпростішою з конструкцій і має хорошу консистенцію, але низьку об'ємну потужність, а також низьку енергоефективність через надмірне зсувне нагрівання між дозуючими прольотами та стволом. Гвинт 4 був розроблений з декомпресією в зоні подачі для підвищення пропускної здатності, а також декомпресією в зоні дозування для збалансування температури розплаву [17]. Однак, його продуктивність була обмежена через погану конструкцію перехідної секції, а також через гірші зазори при поперемінних польотах у зоні дозування. Конструкція 5 усунула ці недоліки завдяки покращеній перехідній секції, а її продуктивність конкурувала з бар'єрним гвинтом щодо об'ємної потужності та енергоефективності. Геометрію гвинта загального призначення представлено на рисунку 2.4 з використанням класичного опису.

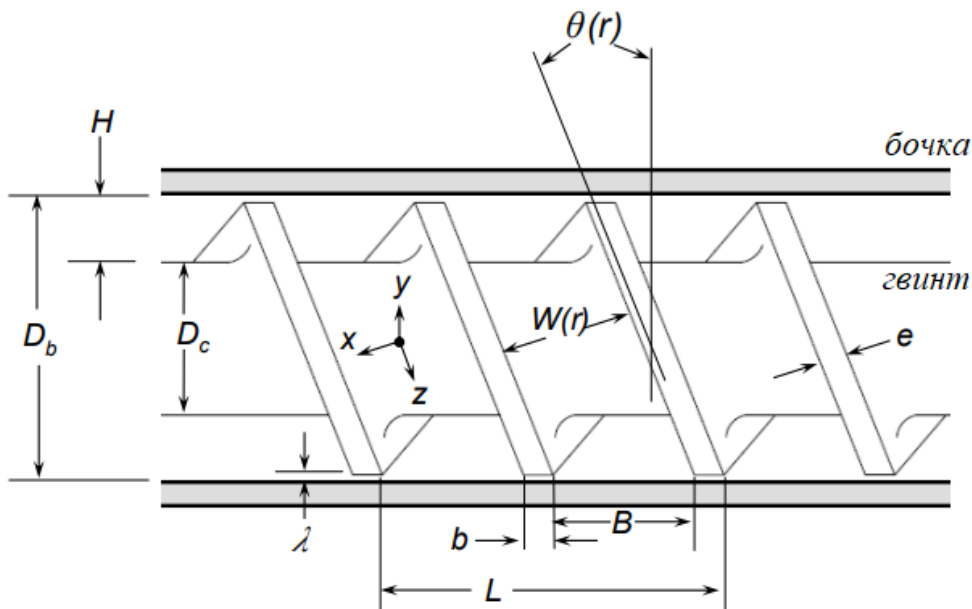


Рисунок 2.4 – Схема гвинтової геометрії

Деякі геометричні параметри гвинта легко отримати шляхом спостереження та вимірювання, включаючи кількість стартів польоту, внутрішній діаметр ствола, глибину каналу, довжину повідця, ширину польоту та кліренс польоту [14, 15, 16]. Число стартів польоту,  $p$ , для геометрії дорівнює двом. Внутрішній діаметр стовбура представлений  $D_b$ , а місцева відстань від кореня шнека до стовбура є  $H$ . Діаметр сердечника гвинта представлений постійним струмом. Механічний зазор між гвинтом і стволом дорівнює  $\lambda$ . Механічний зазор, як правило, дуже малий у порівнянні з глибиною каналу. Довжина випередження,  $L$  – це осьова відстань одного повного обороту одного з пусків гвинта. Цей показник часто є постійним у кожній секції гвинта, але в деяких гвинтах, таких як гумові гвинти, він часто постійно зменшується по довжині гвинта. Гвинт, який має довжину, що дорівнює діаметру ствола, називають квадратним.

Решта геометричних параметрів легко виводяться з вимірюваних параметрів, представлених вище. Деякі параметри гвинта є функціями радіуса гвинта. До них відносять перпендикулярну відстань, ширину змахів в осьовому напрямку, кут спіралі, кут утворений нормаллю до осі гвинта. У стінки ствола ці параметри позначаються знаком  $b$ . Кут спіралі біля стінки ствола дорівнює  $\theta_b$ :

$$\tan \theta_b = \frac{L}{\pi D_b}$$

$$\theta_b = \arctan \frac{L}{\pi D_b}$$

Залежність між шириною каналу, перпендикулярного до швелера на межі розділу ствола  $W_b$  і осьовою відстанню між ребрами штампу на межі розділу ствола  $B_b$  дорівнюватиме [15]:

$$W_b = B_b \cos \theta_b = \left( \frac{L}{p} - b_b \right) \cos \theta_b = \frac{L}{p} \cos \theta_b - e$$

$$e = b_b \cos \theta_b$$

Деякі з геометричних параметрів є функцією радіального положення  $r$  гвинта. До таких параметрів відносяться кут спіралі і ширина каналу. Довжина дуги для одного повного обороту на поверхні ствола дорівнює  $\pi D_b$ . На поверхні гвинта довжина дуги для одного витка становить  $\pi(D_b - 2H)$ . Довжина грифеля, однак, залишається колишньою. Це призводить до більшого кута спіралі біля кореня гвинта, ніж на поверхні стовбура. Цей аналіз проводиться для ширини каналу, який не змінюється з глибиною каналу. Для правильно сконструйованого гвинта ширина буде збільшуватися в міру наближення до кореня гвинта за рахунок радіусів.

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Кут спіралі і ширина каналів у серцевині гвинта або кореня позначаються нижнім індексом  $c$  і розраховуються вони наступним чином [15]:

$$\tan \theta_c = \frac{L}{\pi(D_b - 2H)} = \frac{L}{\pi D_c}$$

$$\theta_c = \arctan \frac{L}{\pi D_c}$$

Таким чином, гвинт має вужчу нормальну відстань між флангами в корені гвинта, оскільки кут спіралі більший, а відведення залишається [15]:

$$W_c = B_c \cos \theta_c = \left( \frac{L}{p} - b_c \right) \cos \theta_c = \frac{L}{p} \cos \theta_c - e$$

$$e = b_c \cos \theta_c$$

Для узагальненого набору функцій через радіус  $r$  і локальний діаметр  $D$  кут спіралі обчислюється наступним чином:

$$\theta(r) = \arctan \frac{L}{\pi D}$$

За габаритами і параметрами ствола [15]:

$$\theta(r) = \arctan \left( \frac{D_b}{D} \tan \theta_b \right)$$

Ширина каналу при будь-якому радіусі при цьому наступна:

$$W(r) = B \cos \theta(r) = \left( \frac{L}{p} - b(r) \right) \cos \theta(r) = \frac{L}{p} \cos \theta(r) - e$$

Середня ширина каналу представлена параметром  $W$  і обчислюється за допомогою середньої ширини каналу [15]:

$$W = \frac{W_b + W_c}{2}$$

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Важливим є обчислення довжини гвинта в напрямку  $z$  при будь-якому радіусі  $r$  для осьової довжини  $l$ :

$$z(r) = \frac{l}{\sin \theta(r)}$$

Ефективна робота одношнекового екструдера вимагає, щоб усі три секції екструдера (подача, стиснення, дозування) були спроектовані таким чином, щоб працювати ефективно та злагоджено і мати безперебійний процес. Суміш матеріалу переміщується одним шнеком через екструзійний ствол до матриці. Стандартний одноступінчастий шнек екструдера розділений уздовж на зону подачі, зону пластифікації і дозуючу зону. У зоні подачі сипучі сухі матеріали подаються в шнек екструдера і транспортуються до зони стиснення [18]. У наступній зоні стиснення ще більше прискорюється ущільнення маси. В кінці області шнека відбувається остаточне формування виробу в так званій зоні матриці. Для правильно працюючого одношнекового екструдера дозуюча секція шнека повинна бути етапом процесу, що обмежує швидкість. На рисунку 2.5 представлено схеми різних одногвинтових конструкцій.

