

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

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

**Удосконалення технології виробництва крупи
гречаної, що не потребує варіння**

Виконав: здобувач вищої освіти 4 курсу,
групи ХТ-1-2-21
освітньо-професійної програми «Харчові технології»
зі спеціальності 181 «Харчові технології»

_____ Дмитро БАБЕНКО

Керівник: _____ Дмитро ТИМЧАК

Рецензент: _____

Дніпро 2025

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Освітньо-професійна програма: «Харчові технології»

Спеціальність: 181 «Харчові технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

харчових технологій,

кандидат технічних наук, доцент

Віталій КОШУЛЬКО

(підпис)

«07» травня 2025 р.

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

Бабенку Дмитру Олексійовичу

1. Тема роботи: «Удосконалення технології виробництва крупи гречаної, що не потребує варіння».

Керівник роботи: Тимчак Дмитро Олександрович, старший викладач, затверджені наказом закладу вищої освіти від «07» травня 2025 року № 963.

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 09 червня 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи: 1. Технологія виробництва крупи гречаної та круп, що не потребують варіння. 2. Наукова, нормативна, технологічна, технічна та патентна документація.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1 Огляд літератури. 2 Методика проведення досліджень. 3 Дослідна частина. 4 Охорона праці. 5 Економічна частина. Загальні висновки. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	ст. викладач Дмитро ТИМЧАК	07.05.25	09.06.25

7. Дата видачі завдання 07 травня 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	07.05-08.05.25	виконано
2	Огляд літератури	09.05-14.05.25	виконано
3	Методика проведення досліджень	15.05-16.05.25	виконано
4	Дослідна частина	17.05-31.05.25	виконано
5	Охорона праці	01.06-02.06.25	виконано
6	Економічна частина	02.06-03.06.25	виконано
7	Формулювання висновків по роботі та списку використаних джерел	04.06-05.06.25	виконано
8	Підготовка демонстраційного матеріалу	06.06-09.06.25	виконано

Здобувач вищої освіти _____ Дмитро БАБЕНКО
(підпис)

Керівник роботи _____ Дмитро ТИМЧАК
(підпис)

РЕФЕРАТ

Тема: «Удосконалення технології виробництва крупи гречаної, що не потребує варіння»

Кваліфікаційна робота бакалавра: 63 с., 11 рис., 13 табл., 45 літературних джерел.

Об'єкт дослідження: технологія виробництва крупи.

Метою роботи є розробка нових технологічних режимів для виробництва крупи гречаної, що не потребує варіння.

Методи дослідження: Технічний аналіз зерна гречки проводили відповідно до ДСТУ 3768:2019 «Зерно. Загальні технічні умови». Визначення бур'янів, зернових домішок та крупності зерна – за ДСТУ ISO 7970:2007 «Зерно. Визначення домішок». Визначення зараженості та пошкодження зерна шкідниками – за ДСТУ ISO 6322:2003 «Зерно. Методи визначення шкідників». Визначення запаху та кольору зерна – відповідно до методичних рекомендацій, що відповідають ДСТУ ISO 8589:2010 (для оцінки запаху) та ДСТУ ISO 7724 (для оцінки кольору). Визначення вологості зерна – за ДСТУ ISO 712:2000 «Зерно. Метод визначення вологості». Технологічні результати переробки зерна на крупу оцінювали за загальноприйнятими показниками: коефіцієнту лущення; виходу цілого ядра (крупи ядриці); виходу дробленого ядра (проділу).

В роботі досліджено технологію отримання повітряної крупи з зерна гречки за допомогою пропарювання та подальшого підривання під впливом стисненого повітря. Встановлено вплив параметрів пропарювання та тиску стисненого повітря на вихід, щільність, набухання і вміст декстринів у підірваній крупі. Розроблено лабораторну установку для проведення термічної обробки та підривання зерна, що забезпечує оптимальні умови для отримання якісного продукту. Доведено, що використання режимів пропарювання при тисках 0,3–0,5 МПа і подальший вплив стисненого повітря тиском 1,0–1,2 МПа дозволяє отримати крупу з високими технологічними характеристиками. Результати досліджень можуть бути використані для удосконалення промислових технологій виробництва повітряної крупи.

КЛЮЧОВІ СЛОВА

Гречка, гречана крупа, крупа, що не потребує варіння, повітряна крупа, харчові концентрати, пара, пропарювання, лущення.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	7
1.1 Аналіз основних технологій виробництва круп, що не потребують варіння	7
1.1.1 Технологія виробництва варено-сушених круп	7
1.1.2 Виробництво пластівців та круп з використанням інфрачервоного випромінювання	15
1.2 Технологічні аспекти виробництва повітряного зерна	19
1.3 Вплив волого-теплової обробки на властивості круп'яної сировини	24
2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	28
2.1 Характеристика використаної сировини	28
2.2 Методики дослідження	30
2.3 Дослідна установка для отримання повітряної крупи	31
3 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	33
3.1 Дослідження процесу пропарювання зерна	33
3.2 Дослідження процесу лушення зерна гречки парою	38
3.3 Дослідження процесу отримання повітряної ядриці	41
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	46
4.1 Аналіз основних небезпек на круп'яному підприємстві	46
4.2 Розробка картки охорони праці	49
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	51
5.1 Розрахунок кошторису витрат на дослідження	51
5.2 Розрахунок ціни дослідження	55
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	57
БІБЛІОГРАФІЯ	59

ВСТУП

Харчові концентрати – це продукти, майже повністю готові до вживання, з яких видалено значну частину вологи для забезпечення тривалого зберігання. В залежності від кулінарного призначення та технологічних особливостей виробництва, їх поділяють на шість основних груп: обідні страви, сухі продукти для дитячого та дієтичного харчування, дієтичні вівсяні вироби (пластівці геркулес, толокно), а також сухі сніданки – пластівці, палички, повітряні зерна. Загальний асортимент налічує понад 400 позицій. Найбільшою групою є концентрати обідніх страв – понад 270 найменувань, що становить 58,5% від загального обсягу продукції. Асортимент сухих сніданків включає близько 30 найменувань і займає приблизно 10% у загальній структурі виробництва.