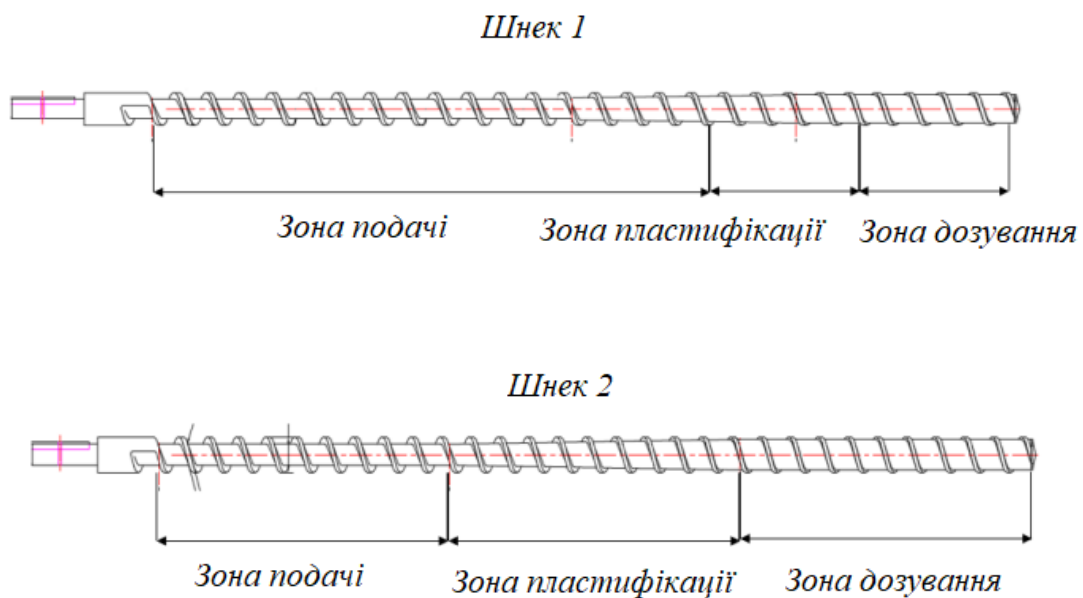


Рисунок 2.5 – Схеми різних одногвинтових конструкцій

Ступінь подачі шнека  $1$  вдвічі довша, ніж у гвинта  $2$  за рахунок коротшого перехідно-дозуючого етапу. Основна відмінність між двома конструкціями полягає в довжині секції подачі, переходу та дозування в кожному шнеку. Секція подачі в гвинті  $1$  вдвічі довша, ніж у гвинті  $2$ , тоді як дві інші секції відповідно вдвічі довші в гвинті  $1$ , ніж у гвинті  $2$ . На перехідній і дозуючій стадіях відбувається більша частина формоутворення сировини тому можна висунути загальну гіпотезу про те, що гвинт  $2$  може продемонструвати краще змішування і, отже, більші механічні властивості.



## 2.3 Моделювання швидкості руху сировини всередині екструдера для макаронних виробів

Серцем екструдера є екструзійний шнек або черв'як, який являє собою обертовий вал, поєднаний з гвинтоподібним лезом. Вода і борошно подаються в ліву частину зображеної конструкції екструдера. Коли екструзійний черв'як повертається, він змушує інгредієнти рухатися вправо. Тепло, рух і тиск, що виникають при русі, перетворюють суміш в тісто, яке потім проштовхується через отвори у вихідному патрубку з правого боку машини. Насадки можна встановити на розетку для створення різних форм локшини, а інші пристрої будуть різати і сушити кінцевий продукт.

Незважаючи на те, що макарони виготовляються подібними машинами протягом сотень років, технологія все ще далека від досконалості. У багатьох дослідженнях зазначено, що процес екструзії включає складні «явища полімеризації, керовані поєднанням тиску та температури» [15, 16]. Проблеми, які можуть виникнути всередині екструдера, включають:

Неповне змішування борошна і води.

Нерівномірний розподіл тиску та швидкість екструзії.

Погана циркуляція тіста, через що може утворитися цвіль.

Ці проблеми можуть вплинути на зовнішній вигляд і смак кінцевого продукту або навіть зробити його небезпечним для вживання. Щоб допомогти передбачити умови, які можуть спричинити такі проблеми, ми можемо змоделювати процес екструзії макаронних виробів за допомогою програмного забезпечення.

У зв'язку з підвищенням температури, яка утворюється механічним перемішуванням, в'язкість макаронного тіста буде зменшуватися в міру його руху через екструдер. Результати моделювання моделі екструдера показують комбінований вплив напруги нагріву та зсуву на тісто. В'язкий нагрів найбільший там, де швидкість зсуву найбільша і це відбувається там, де поверхня гвинта стикається із зовнішньою стінкою. Тепло, що виділяється біля стінки, безперервно спрямовується спіральною траєкторією до екструзійного отвору. Оскільки тісто розріджується зсувом, в'язкість зменшується зі збільшенням швидкості зсуву. В'язкість також зменшується з підвищенням температури [16]. Ці нерівномірно розподілені ефекти призводять до зміни в'язкості майже на порядок. Частина тіста, які розташовані близько до середини лопаті, де швидкість зсуву невелика, обертаються майже як жорстке тіло. Це може призвести до дуже поганого перемішування перпендикулярного потоку, що призведе до нерівномірної якості тіста.

Екструдер розвиває менше зсуву, яке необхідне для екструзії, щоб запобігти надмірному підвищенню температури, але більший час перебування в бочці, щоб забезпечити адекватне перемішування та контроль температури тіста. Усередині екструдера, завдяки механічній обробці сировини під дією гвинтового шнека, що обертається, продукти частково нагріваються за рахунок механічного тепла тертя і важливо обмежити це підвищення температури, інакше це призведе до липкого продукту. Температура тіста нерівномірна, особливо, близько до вихідного отвору. Термоізоляція екструдера може

						ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			33

призвести до більш рівномірної температури на виході із шнекової секції, таким чином забезпечивши більш рівномірні властивості тіста до того, як тісто досягне насадки (рис. 2.6, рис. 2.7).

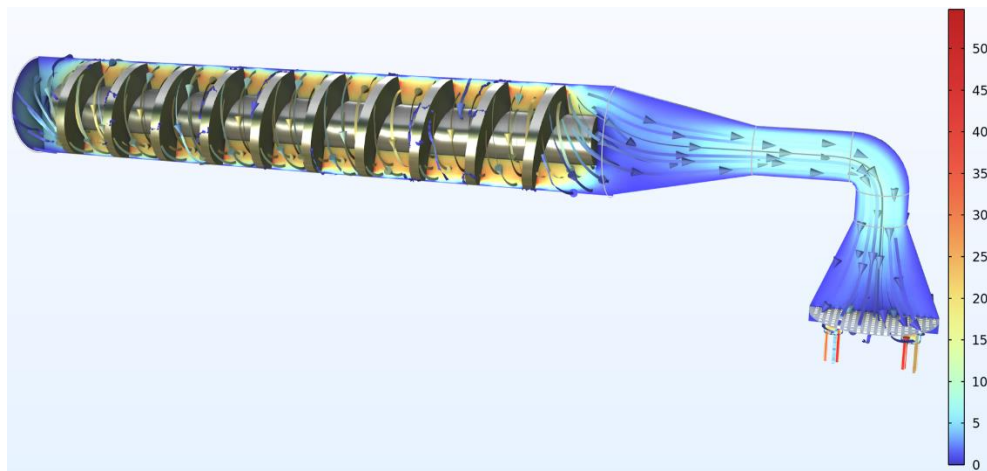


Рисунок 2.6 – Моделювання швидкості руху сировини всередині моделі екструдера для макаронних виробів

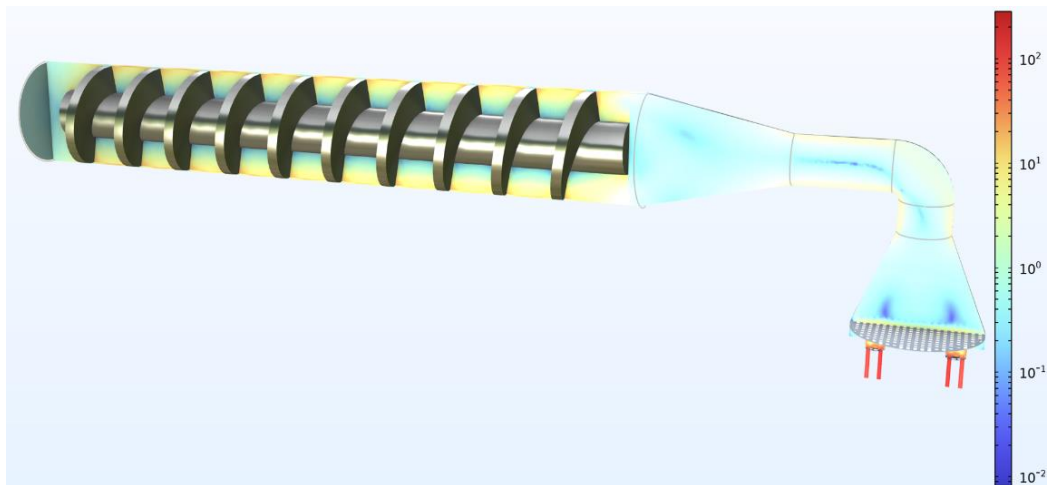


Рисунок 2.7 – Моделювання швидкості зсуву сировини всередині моделі екструдера для макаронних виробів

На основі вище зазначеного можна вважати, що екструзія харчових продуктів – це тип екструзії, що використовується в харчовій промисловості при якому суміш сировини проштовхується через отвір або матрицю з характерним для харчових продуктів малюнком, а потім обрізається за розміром лезами. Екструдери класифікуються: гарячі екструдери – під тиском часто використовуються для термомеханічної зміни сировини. В основному він використовується для виготовлення текстурованої їжі та кормових продуктів, таких як готові до вживання сухі сніданки та закуски. Холодні екструдери – для формування тіста в екструдері без використання прямого тепла або приготування. В основному використовується для виготовлення макаронних виробів у харчовій промисловості.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

В цілому можна виділити три класи екструдерів для використання в харчовій промисловості: поршневі, роликові і шнекові екструдери. Найчастіше використовуються шнекові екструдери, які можна розділити на одно- та двошнекові. У шнекових екструдерах ефективна конструкція шнека має першорядне значення для вирівнювання та оптимізації процесу екструзії. Основними характеристиками екструзійного шнека є довжина, відношення довжини до діаметра, відповідні довжини подачі, зони стиснення та нагнітання, ширина польоту, крок польоту та глибина польоту в кожній секції.

Зазначено, що стандартний одноступінчастий шнек екструдера розділений уздовж на зону подачі, зону пластифікації і дозуючу зону. У зоні подачі сировина подаються в шнек екструдера і транспортуються до зони стиснення. У зоні стиснення ще більше прискорюється ущільнення маси. В кінці області шнека відбувається остаточне формування виробу в так званій зоні матриці. Геометрія та дизайн матриці є критичними змінними для візуального вигляду (розмір, форма), а також для суттєвих сенсорних властивостей (текстури) виробів.

Зазначено, що геометрія шнеків безпосередньо впливає на пропускну здатність та ефективність перемішування сировини. Крок і глибина польоту мають важливе значення для визначення розмірів гвинтових елементів, оскільки ці параметри в поєднанні зі ступенем заповнення визначають тиск, який необхідний для протікання через область шнека по всій довжині процесу, і, крім того, впливають на структуру сировини. Якщо всі інші параметри процесу постійні, то час перебування в шнеку прямо пропорційний його довжині і обернено пропорційний швидкості обертання.

Запропоновано, у зв'язку з тим, що на перехідній і дозуючій стадіях відбувається більша частина формоутворення сировини, висунути загальну гіпотезу про те, що зменшивши секцію подачі та збільшивши в свою чергу дві інші секції гвинта можна покращити процес змішування і, отже, збільшити механічні властивості шнека.

Вважається, що серцем екструдера є екструзійний шнек або черв'як, який являє собою обертовий вал, поєднаний з гвинтоподібним лезом. Проблеми, які можуть виникнути всередині екструдера, включають: неповне змішування борошна і води, нерівномірний розподіл тиску та швидкість екструзії, погана циркуляція тіста, через що може утворитися цвіль. Екструдер розвиває менше зсуву, який необхідний для екструзії, щоб запобігти надмірному підвищенню температури, але більший час перебування в бочці, щоб забезпечити адекватне перемішування та контроль температури тіста. Усередині екструдера, завдяки механічній обробці сировини під дією гвинтового шнека, що обертається, продукти частково нагріваються за рахунок механічного тепла тертя і важливо обмежити це підвищення температури, інакше це призведе до липкого продукту. Температура тіста нерівномірна, особливо, близько до вихідного отвору. Термоізоляція екструдера може призвести до більш рівномірної температури на виході з шнекової секції, таким чином забезпечивши більш рівномірні властивості тіста до того, як тісто досягне насадки.

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

## РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1 Харчова цінність спагеті

Макаронні вироби є одними з найпоширеніших і найпопулярніших основних продуктів харчування завдяки своїй сенсорній та поживній цінності, а також доступним і нешвидкопсувним продуктом. Макарони є зручною та ситною їжею, але деякі види макаронних виробів містять порожні вуглеводи, що означає, що вони мають дуже низьку поживну цінність разом із калоріями. Страви на основі макаронних виробів можуть бути корисними за умови правильного розміру порцій і соусів чи начинок. Виготовляються з прісного тіста, суміші пшеничного борошна та води або яєць, а також різняться за розмірами та формою. Універсальність сировини дозволяє включати їх в супи, поєднувати з різними соусами, подавати в холодних салатах або навіть смажити.