Продукція цієї галузі орієнтована на споживачів, які з тих чи інших причин не мають змоги швидко та зручно приготувати повноцінні страви.

У перехідний період розвитку підприємств (1991–1998 рр.), за інформацією НДІ харчоконцентратної та спеціальної харчової технології, виробництво круп, які не потребують варіння, скоротилося в 2,8 рази. Загалом по Україні споживання харчових концентратів було нижчим, ніж у розвинених країнах ще на початку 1990-х. Наприклад, у 1990 році середньолюднине споживання харчових концентратів у США перевищувало 12 кг, у Німеччині – близько 10 кг, у Франції – понад 8 кг. В Україні ж обсяг споживання перших та других обідніх страв складав 634 г, сухих сніданків – 280 г, кавових продуктів – 334 г.

Крім того, майже всі круп'яні вироби, які не потребують термічної обробки, виробляються спеціалізованими підприємствами харчоконцентратної галузі, що розташовані переважно в європейській частині України. У Дніпропетровській області випуск таких продуктів майже відсутній – єдине круп'яне підприємство (ТОВ «Стас і К») займається лише впровадження таких технологій та технологічних схем.

У цьому контексті особливої актуальності набуває питання забезпечення населення України круп'яними продуктами, що не потребують варіння, не за

рахунок постачання готової продукції з Європейського Союзу чи через імпорт з інших країн, а шляхом розвитку власної виробничої бази.

Розширення асортименту харчових концентратів на основі круп і сухих сніданків також є важливим завданням. Наразі продукція на базі гречаної крупи переважно представлена варено-сушеними крупами, круп'яними паличками та борошном для дитячого і дієтичного харчування. Виробництво гречаних пластівців розпочалося лише нещодавно. Продукти, отримані шляхом спучування гречаної крупи, виготовляються обмежено через специфічну структуру ядра гречки.

Основною технологією виготовлення круп, що не потребують варіння, залишається складний і енерговитратний процес термічної обробки з наступним сушінням. У зв'язку з цим актуальним є розроблення енергоефективних технологій для виробництва таких продуктів, які можна було б впроваджувати на діючих круп'яних підприємствах.

Саме тому метою роботи визначено розробку нових технологічних режимів для виробництва гречаної крупи, що не потребує варіння.

Для реалізації поставленої мети було визначено ряд завдань:

- дослідити вплив технологічних параметрів процесу пропарювання зерна на якість крупи, що використовується для виробництва підірваної крупи, яка не потребує варіння;
- дослідити процес зерна гречки парою;
- визначити раціональні параметри процесу одержання повітряної крупи.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Аналіз основних технологій виробництва круп, що не потребують варіння

1.1.1 Технологія виробництва варено-сушених круп

Найбільш дослідженим і поширеним методом виробництва круп, що не потребують варіння, є технологія виготовлення варено-сушених продуктів. Згідно з класифікацією, запропонованою вітчизняними вченими, залежно від характеру та інтенсивності технологічної обробки, виділяють три основні типи варено-сушених круп:

- «стандартні варено-сушені крупи, до яких належать рис, ячна, гречка, перлова, пшенична, кукурудзяна та пшоняна. Їх отримують шляхом варіння та подальшого сушіння попередньо очищеної й промитої сировини» [1];

- «варено-сушені крупи з підвищеною швидкістю розварювання, наприклад гречана та пшенична, які виготовляються методом гідратації (подвійної обробки водою під час варіння), або шляхом механічної обробки у процесі сушіння, зокрема плющенням (перлова, пшенична, вівсяна, кукурудзяна)» [2];

- «варено-сушені крупи, що не потребують варіння, які отримують в результаті глибокої гідротермічної та механічної обробки (переважно плющенням) під час сушіння – до них належать перлова, пшенична, гречана та рисова крупи» [3].

Варено-сушені горох і квасолу виготовляють виключно у вигляді продуктів, що швидко розварюються, за технологією другого типу.

Гречана крупа, яка не потребує варіння, повинна відповідати вимогам, а також показникам якості, наведеним у табл.1.1. «Для того щоб крупа не потребувала варіння, їй необхідно надати здатність набухати у воді незалежно від її температури» [4]. Цього досягають шляхом варіння сировини у спеціальному варильному апараті з подальшим двоетапним сушінням та проміжним плющенням на вальцьовому обладнанні з рифленими валками. Згідно з рекомендаціями, технологічна схема виробництва варено-сушених круп включає такі основні етапи

(рис. 1.1): очищення сировини від сторонніх домішок, промивання, гідротермічну обробку (варіння), сушіння та плющення.

Таблиця 1.1 – Органолептичні та фізико-хімічні характеристики якості гречаної крупи, що не потребує варіння

Показник	Нормативне значення чи опис
Вигляд	Повинен відповідати зовнішньому вигляду цього виду крупи після традиційного приготування. Допускається наявність частково деформованих крупинок.
Смак і аромат	Властиві вареній крупі цього виду, без сторонніх запахів і присмаку.
Консистенція	Повинна бути м'якою, розсипчастою або злегка в'язкою, залежно від ступеня набухання.
Вологість, % (не більше)	10,0
Вміст дрібних фракцій (прохід через сито №3)	Не регламентується
Час відновлення у воді, хв (не більше)	10,0
Вміст металевих домішок (феродомішок), мг/кг	Не більше 3,0
Максимальний розмір частинок феродомішок, мм	Не повинен перевищувати 0,3
Забрудненість шкідниками, пліснявою та сторонніми домішками	Не допускається

Після сушіння продукт піддають сортуванню для видалення грудок та випадкових домішок, очищують від металевих включень і фасують.

«Зернові та зернобобові культури очищають за допомогою сепараторів, аспіраторів і магнітних колонок. Для виробництва гречаної крупи, що не потребує варіння, у науковій літературі описано метод, що передбачає повне вилучення гречаного проділу одночасно з очищенням, а також поділ ядриці на три фракції за розміром. Кожна фракція потім переробляється окремо» [5].