Макарони багаті вуглеводами, які є джерелом енергії, також містять білок, особливо в яєчних макаронах, а також потенційні поживні речовини з додаткових інгредієнтів. Незалежно від того, чи вони свіжоприготовлені або зберігаються як сухі макарони про запас, вони залишаються основним продуктом у світових кухнях. Зростання світового ринку макаронних виробів зумовлене зміною споживчих уподобань, які віддають перевагу зручному та готовому до приготування їжі. Помітною тенденцією на ринку макаронних виробів є акцент на здоров'я та гарне самопочуття. Зростаюча перевага споживачів, щодо більш здорових макаронних виробів, стимулювала виробництво цілнозернових, висококліткових і збагачених макаронних виробів. На ринку спостерігається тенденція до макаронних виробів зі зниженим вмістом вуглеводів і посиленими білками, що узгоджується з дієтами з низьким вмістом вуглеводів (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Різновиди макаронних виробів

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Удосконалення процесу та обладнання для виготовлення макаронних виробів</b>			Літ.	Арк.	Аркушів		
Розроб.	Шамрієнко								36	10		
Перевір.	Омельченко							<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>				
Н. Контр.	Омельченко											
Затверд.	Цвіркун											

Спагеті є однією з найпопулярніших форм макаронних виробів і їх використовують в стравах у всьому світі. Більшість спагеті виготовляються з твердих сортів пшениці, тому вони містять багато складних вуглеводів, включаючи усі поживні речовини, які містяться в рафінованому білому борошні. Звичайні спагеті досить нейтральні, з точки зору дієти, але цільозернові спагеті можуть бути хорошим джерелом клітковини. Харчова цінність спагеті: калорій (221), жирів (1,3 г), натрію (1 мг), вуглеводів (43,2 г), волокон (2,5 г), цукру (0,8 г), білку (8,1 г), заліза (1,01 мг), фолієвої кислоти (115 мкг), тіаміну (0,42 мкг) [9, 10].

### 3.2 Методи вимірювання якісних параметрів макаронних виробів

На якість макаронних виробів впливає низка характеристик, з-поміж яких особливе місце посідають властивості сировини та виробничий процес виготовлення. Якість макаронних виробів можна встановити вимірявши найважливіші параметри якості макаронних виробів, а саме колір, твердість при варінні, текстурні властивості. Розглянемо методи, які найчастіше використовуються для вимірювання даних параметрів.

1. Колір. Високоякісні макаронні вироби, зазвичай, мають жовтий колір, який можна виміряти за допомогою різних методів. Найбільш широко використовуваною методикою є колориметрія. Вимірювання кольору за допомогою колориметра передбачає використання спектрофотометра відбиття, який через промінь світла у видимому діапазоні (400-800 нм) дозволяє вимірювати три колориметричні координати  $L^*$ ,  $a^*$  і  $b^*$  у вимірювальній системі [7, 10]. Колориметрична координата  $L^*$  являє собою значення освітленості в діапазоні 0 (чорний) – 100 (білий). Колориметрична координата  $A^*$  представляє діапазон кольорів зеленого (від'ємні значення) – червоного (додатні значення), а колориметрична координата  $B^*$  (жовтизна) представляє діапазон кольорів синій (від'ємні значення) – жовтий (позитивні значення). Саме колориметрична координата  $b^*$  набуває найбільшого значення, оскільки вона представляє жовтий колір. Інструмент простий у використанні, а результати можна отримати швидко. Тому він ідеально підходить для вимірювання під час вбудованого контролю продукту.

Ще одним методом, який можна використовувати для визначення кольору макаронних виробів є аналіз зображень. Техніка складніша, ніж колориметрія, оскільки для отримання вимірювання кольору потрібні різні етапи. Методика заснована на отриманні цифрового зображення і його подальшій обробці за допомогою спеціального програмного забезпечення. Зображення повинно бути оброблено з надзвичайною точністю і вимагає спеціального калібрування, щоб отримати вимірювання, що відповідає реальному кольору досліджуваного зразка. Через ці «обмеження» ця техніка не є практичною для потокового промислового контролю, але більше підходить для поглиблених досліджень і розробок макаронних виробів.

2. Твердість. Вимірювання твердості макаронних виробів під час варіння, як правило, пов'язане з двома різними параметрами: водою, що поглинається під час варіння і твердими речовинами втраченими під час варіння. Параметри

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

вимірюються на зразках макаронних виробів, які належним чином приготовлені. Визначення оптимального часу варіння проводиться шляхом вимірювання твердості зварених макаронних виробів за допомогою текстурометра. Розглянемо два основні методи вимірювання, які передбачають збір усії води для варіння макаронів.

Перший спосіб передбачає повне висушування води для приготування їжі в конвекційній печі при температурі 105°C до досягнення постійної ваги. Твердий залишок, що залишається після процедури сушіння, складається з твердих речовин, що виділяються макаронними виробами під час варіння. Якісні макаронні вироби з правильно структурованою глютенною мережею, як правило, втрачають невелику кількість твердих речовин під час приготування.

Другий спосіб передбачає відстоювання твердих речовин присутніх у воді для приготування їжі за допомогою використання прозорих конічних ємностей. Вода для варіння наливається в конус, а потім конус заповнюється доверху дистильованою водою (конус зазвичай вміщує один літр). Наступним етапом є перша фаза седиментації, яка триває 24 години [7, 10]. Потім слідує фаза перемішування, щоб рідина всередині конуса стала однорідною. Потім седиментація повторюється ще протягом 24 годин. Виділяються тверді речовини і вони відповідають об'єму осаду, що визначається зчитуванням відповідного рівня на градуйованих конусах.

3. Текстура. Текстурні властивості макаронних виробів після варіння є надзвичайно важливими хіміко-фізичними властивостями для оцінки якості макаронних виробів, враховуючи той факт, що вони являють собою деякі характеристики на які споживач у момент споживання більш всього звертає увагу. Тому виробництво макаронних виробів з певними характеристиками стає одним з найважливіших факторів для галузі, яка націлена на продаж якісного продукту. Вимірювання цих властивостей має принципове значення для макаронних виробів. На основі результатів, отриманих в результаті вимірювання властивостей текстури, виробник макаронних виробів може внести деякі зміни до рецептури або виробничого процесу з метою удосконалення свого продукту.

Для того, щоб оцінити якість макаронних виробів після варіння, необхідно враховувати кілька параметрів, такі як твердість, пружність, липкість, зв'язність. Для вимірювання цих характеристик протягом багатьох років розроблялися численні сенсорні та інструментальні тести [7, 8, 10]. Сенсорні методи можуть бути надзвичайно корисними для відстежування зміни якості макаронних виробів з часом. Однак, сенсорну оцінку слід розглядати як суб'єктивну методику. Дослідження показують, що співвідношення між даними, отриманими за допомогою сенсорних та інструментальних методів, дуже варіативні. Порівняння результатів різних панелей здатне лише розрізнити основні відмінності між зразками.

Сенсорний аналіз також має недолік у тому, що він надзвичайно дорогий і складний в управлінні, коли зразки дуже малі або в надмірній кількості. На етапі дослідження може навіть знадобитися підготувати 40-50 зразків сенсорного смаку за один день. Для того, щоб уникнути цих проблем, були розроблені різні інструментальні методи, які є більш швидкими, значно дешевшими і, що

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

найважливіше, гарантують більш об'єктивну інтерпретацію властивостей [7]. Вимірювання текстури можуть бути проведені шляхом нанесення дрібних або великих деформацій на досліджуваний зразок. Реометри можна використовувати для вимірювання фундаментальних реологічних властивостей варених макаронних виробів шляхом застосування невеликих деформацій. При великих деформаціях використовують динамометр, який у більшості випадків є аналізатором текстур.

У промисловому виробництві застосовується обладнання, яке може точно виміряти зразки макаронних виробів на міцність. Міцність на розрив сушених макаронних виробів може дати точне уявлення про їх крихкість або гнучкість, що відображає вплив інгредієнтів, які використовуються для їх виготовлення і можливе поглинання вологи.

1. Випробування на триточковий вигин застосовує тиск до центру сухого зразка спагетті, локшини або листових макаронних виробів, аналізуючи силу, прикладену до того, як зразок досягне точки розриву (рис. 3.2). Це дає точне уявлення про міцність макаронних виробів, дозволяючи виробникам досліджувати дефекти готових продуктів і, отже, усувати їх [7, 8]. Обладнання для випробування спагетті на згинання представлено на рисунку 3.3. Сирі спагетті розрізають на відому довжину і розміщують між верхньою та нижньою опорами. Потім прикладається сила, що змушує зразок згинатися до точки розриву. Низька сила вказує на слабкий продукт, тоді як висока сила означає міцність продукту.



Рисунок 3.2 – Дослідження спагетті на вигин



Рисунок 3.3 – Дослідження спагетті на згинання

У варених макаронних виробах твердість, липкість і міцність на розрив дає гарне уявлення про якість продукту (рис. 3.4). Твердість визначається середнім числом сил, що використовуються для прорізання зразка.

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39



Рисунок 3.4 – Дослідження спагеті на твердість

Обладнання для дослідження спагеті на липкість представлено на рисунку 3.5. Використовується прямокутний алюмінієвий зонд для оцінки властивостей макаронних виробів. Зонд прикладає силу стиснення до зразка зверху, а потім відходить з максимальною швидкістю [7, 8]. Обладнання для дослідження спагеті на розтягування та натяг петель макаронних виробів або листа локшини (рис. 3.6). Оцінюється еластичність і міцність на розрив, вказуючи на те, як продукт працюватиме під час приготування їжі або під час транспортування, наприклад, у складі готової страви.



Рисунок 3.5 – Дослідження спагеті на липкість

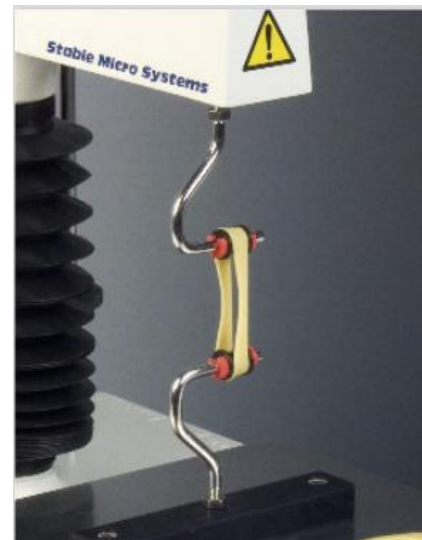


Рисунок 3.6 – Дослідження спагеті на еластичність

На основі вище зазначеного, можна вважати, що на сьогодні якість макаронних виробів вимірюється за допомогою здатності поглинати воду під час варіння та сенсорних тестів на твердість, міцність, еластичність, липкість. Для вимірювання текстури макаронних виробів було винайдено багато приладів. Сьогодні зростає міжнародна торгівля макаронними виробами та



твердою пшеницею, а це означає, що стандартизовані методи вимірювання якості твердих сортів та макаронних виробів набувають все більшого значення.

### 3.3 Дослідження якісних параметрів спагеті

Макарони є одним із найбільш споживаних продуктів у світі завдяки своїй універсальності, легким умовам приготування та зберігання. Кулінарні властивості макаронних виробів визначаються різними параметрами, такими як оптимальний час приготування, втрати при варінні та текстура. Якісна поведінка макаронних виробів під час варіння залежить від їх структури. Оптимальний час приготування – час, необхідний для того, щоб непрозора центральна серцевина макаронних виробів зникла.

Макарони приготовлені за оптимальних умов характеризуються відповідною твердістю та об'ємом, відсутністю липкості та низькими втратами при варінні. Колір є важливим атрибутом макаронних виробів, бо впливає на сенсорне сприйняття споживачами, які, як правило, віддають перевагу яскраво-жовтому кольору, як зерна пшениці. Колір макаронних виробів також залежить від суміші різних інгредієнтів у їх рецептурі і тому часто можна зустріти макарони з різними кольорами.

Якість макаронних виробів можна виміряти за зовнішнім виглядом, текстурою та смаком. Якісні фактори макаронних виробів можна розділити на такі параметри: зовнішній вигляд (розмір, колір і форма), аромат (смак і запах), текстура (дотик і звук) і харчова цінність (вуглеводи, білки, жири, мінерали і вітаміни). Перші три фактори також відомі як сенсорні. Харчова цінність макаронних виробів важлива, але сенсорні фактори дають споживачам сенсорне задоволення під час їжі, якого не дає харчовий фактор.

Дослідження спрямоване на аналіз якісних показників макаронних виробів, а саме колір, форма, текстура. Для цього було відварено три зразки макаронних виробів. Варіння макаронних виробів включає клейстеризацію, процес, під час якого гранули крохмалю поглинають воду та набухають. Час приготування та температура макаронних виробів є вирішальними факторами, які визначають їх текстуру. Переварювання може призвести до втрати структурної цілісності, оскільки гранули крохмалю продовжують поглинати воду та надмірно клейстеризуватися. Недоварювання може залишити макарони з сирим, крохмалистим смаком і небажаною текстурою [1, 2]. Додавання солі у воду для варіння має значний вплив на смак і текстуру макаронів. Сіль допомагає посилити загальний смак макаронів, додаючи в процес приготування приправи. Крім того, він впливає на процес клейстеризації крохмалю, роблячи макарони більш стійкими до переварювання та в результаті роблячи їх з більш твердою текстурою.

Для дослідження було використано три види спагеті. Спагеті – класична італійська страва, яка стала основною стравою в багатьох домогосподарствах по всьому світу. Приготування ідеальних спагетті складається з кількох етапів і один із найважливіших – відварювання локшини до потрібної консистенції. Ідеальний час приготування спагеті зазвичай становить від 8 до 10 хвилин. Проте, це лише загальні рекомендації, які можуть дещо відрізнитися залежно

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

від марки та товщини спагеті. Щоб отримати ідеальну текстуру, почнемо перевіряти готовність локшини приблизно через 8 хвилин. Візьмемо шматочок та спробуємо, щоб побачити, чи він приготувався до бажаного рівня твердості.