Фінальне очищення від забруднень, особливо мінеральних домішок, здійснюють шляхом промивання крупи в спеціалізованих мийних машинах. «У результаті видаляються пил, мучка, насіння бур'янів, лушпиння, органічні рештки та забруднення з поверхні зерна» [3].

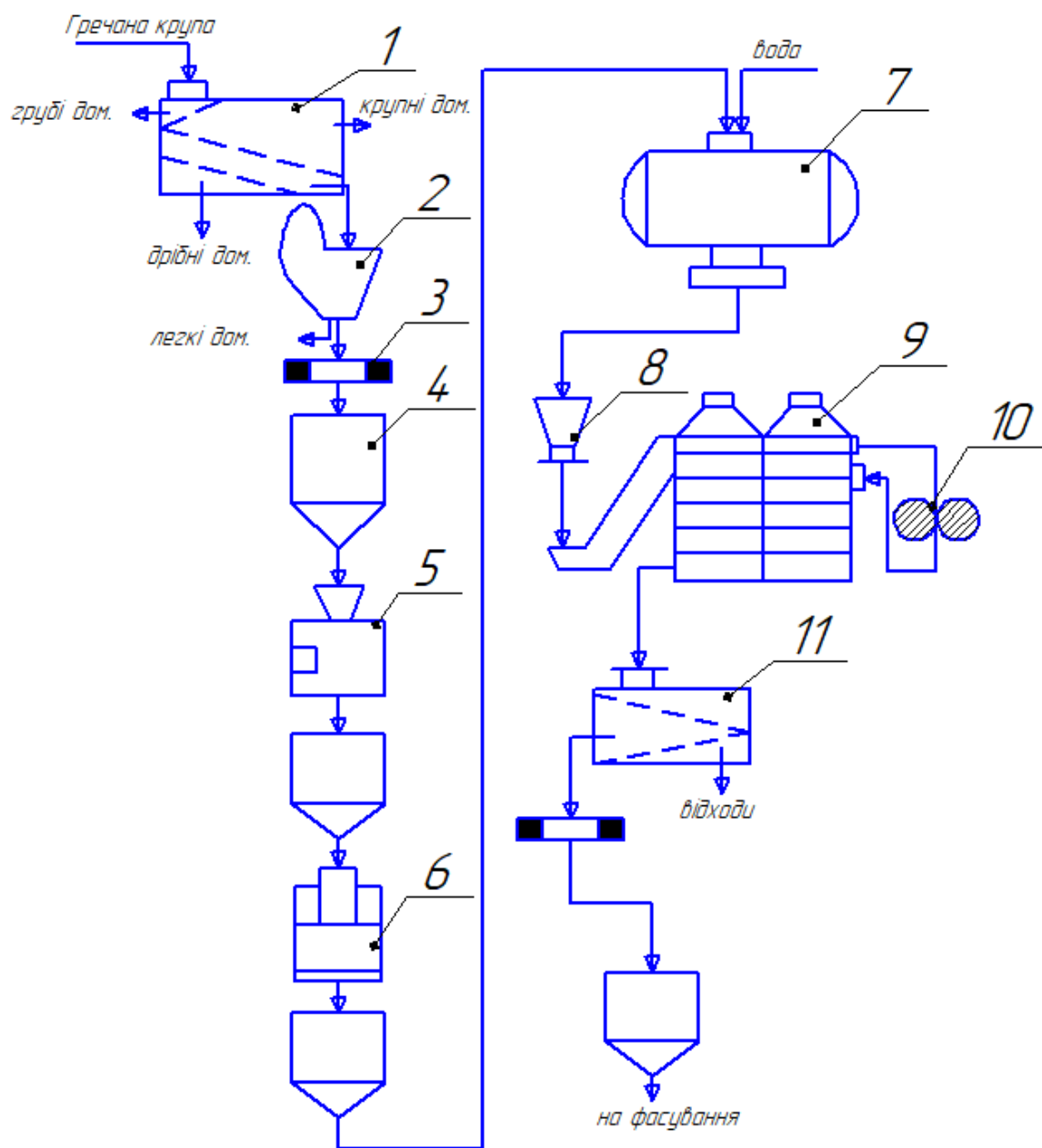


Рисунок 1.1 – Технологічна схема виробництва гречаної крупи, що не потребує варіння: 1 – сепаратор; 2 – аспіратор; 3 – магнітна колонка; 4 – бункер; 5 – ваги; 6 – мийна машина; 7 – варильний апарат; 8 – бункер-розпушувач; 9 – стрічкова конвеєрна сушарка; 10 – вальцевий верстат; 11 – крупосортувальна машина

Для миття використовують питну воду. У процесі промивання відбувається поступове зволоження продукту, що має важливе значення для подальшої гідротермічної обробки. «Ефективність змочування залежить від типу крупи, температури води, тривалості обробки та конструкції обладнання. Найбільш поширеними є шнекові мийні машини з безперервним режимом роботи» [4].

Втім, водне миття на підприємствах харчоконцентратної промисловості супроводжується суттєвими втратами сировини і підвищенням мікробіологічного забруднення через утворення застійних зон у машинах. «У зв'язку з цим останнім часом все частіше застосовують сухе очищення, яке виконують за допомогою сепаратора А1-БЛК, вібропневматичного каменеочисника А1-БКР та аспіраційної колонки. Іноді також використовують щіткові машини. Після такого очищення проводять обов'язкове зволоження крупи до вологості 17–21% з подальшим витримуванням упродовж 1–2 годин, залежно від її виду» [6].

Для виготовлення гречаної крупи, що не потребує варіння, за методикою, розробленою в Одеському технологічному інституті харчової промисловості, «ядрицю певної фракції зволожують водою температурою 58–62 °С та витримують у такому стані протягом 50–70 хвилин» [7]. Такий підхід активізує набухання крохмальних зерен і сприяє клейстеризації крохмалю, що, у свою чергу, дозволяє значно зменшити час варіння.