Можна розрахувати оптимальний час приготування. Метод передбачає варіння певної кількості спагеті в дистильованій воді, а потім стиснення однієї нитки спагеті між двома тонкими скляними пластинами в різний час приготування. Оптимальний час приготування відповідає часу, необхідному для зникнення «білого ядра» (неклеїстеризованого крохмалю) в серцевині нитки після стиснення [7, 8]. Після варіння макарони необхідно обережно злити та охолодити протягом стандартизованого періоду часу, який завжди підтримується постійним. Воду, що поглинається під час варіння можна виміряти, зваживши макарони після варіння та порівнявши з їх початковою вагою. Занадто тривале приготування може призвести до перевареної та кашоподібної консистенції, тоді як недоварювання може зробити локшину жорсткою. Тому дуже важливо уважно стежити за процесом приготування, щоб досягти найкращих результатів.

Всі дослідні зразки відварювалися 8 хвилин з додаванням солі. Прийнято вважати, що основним критерієм загальної якості приготування макаронних виробів є оцінка текстури. Бажано, щоб варені макарони не були липкими або кашоподібними при вживанні і демонстрували деяку твердість під час вживання. Зразок №1 після готовності мав золотистий колір, текстура не була липкою, кашоподібною, проте дещо неоднорідної форми та з деякими дефектами на поверхні після приготування (рис. 3.7).

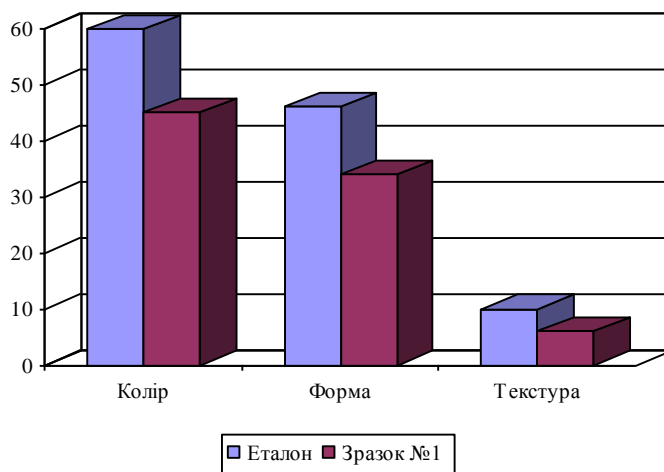


Рисунок 3.7 – Порівняння критеріїв якості

Спагеті повинні мати сірувато-бурштиновий колір, а не яскраво жовтий. Занадто жовті макарони є результатом високотемпературного сушіння, що призводить до втрати (або спалювання) крохмалю, а також може залишити гіркий присмак через карамелізацію цукрів. Колір пшениці має бути більше схожий на золотисту слонову кістку, що свідчить, що макаронні вироби висушені при низьких температурах. Найкращі макарони непрозорі та пористі без тріщин і розколів. Макарони, висушені занадто швидко втрачають свою

еластичність з ризиком того, що вони можуть розвалитися навіть під час варіння. Якісні макаронні вироби виділяють мало крохмалю і тому варяться у воді, яка залишається прозорою. Зразок №2 після готовності мав сірувато-бурштиновий колір, текстура не була липкою, кашоподібною, форма однорідна (рис. 3.8).

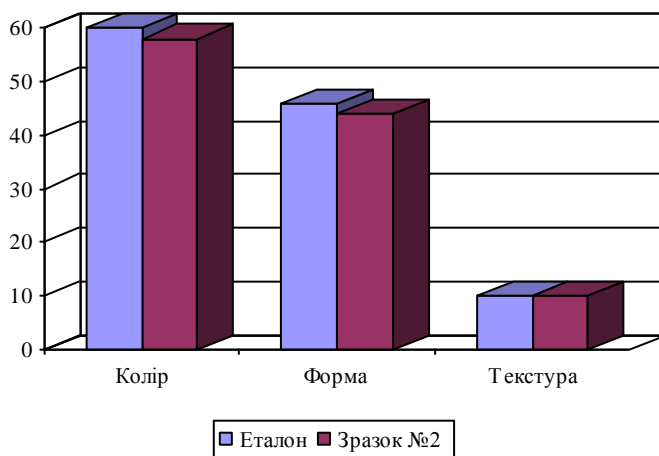


Рисунок 3.8 – Порівняння критеріїв якості

До якості макаронних виробів можна підійти за кількома параметрами, такими як втрати при варінні, твердість, колір і загальні сенсорні якості, які описують органолептичні властивості макаронних виробів. Тверді та еластичні макарони, відсутність липкості є синонімами відповідної якості макаронних виробів. Колір також має великий вплив на споживчі переваги і його слід враховувати для опису якостей макаронних виробів. Зразок №3 після готовності мав білувато-жовтуватий колір, текстура була трішки липкою, форма дещо не однорідна (рис. 3.9).

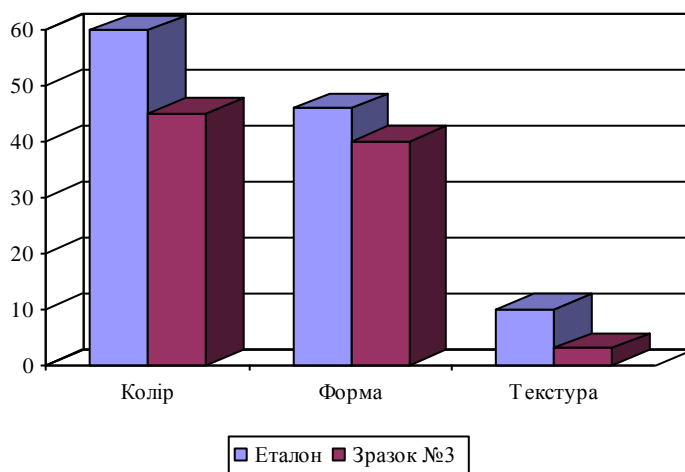


Рисунок 3.9 – Порівняння критеріїв якості

Для вимірювання еластичності макаронних виробів здійснено стискання на певну відстань і утримання деякий час. Спостерігається, що еластичність

зменшується з часом. Залежність еластичності спагеті від часу наведено на рисунку 3.10.

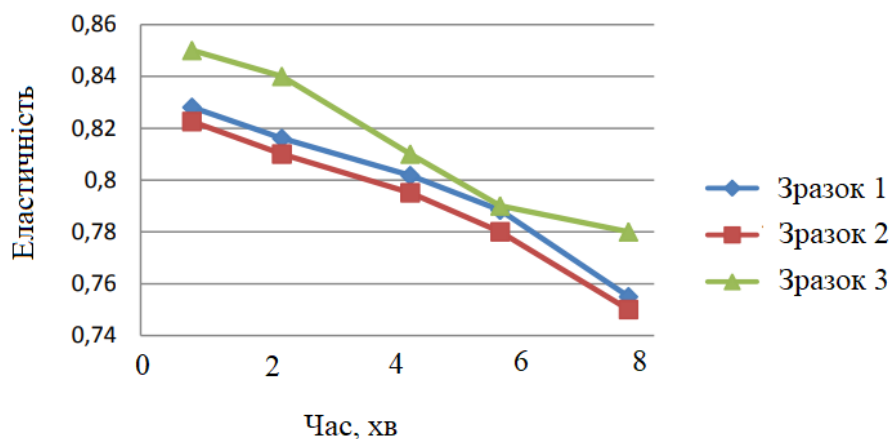


Рисунок 3.10 – Залежність еластичності спагеті від часу

Різні марки макаронних виробів вказують на майже однакову твердість зразків. Залежність твердості спагеті від часу наведено на рисунку 3.11.

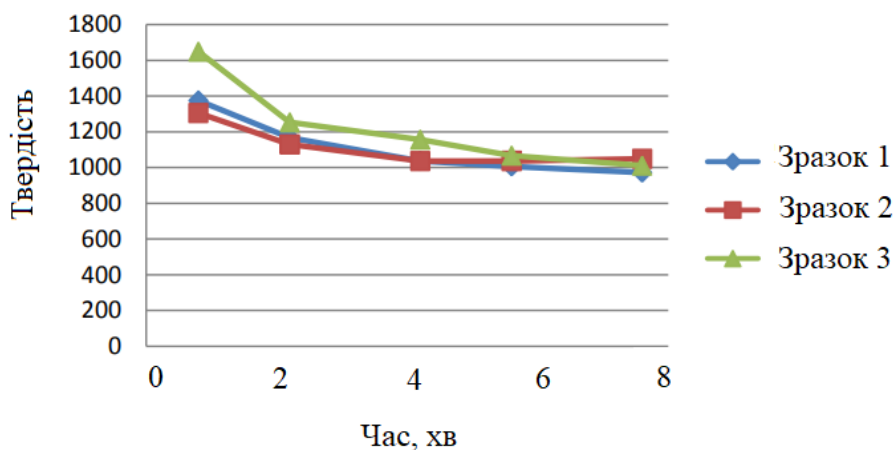


Рисунок 3.11 – Залежність твердості спагеті від часу

Якість макаронних виробів вимірювалася за зовнішнім виглядом, текстурою та смаком. Якісні фактори макаронних виробів можна розділити на така параметри: зовнішній вигляд (розмір, колір і форма), аромат (смак і запах), текстура (дотик). Перші три фактори також відомі як сенсорні. Харчова цінність макаронних виробів важлива, але сенсорні фактори дають споживачам сенсорне задоволення під час їжі, якого не дає харчовий фактор. Якісні показники трьох дослідних зразків спагеті наведено в таблиці 3.1.

На основі вище зазначеного, можна вважати, що макарони є одним із найбільш споживаних продуктів у світі завдяки своїй універсальності, легким умовам приготування та зберігання. Кулінарні властивості макаронних виробів визначаються різними параметрами, такими як оптимальний час приготування, втрати при варінні та текстура. Оптимальний час приготування – час,

необхідний для того, щоб непрозора центральна серцевина макаронних виробів зникла.

Таблиця 3.1 – Якісні показники досліджуваних зразків спагеті

Зразок	Найменування показника	Характеристика
№1	Зовнішній вигляд	Не злипаються, не кашоподібні, дещо неоднорідної форми та з деякими дефектами на поверхні після приготування.
	Колір	Золотистий, в міру яскравий.
	Текстура	Тверді та еластичні.
№2	Зовнішній вигляд	Не злипаються, не кашоподібні, однорідної форми, без дефектів на поверхні після приготування.
	Колір	Сірувато-бурштиновий колір, в міру яскравий.
	Текстура	Тверді та еластичні.
№3	Зовнішній вигляд	Не злипаються, не кашоподібні, дещо неоднорідної форми, без дефектів на поверхні після приготування.
	Колір	Білувато-жовтуватий, насичений.
	Текстура	В міру тверді та еластичні.

Зазначено, що на сьогодні якість макаронних виробів вимірюється за допомогою здатності поглинати воду під час варіння, сенсорних тестів та обладнання, яке уможливорює вимірювання на твердість, міцність, еластичність, липкість. Якість макаронних виробів можна виміряти за зовнішнім виглядом, текстурою та смаком. Якісні фактори макаронних виробів можна розділити на такі параметри: зовнішній вигляд (розмір, колір і форма), аромат (смак і запах), текстура (дотик) і харчова цінність (вуглеводи, білки, жири, мінерали і вітаміни). Перші три фактори також відомі як сенсорні. Харчова цінність макаронних виробів важлива, але сенсорні фактори дають споживачам сенсорне задоволення під час їжі, якого не дає харчовий фактор.

Досліджено якісні показники трьох зразків спагеті, а саме колір, форма, текстура. Зразок №1 після приготування мав золотистий, в міру яскравий колір, зразок не злипався, був не кашоподібним, проте мав дещо неоднорідну форму та з деякими дефектами на поверхні після приготування, тверду та еластичну текстуру.

Зразок №2 після приготування мав сірувато-бурштиновий колір, в міру яскравий, зразок не злипався, був не кашоподібним, не мав дефектів на поверхні після приготування, тверду та еластичну текстуру.

Зразок №3 після приготування мав білувато-жовтуватий, насичений колір, зразок не злипався, був не кашоподібним, проте мав дещо неоднорідну форму, без дефектів на поверхні після приготування, в міру тверду та еластичну текстуру.

## ВИСНОВКИ

Бакалаврська робота присвячена удосконаленню процесу та обладнання для виготовлення макаронних виробів. У роботі зазначено, що макарони є універсальним і улюбленим продуктом у багатьох кухнях світу. Вони мають багату історію, яка еволюціонувала, щоб запропонувати різноманітний спектр форм, смаків та текстур. Макаронні вироби продовжують захоплювати смакові рецептори своїм широким спектром варіантів і кулінарних можливостей.

У першому розділі здійснено аналіз технологічного процесу виготовлення макаронних виробів. Сучасні тенденції розвитку макаронної промисловості характеризується комплексною механізацією процесів на основі впровадження безперервно діючих потокових ліній з автоматичним контролем та регулюванням технологічних режимів. Останніми роками відбулися значні успіхи в галузі виготовлення макаронних виробів, революціонізувавши галузь завдяки інноваційним технологіям, інгредієнтам та обладнанню, що розширило можливості для створення унікальних і більш здорових варіантів макаронної сировини.

Узагальнено параметри, що впливають на якість тіста макаронних виробів у процесі усіх етапів, включаючи приготування, формування та сушіння тіста, кожен з яких відіграє вирішальну роль у виробництві високоякісних макаронних виробів.

Сконцентровано увагу на тому, що макаронні вироби можуть мати дефекти, які викликані двома основними причинами: якістю борошна, що застосовується та відхиленням від оптимальних режимів проведення окремих стадій технологічного процесу. На виробі можуть бути тріщини, що характеризується наявністю лінії зламу, довжиною від декількох до багатьох міліметрів. Якщо тріщини дуже великі і глибокі або розгалужені, шматочки макаронів можуть зламатися під час варіння. Основні дефекти макаронних виробів: злипання виробів між собою, деформована поверхня, цятки в макаронах, білі плями і смуги, тріщини, зім'яті торці трубчастих виробів.