Процес виробництва варено-сушених круп обов'язково включає етап варіння, який здійснюється різними методами водно-теплової обробки. «Варіння крупи, або гідротермічна обробка, є складним фізико-хімічним процесом, під час якого відбуваються значні якісні зміни білків, вуглеводів (насамперед крохмалю) та інших харчових компонентів» [1]. У ході варіння білки коагулюють, втрачаючи значну частину води, що була поглинена під час набухання при митті. «Крохмаль під впливом тепла і води набухає та клейстеризується, а також частково гідролізується з утворенням проміжних речовин – декстринів, що призводить до збільшення вмісту водорозчинних речовин у крупах» [8].

Під час обробки відбувається також частковий гідроліз геміцелюлози, пектинових речовин і подібних вуглеводів, які утворюють стінки клітин та

міжклітинні перегородки ядра крупи, що сприяє їх розм'якшенню та розпушенню структури. Важливо досягти максимальної трансформації вуглеводного комплексу, особливо крохмалю, проте занадто жорсткі умови варіння можуть викликати небажані зміни в харчових речовинах. Зокрема, «утворюються темні сполуки меланоїдинів, що виникають у результаті реакції цукрів із білками, про що свідчить потемніння крупи під час варіння. Цей процес особливо виражений у гречаний крупі, яка містить активні групи цукрів та амінокислот білкових молекул. Меланоїдини не засвоюються організмом, а амінокислоти переходять у недоступну форму» [9].

Важливим фактором є тривалість варіння, яка залежить від характеристик вихідної сировини та умов її попередньої обробки. Зокрема, на ступінь клейстеризації крохмалю під час варіння суттєво впливає тип крохмалю. «Крохмаль різних видів круп має відмінності не лише у співвідношенні амілози та амілопектину, а й у фізико-хімічних властивостях, зокрема в температурних межах клейстеризації (табл. 1.2)» [10].

Таблиця 1.2 – Температура клейстеризації крохмалю різних культур

Крохмаль	Температура клейстеризації, °C	
	початок	кінець
Гречаний	60	70
Кукурудзяний	64	70
Пшеничний	53	57
Рисовий	65	73

Рекомендовані [11] режими варіння круп наведені у таблиці 1.3. При отриманні крупи, що не вимагає варіння, застосовують глибшу гідротермічну обробку. «Під час варіння круп часто виникає проблема перезволоження, що призводить до утворення грудок звареної крупи, які не підходять для подальшої технологічної обробки. В ідеалі зварена крупа має бути розсипчастою» [12].

Для запобігання злипанню та грудкуванню використовують очищені харчові рослинні фосфатиди (наприклад, соєві або соняшникові), які дозволяють

проводити гідротермічну обробку до повної клейстеризації крохмалю та зменшують втрати продукту при подальшій обробці.

Таблиця 1.3 – Режими варіння при отриманні круп, що не вимагають варіння і швидкорозварюваних круп

Вид крупи	Тиск пари в апараті, МПа	Тривалість - варіння, мін	Вологість звареної крупи, %
Крупи, що не вимагають варіння			
Гречана	0,18-0,2	30	32-38
Перлова	0,18-0,2	40	35-38
Пшенична	0,18-0,2	50	35-38
Швидкорозварювані крупи			
Гречана	0,15	30-35	30-35
Перлова	0,15	40-45	30-35
Пшенична	0,15	40-45	27-30

За технологією, «розробленою вітчизняними вченими, у варильний апарат перед початком варіння додають стабілізатор – розчин вареної солі в концентрації 19,5–20% від маси крупи. Це сприяє контролю надмірного набухання та стабілізує структуру крупи» [12].

Великі дослідження процесу варіння круп були проведені в м. Києві. «Згідно з їхніми результатами, варіння крупи проходить у три етапи. Через те, що швидкість пари перевищує швидкість псевдозрідження, при зростанні вологості крупи збільшують швидкість потоку пари до 4,1–6,2 м/с. Такий режим переривчастого нагріву забезпечує найбільш повну клейстеризацію. Тривалість варіння крупи, що не потребує подальшого варіння перед споживанням, становить 12–15 хвилин» [13].

За кордоном основні дослідження у сфері виробництва круп спрямовані на скорочення часу варіння рису. «Для цього рис піддають варінню при атмосферному тиску до досягнення вологості 60–75%, після чого пропарюють від 1 до 50 хвилин під тиском, що забезпечує клейстеризацію крохмалю на рівні 85–100%. Після цього

тиск поступово знижують, щоб уникнути спучування продукту, після чого рис промивають і сушать при постійному перемішуванні» [14, 15].

Тривалий час варіння круп і бобових у промислових умовах здійснювали в апаратах періодичної дії ВА-800М, які мають низку суттєвих недоліків – складність в експлуатації, використання пари підвищеного тиску. Крім того, при варінні в герметично закритих апаратах ВА-800М пар конденсується і вбирається крупою, що спричиняє появу неприємного запаху у нагрітому продукті через нерозчинені речовини. Тому «в харчоконцентратній промисловості майже повсюдно застосовується технологія безперервного варіння круп пароповітряною сумішшю в установці А2-КВА» [16]. «Крупку варять при атмосферному тиску і температурі 99-100 °С протягом 30-35 хвилин. Вологість готової крупи не менше 32%. Виробничі випробування на Колидніанському концентратно-дріжджовому комбінаті показали, що ця установка забезпечує високу якість вареної крупи» [11].

Після завершення варіння в апаратах ВА-800М і А2-КВА крупа має дуже високу вологість – 32-38%. «Навіть при застосуванні технології зниження вологості продукту цей показник можна зменшити лише до 34%» [10]. Через це стає необхідним двоетапне сушіння готової крупи.