Другий розділ присвячено удосконаленню обладнання для виготовлення макаронних виробів Екструзія харчових продуктів – це тип екструзії, що використовується в харчовій промисловості при якому суміш сировини проштовхується через отвір або матрицю з характерним для харчових продуктів малюнком, а потім обрізається за розміром лезами. Екструдери класифікуються: гарячі екструдери використовується для виготовлення текстурованої їжі та продуктів, таких як готові до вживання сухі сніданки та закуски. Холодні екструдери – для формування тіста в екструдері без використання прямого тепла, а саме для виготовлення макаронних виробів.

Зазначено, що стандартний одноступінчастий шнек екструдера розділений уздовж на зону подачі, зону пластифікації і дозуючу зону. У зоні

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Шамрієнко			<b>Удосконалення процесу та обладнання для виготовлення макаронних виробів</b>	Літ.	Арк.	Аркушіє
Перевір.		Омельченко					46	2
Н. Контр.		Омельченко				<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>		
Затверд.		Цвіркун						

подачі сировина подаються в шнек екструдера і транспортуються до зони стиснення. У зоні стиснення ще більше прискорюється ущільнення маси. В кінці області шнека відбувається остаточне формування виробу в так званій зоні матриці. Геометрія та дизайн матриці є критичними змінними для візуального вигляду (розмір, форма), а також для суттєвих сенсорних властивостей (текстури) виробів.

Геометрія шнеків безпосередньо впливає на пропускну здатність та ефективність перемішування сировини. Крок і глибина польоту мають важливе значення для визначення розмірів гвинтових елементів, оскільки ці параметри в поєднанні зі ступенем заповнення визначають тиск, необхідний для протікання через область шнека по всій довжині процесу, і, крім того, впливають на структуру сировини. Якщо всі інші параметри процесу постійні, то час перебування в шнеку прямо пропорційний його довжині і обернено пропорційний швидкості обертання.

Запропоновано, у зв'язку з тим, що на перехідній і дозуючій стадіях відбувається більша частина формоутворення сировини, висунути загальну гіпотезу про те, що зменшивши секцію подачі та збільшивши в свою чергу дві інші секції гвинта можна покращити процес змішування і, отже, збільшити механічні властивості шнека.

Вважається, що серцем екструдера є екструзійний шнек або черв'як, який являє собою обертовий вал, поєднаний з гвинтоподібним лезом. Проблеми, які можуть виникнути всередині екструдера, включають: неповне змішування борошна і води, нерівномірний розподіл тиску та швидкість екструзії, погана циркуляція тіста, через що може утворитися цвіль. Температура тіста нерівномірна, особливо, близько до вихідного отвору. Термоізоляція екструдера може призвести до більш рівномірної температури на виході з шнекової секції, таким чином забезпечивши більш рівномірні властивості тіста до того, як тісто досягне насадки.

Здійснено моделювання швидкості руху сировини всередині екструдера для макаронних виробів.

У третьому розділі здійснено дослідження якісних параметрів спагеті. Якість макаронних виробів можна виміряти за зовнішнім виглядом, текстурою та смаком. Якісні фактори макаронних виробів можна розділити на такі параметри: зовнішній вигляд (розмір, колір і форма), аромат (смак і запах), текстура (дотик) і харчова цінність (вуглеводи, білки, жири, вітаміни).

Досліджено якісні показники трьох зразків спагеті, а саме колір, форма, текстура. Зразок №1 після приготування мав золотистий, в міру яскравий колір, зразок не злипався, був не кашоподібним, проте мав дещо неоднорідну форму та з деякими дефектами на поверхні після приготування, тверду та еластичну текстуру. Зразок №2 після приготування мав сірувато-бурштиновий колір, в міру яскравий; зразок не злипався, був не кашоподібним, не мав дефектів на поверхні після приготування, тверду та еластичну текстуру. Зразок №3 після приготування мав білувато-жовтуватий, насичений колір, зразок не злипався, був не кашоподібним, проте мав дещо неоднорідну форму, без дефектів на поверхні після приготування, в міру тверду та еластичну текстуру. Інтерпретовано результати дослідження.

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Pahulpreet Kaur. Recent advances in the pasta making. *The Pharma Innovation Journal*. 2023. Vol. 12(7). P. 2698–2702.
2. 44 types of pasta and when you should be using them. URL: <https://www.tastingtable.com/764058/types-of-pasta-and-when-you-should-be-using-them/>
3. Extruding and drying of pasta. URL: [https://www.academia.edu/32989147/Extruding\\_and\\_Drying\\_of\\_Pasta](https://www.academia.edu/32989147/Extruding_and_Drying_of_Pasta).
4. Pasta-making process: A narrative review on the relation between process variables and pasta quality. URL: <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/3/256>.
5. Домарецький В.А., Остапчук М.В., Українець А.І. Технологія харчових продуктів. За ред. д-ра техн. наук., проф. А.І. Українця. К.: НУХТ, 2003. 572 с.
6. Подпряттов Г.І., Скалецька Л.Ф., Сеньков А.М. Зберігання і переробка продукції рослинництва. К.: Мета, 2002. 495 с.
7. Measuring pasta quality parameters. URL: <https://pastaria.it/measuring-pasta-quality-parameters/?lang=en>.
8. Pasta's invariable variables. URL: <https://www.asiafoodjournal.com/2019/05/15/pastas-invariable-variables/>
9. Spaghetti nutrition facts and health benefits. URL: <https://www.verywellfit.com/is-pasta-bad-for-your-health-2506879>.
10. Спагеті: опис, склад, калорійність і харчова цінність. Режим доступу: <https://jak.bono.odessa.ua/articles/spageti-opis-sklad-kalorijnist-i-harchova-cinnist.php>.
11. Юрчак В.Г. Дослідження макаронних властивостей цільнозернового пшеничного борошна // Наукові праці Національного університету харчових технологій. 2012. № 47. С. 123–128.
12. A review on the improvement of extruded food processing equipment: extrusion cooking in food processing // *Food Science and Technology*. 2023. Vol. 12(7). P. 1–7.
13. Застосування екструзії у виробництві нових харчових продуктів. Режим доступу: <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/396046db-8ec0-478a-b53a-6c266b6c8974/content>
14. Екструдер. Режим доступу: <https://ainuokmachinery.com/uk>.
15. Single-screw extrusion: introduction and troubleshooting. URL: [https://www.hanserpublications.com/SampleChapters/9781569904480\\_SAMPLE%20/0CHAPTER%20Campbell-Spalding.pdf](https://www.hanserpublications.com/SampleChapters/9781569904480_SAMPLE%20/0CHAPTER%20Campbell-Spalding.pdf).
16. Pasta alla simulazione: modeling an extruder. URL: <https://www.comsol.com/blogs/pasta-alla-simulazione-modeling-an-extruder-in-comsol/>.
17. Design and evaluation of general purpose, barrier, and multichannel plasticating extrusion screws. URL: <https://4spepublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/pen.25333>.
18. Богомолів О.В. Управління якістю переробних і харчових виробництв. Харків: Еспада. 2006. 296 с.

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48