При сушінні вода, зв'язана з крохмалем, видаляється, а частки крохмалю ущільнюються, що призводить до різкого зниження вмісту водорозчинних речовин у крупі. «Крупинка деформується: капіляри, утворені під час варіння, стискаються, обсяг зменшується, здатність набухати у воді знижується. Зменшення набухання також спричинене утворенням сухої кірки з крохмалю на поверхні крупинки» [9].

«Для сушіння варених круп і бобових переважно використовують стрічкові конвеєрні сушарки. Гречану крупу сушать до вологості 23–27%, перлову та пшеничну – до 18–22%» [8].

Італійська фірма «Пресіндустрія» розробила лінію харчових концентратів, що дозволяє виготовляти плющену крупу за одностадійною сушкою на конвеєрних сушильних установках при 100–150 °С протягом 15–25 хв. «Скорочення сушіння досягнуто завдяки попередньому пропарюванню крупи парою з варильного апарату безперервної дії. Через війну потреба в попередньому підсушуванні перед

плющенням відпадає, бо вологість пропареної крупи при короткочасному варінні зростає лише на 2–3%» [15].

Для сушіння круп доцільно застосовувати псевдозріджений шар перегрітої пари, властивості якої близькі до інертних газів. «Це дає змогу проводити високотемпературне сушіння без погіршення якості готового продукту» [16].

Для крупи, що не вимагає варіння, важливо, щоб висушений продукт мав високу здатність набухати. Тому після сушіння крупу плющать, деформуючи саму крупинку та кірку крохмалю. Ступінь плющення визначає тривалість відновлення готового продукту при його зволоженні.

«Для виробництва швидкорозчинних концентратів плющення здійснюють на вальцевому верстаті з гладкими валками однакового діаметра і частоти обертання. Зазор встановлюють 1–2 мм. Для крупи, що не вимагає варіння, використовують рифлені валки, з зазором 0,4–0,5 мм для гречаної крупи і 0,3–0,4 мм для перлової та пшеничної» [5].

Плющення крупи після сушіння викликає деформацію крупинки та крохмальної кірки, збільшуючи її площу, що покращує відновлюваність і набухання. «Після плющення крупу досушують до вологості 9–9,5%. Крупи без плющення одразу сушать до необхідного рівня вологості» [10].

Вченими встановлено можливість виключення плющення у виробництві гречаної крупи, що не потребує варіння. «Для рівномірнішої клейстеризації крохмалю ядро гречки однієї фракції крупності піддають гідротермічній обробці в варильному апараті насиченою парою під тиском 0,13 МПа протягом 18 хв, потім додають воду і варять 17 хв під тиском 0,1 МПа. Після цього зварену крупу сушать» [15].

Технологія виробництва варено-сушених круп, що не потребують варіння, широко застосовувана на підприємствах харчових концентратів, має суттєві недоліки: тривалість виробництва, висока енергоємність і собівартість через операції миття, варіння та двоетапне сушіння. «Використовується харчова вода, виникають втрати сировини, а також потреба в системах очищення і утилізації стічних вод. Через це технологія малоперспективна для крупозаводів» [11].

Наразі дорогі операції миття, варіння та сушіння на харчоконцентратних підприємствах поступово замінюють дешевшими методами обробки без погіршення якості продукції. Це сприяє розвитку технологій швидкорозчинних продуктів для круп'яної промисловості.

Дослідження Національного університету харчових технологій показали, що «скорочення тривалості варіння круп досягається комбінуванням гідротермічних операцій. Замочування крупи при температурі нижче початку клейстеризації крохмалю до вологості 40–45% у 28–30% розчині кухонної солі та кондуктивна термообробка при 280–350 °C дозволяють виробляти швидкорозчинні крупи» [12,14].

Пропарювання зерна ячменю та пшениці скорочує час варіння перлової та полтавської крупи. Вчені рекомендують «зволоження зерна до 20–25%, відволікання 12–16 годин і пропарювання до 100 °C» [14]. Аналогічні режими запропоновано в наступній роботі : «для пшениці – пропарювання при 0,2 МПа 3 хв, сушка до вологості 12–12,5% і охолодження до 25–30 °C; для ячменю – зволоження до 26–28%, відволікання 5,5–5,6 годин, пропарювання при 0,05 МПа 6 хв» [12].

Проте існуючі технології не дають змоги отримувати крупи, що не потребують варіння, на крупозаводах.

1.1.2 Виробництво пластівців та круп з використанням інфрачервоного випромінювання

«За кордоном круп'яні продукти переважно виготовляють у формі пластівців, що можуть потребувати або не потребувати варіння» [17-21]. До пластівців, які потребують варіння, належать продукти з вівса, ячменю, пшениці, рису, кукурудзи, жита, гречки. В Україні традиційно виготовляють здебільшого вівсяні пластівці, лише нещодавно розпочато виробництво ячмінних і пшеничних пластівців. «Пластівці зазвичай виготовляють з готової крупи як на харчоконцентратних підприємствах», так і на підприємствах хлібопродуктів, з

використанням технології вівсяних пластівців з відповідним коригуванням операцій гідротермічної обробки та плющення» [18].

Згідно з розробкою дослідників, «виробництво ячмінних пластівців включає зволоження зерна до вологості 21–25% перед лущенням, пропарювання при тиску 0,5–1,0 МПа та відволожування протягом 2–4 годин, що підвищує вихід пластівців» [19]. Для інтенсифікації процесу та запобігання злипанню крупинок ВНДІЗ запропонували «попереднє нагрівання зерна паром до 70–80 °С, використання води такої ж температури та дозволоження насиченою паром при тиску 0,02–0,03 МПа протягом 1,5–2,0 хв» [20].

Було розроблено технологію виробництва пшеничних пластівців, яка «включає двоетапне зволоження, відволожування після другого зволоження та охолодження перед сушінням. При цьому вихід крупи становить 80%, а вихід пластівців – 95–98% до маси крупи» [21].

Проте зазначені способи водно-теплової обробки не забезпечують суттєвого скорочення часу варіння.

Застосування інфрачервоної (ІЧ) обробки дало змогу спростити виробництво пластівців і круп, виключивши складні та дорогі операції попередньої обробки зерна перед плющенням. Такий підхід також скорочує тривалість варіння готових продуктів.

Поширенню ІЧ-технологій у виробництві круп сприяли дослідження вітчизняних вчених. «ІЧ-випромінювання дозволяє отримувати швидкорозварювані крупи й пластівці, а також дієтичні продукти з цілого зерна, багатого на баластні речовини та мікроелементи» [17, 19, 20].

«Суть процесу мікронізації полягає в тепловій дії ІЧ-променів на зерно, що викликає вібрацію молекул із частотою 80–170 млн циклів на секунд»у [22]. Наприклад, «швидкорозварюваний ячмінь отримують після ІЧ-обробки (потік 32–34 кВт/м², 10–15 с, температура 170–175 °С) попередньо зволоженого до 21–23% зерна, яке перед цим відволожували за нормального тиску протягом 30–60 с» [17].

Подальші дослідження довели ефективність зволоження крупи перед мікронізацією. Так, «перлову крупу зволожують у 0,5–1,0% розчині крохмального

клейстеру (90–100 °С) протягом 5–15 хв» [22]. У результаті відбувається клейстеризація крохмалю, утворюється захисна оболонка, заліковуються мікротріщини. «Під час обробки ІЧ-променями (опромінювач КГТ-200-1000, потік 26 кВт/м²) волога переміщується вглиб зернівки, поверхня підсушується, стає крихкою, а через 10–15 с зерно розривається через тиск пари всередині» [19]. Отриманий продукт містить більше декстринів і може вживатися без варіння – навіть у холодному вигляді.

Усі описані технології дозволяють отримати мікронізовані продукти переважно з уже готової крупи, що призводить до зниження вмісту харчових волокон, геміцелюлоз, лігніну й мінеральних речовин у раціоні. «У зв'язку з цим особливу увагу заслуговує технологія виробництва швидко розварювальної крупи та пластівців із цілого зерна пшениці, розроблена вченими» [18], яка дозволяє зберегти природні властивості продукту (рис 1.2).

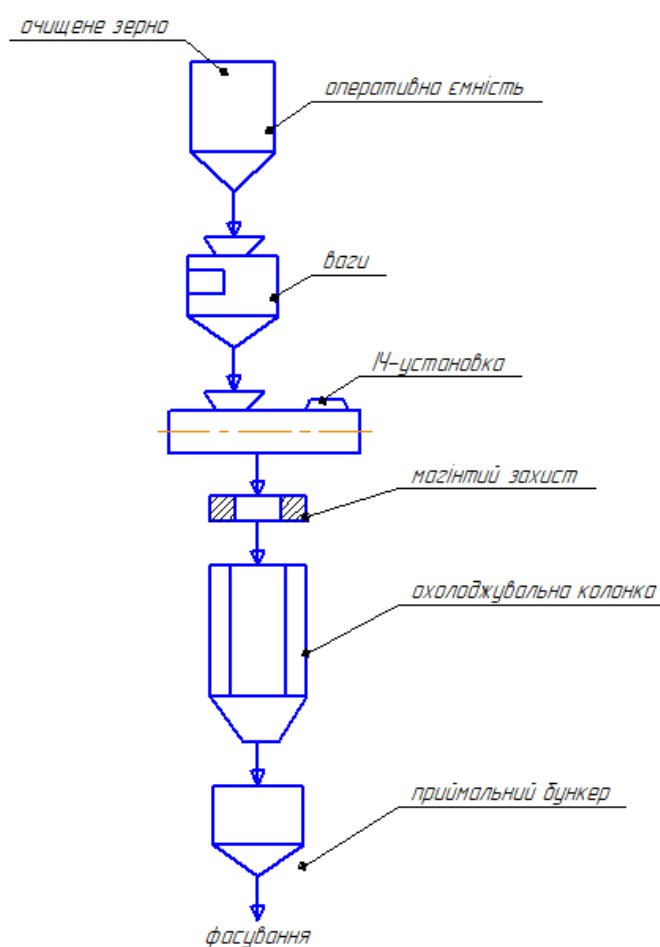


Рисунок 1.2 – Технологічна схема виробництва крупи, що швидко розварюється, з цілого зерна

Згідно з цією технологією, «очищене пшеничне зерно з вологістю 14,5–15,5% після зважування направляють на інфрачервону (ІЧ) установку, де його експандують протягом 30–35 с за інтенсивності променистого потоку 24 кВт/м². Після ІЧ-обробки зерно охолоджують у спеціальній колонці, подають до приймальних бункерів і фасують, попередньо очистивши від металоодмішок» [18].

Під час нагрівання до 160–180 °С в зернівці відбувається інтенсивне випаровування вологи, зростає тиск пари, внаслідок чого зернівка «вибухає», втрачає цілісність, змінюється її структура та форма. «Це супроводжується збільшенням її об'єму у 1,4–1,6 раза та зниженням вологості до 5–6%. Харчові волокна при цьому набувають високої сорбційної здатності. Готова крупа має приємний аромат, смак, а також тендітну й хрумку консистенцію» [19].

Аналіз запропонованих технологічних схем свідчить, що найбільш ефективними та поширеними є ті, які передбачають виробництво мікронізованих пластівців і круп із попередньо пропареного зерна або крупи, зволоженої гарячою водою перед інфрачервоною (ІЧ) обробкою. У таких випадках сировина має високий ступінь клейстеризації крохмалю, що сприяє отриманню якісного кінцевого продукту. «Крім того, водно-теплова обробка забезпечує необхідну вологість у межах 16–21% – критичний показник для ефективної мікронізації» [21].

Разом з тим, широке впровадження ІЧ-нагріву в промислових умовах ускладнюється низкою технологічних і технічних факторів. Зокрема, ефективність ІЧ-генераторів можлива лише за умови їх розміщення у безпосередній близькості до об'єкта обробки, що обмежує конструктивні можливості обладнання. Крім того, «обробка є ефективною лише при висоті шару в одну зернівку, що знижує продуктивність ліній» [20].

Додатковими недоліками є утворення стійких забруднень на поверхнях ІЧ-елементів і відбивачів, що ускладнює експлуатацію. Також існує ризик вибухів у запиленому середовищі. Застосування світлих випромінювачів пов'язане з імовірністю механічного руйнування, що може спричинити потрапляння скляних уламків у готову продукцію. А використання захисних сіток призводить до втрати до 30% випромінюваної енергії, що знижує загальну енергоефективність процесу.

1.2 Технологічні аспекти виробництва повітряного зерна

«Повітряне зерно належить до групи сухих сніданків, як і пластівці та палички. Ці продукти повністю готові до споживання й не потребують жодної кулінарної обробки» [23]. Донедавна пріоритет у виробництві повітряного зерна надавався сировині з кукурудзи, а також з кукурудзяної, рисової та пшеничної круп. «Якщо кукурудза, що вибухає, використовувалася як самостійний продукт, то повітряний рис і пшениця тривалий час застосовувалися переважно у виробництві кондитерських виробів (грильяжних цукерок, східних солодоців), виконуючи роль замінників горіхів» [24]. Лише в останні роки на ринку з'явилися самостійні продукти із зерна пшениці типу «слайсів».

Принцип виробництва повітряного зерна полягає у створенні таких умов, за яких перегріта вода, що утворюється всередині зерна, крупи або гранул тіста, миттєво випаровується внаслідок перепаду тиску, спричиняючи спучування продукту.

«Ефект спучування досягається шляхом нагрівання продукту в герметично закритому апараті – термічному апараті типу «гармата» – під високим тиском із подальшим миттєвим порушенням герметичності» [24]. Також цей процес може здійснюватися в апаратах, що працюють при атмосферному тиску, з наступним різким створенням вакууму або за умови використання спеціальних сортів кукурудзи, які мають здатність "лопатись".

Виробництво повітряного зерна із зернових культур здійснюється за технологічною схемою, запропонованою в [25] та зображеною на рис. 1.3. «Сировину (зерно або крупу) очищають від домішок у зерновому сепараторі, кондиціонують і темперують в оперативному бункері. Потім її подають у термічний апарат для обробки. Після відділення дрібниці та невибухнених зерен на віброситі готовий продукт збирають у проміжні бункери, звідки його спрямовують на фасування або збагачення добавками» [25].

В Україні переважно виготовляють повітряне зерно з солодкими або солоними ароматизаторами, а також у карамелі. «За кордоном повітряне зерно

додатково збагачують вітамінами та мінеральними речовинами, які найчастіше вводять шляхом обприскування готового продукту» [26].

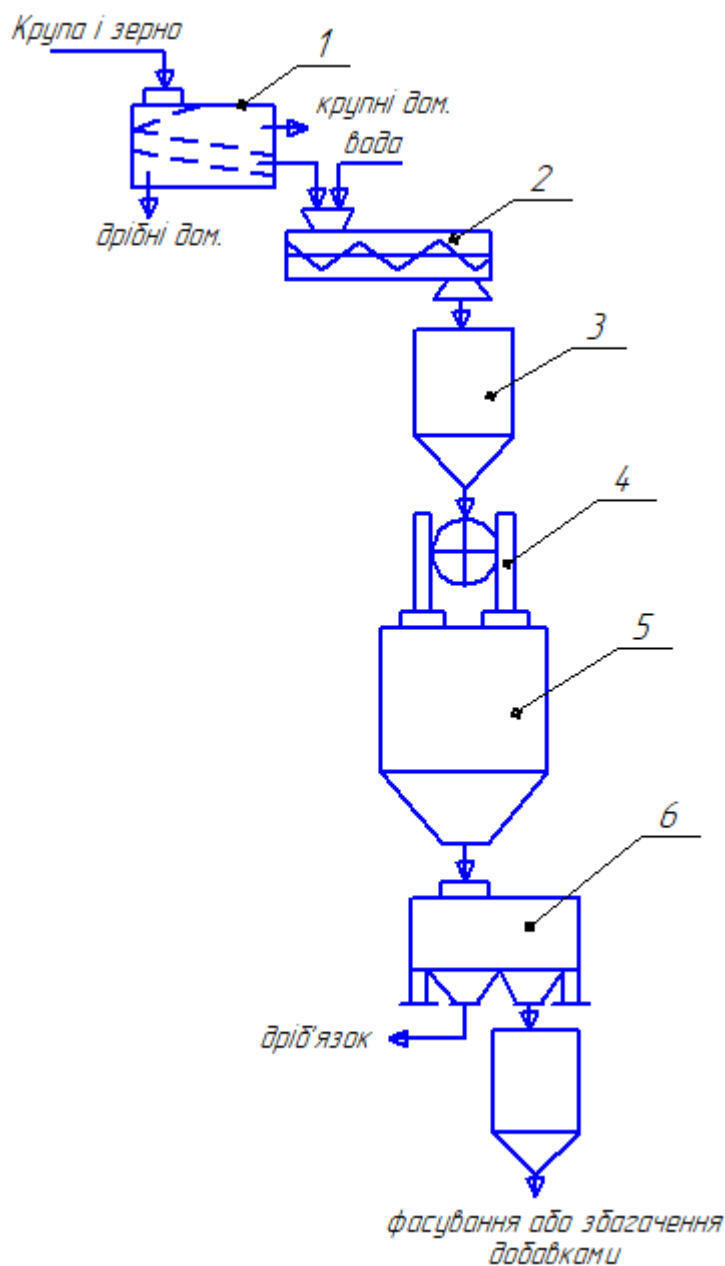


Рисунок 1.4 – Технологічна схема виробництва повітряних зерен:

1 – зерновий сепаратор; 2 – шнек-зволожувач; 3 – оперативний (проміжний) бункер; 4 – апарат для термічної обробки; 5 – приймальний бункер; 6 – вібраційне сито

Підготовка сировини зводиться до двох основних етапів: очищення від домішок і водно-теплової обробки.

Очищення проводять у зерновому сепараторі, де також здійснюється вирівнювання сировини за розмірами. «Це сприяє покращенню технологічних властивостей та підвищенню якості готової продукції» [25].

Для отримання повітряного зерна високої якості термічну обробку необхідно проводити за певного рівня вологості крупи. «При обробці крупи з недостатньою вологістю різко зростає відсоток зерен, що не піддаються розширенню, а при використанні надмірно зволоженої крупи спостерігається значне злипання матеріалу під час спучування» [26]. Так, рекомендована вченими «вологість для кукурудзяної крупи та зерна становить 13,0%, для рисової – 12,0–13,5%, а для пшеничної – 14,0–14,5%» [27].

Оскільки ці показники для кукурудзяної та рисової крупи нижчі за встановлені стандартом, кондиціонування зводиться до попереднього підсушування крупи перед спучуванням. Згідно з [19], зерно перед термічною обробкою рекомендується зволожувати до 18–20%. «При цьому одночасно можливо покращити органолептичні властивості продукту, замочуючи зернову сировину у водному розчині смакових речовин із концентрацією 2–7%» [28].

Попереднє сушіння рисового зерна до вологості 9% перед його зволоженням до оптимального рівня 14% суттєво підвищує здатність до спучування. «Замочування у 2% розчині кухонної солі також незначно збільшує об'єм повітряного рису, тоді як замочування у воді суттєво знижує його здатність до спучування» [25]. Повторне висушування такого замоченого зерна не дозволяє повністю відновити його початкові властивості. «Для виробництва повітряного зерна рекомендовано використовувати технологію попереднього сушіння перед зволоженням» [26].

Існує спосіб, згідно з яким «зерно рису спочатку обсмажують до вологості 4–12%, далі лущать, сортують за розміром і лише потім піддають термічній обробці з метою утворення повітряного зерна. Альтернативним методом є попереднє варіння рису у киплячій воді протягом 5–10 хвилин» [27].

Японські дослідники зазначають, що зерно гречки та пшениці має низьку здатність до спучування. У разі використання такої сировини ефективним є

нагрівання насиченою парою в герметичній ємності. «Після цього зерно висушують холодним повітрям, лущать і видаляють оболонку. Потім крупу обов'язково подрібнюють. Отриману сировину з вологістю 12,5% перетворюють на повітряне зерно шляхом обробки в екструдері під тиском при температурі 150 °С» [28].

В основу процесу отримання повітряного зерна покладено метод скидання тиску, який спочатку розвивався як спосіб зневоднення (сушіння) продуктів. «Нині в промисловості застосовують три основні способи зневоднення методом скидання тиску: автоклавний періодичної та безперервної дії, сопловий і термічний» [28].

Автоклавні сушарки періодичної дії обладнані двома автоклавами, які по чергово використовуються для попереднього прогріву вологого матеріалу за допомогою перепуску пари. «Після прогріву в автоклав подається пара з магістралі під тиском 1,2–2,5 МПа. По завершенні сушіння пара спрямовується для повторного прогріву, а висушений матеріал збирається у бункері» [29]. У безперервно діючих сушарках нагрітий матеріал під надлишковим тиском разом із парою викидається в атмосферу – при цьому й відбувається скидання тиску.

«Принцип автоклавного скидання тиску реалізований у термічних апаратах періодичної дії типу В-35М, що використовуються для виробництва повітряного зерна. Проте апарат В-35М має низку суттєвих недоліків: скидання тиску відбувається порівняно повільно й залежить від початкового тиску в автоклаві, що знижує продуктивність. Крім того, процес супроводжується значним шумовим ефектом, а вихід готового продукту є невисоким» [30].

Останні розробки у вдосконаленні установок для виробництва повітряного зерна дозволили «рекомендувати використання інфрачервоних випромінювачів, розміщених по периметру робочої камери» [31].

Американські виробники зазначають, що «при виробництві повітряної кукурудзи з типів, що «лопаються», достатньо мікрохвильового нагріву або нагрівання гарячим повітрям» [25, 32], за умови підтримання вологості кукурудзи на оптимальному рівні – 14%. «Обробка гарячим повітрям температурою 300 °С з подачею 900–1200 м³/год дозволяє утричі збільшити об'єм сухих сніданків і

уникнути використання гарячого жиру, забезпечуючи можливість спучування напівфабрикатів безпосередньо перед вживанням, що знижує витрати» [25].

Кількість досліджень повітряного зерна з гречки незначна. Найбільш повне вивчення режимів отримання повітряної гречаної крупи здійснено вченими, які запропонували «метод одноразового сушіння з подальшим спучуванням (табл.1.4) [33].

Таблиця 1.4 – Характеристики підірваної крупи

Тиск, МПа	Об'ємна маса, г/л			Зовнішній вигляд крупи після підривання
	до вибуху	після вибуху	% до - вихідного	
0,8	828	381	46,0	Крупа підірвана нерівно - мірно, з великим вмістом - невибуханих крупинок
1,0	810	288	35,5	Ступінь підірваності достатня для отримання - розсипчастої каші
1,2	824	130	15,8	Крупа повністю - зруйнована

У дослідженнях використано найбільш поширену в харчоконцентратному виробництві пропарену гречану крупу. Дані, наведені в таблиці 1.4, демонструють «вплив тиску в апараті «гармата» (при вологості крупи $12 \pm 2\%$ та разовому завантаженні 8,0 кг) на об'ємну масу і зовнішній вигляд готового продукту» [27].

«Оптимальним тиском під час спучування було визначено 1 МПа – за об'ємною масою крупи, ступенем спучування та якістю відновленої каші. При вологості 10–12% і тиску 1 МПа у «Гарматі» отримують крупу, придатну для відновлення у кашу. Її об'ємна маса становила 224–288 г/л, що відповідає 27,2–35,5% від вихідної» [33].

Оптимальною фракцією визнано крупу, що проходить через сито з отворами 4,7 мм і затримується на ситі з отворами 3 мм – саме вона найбільш відповідає вимогам до концентратів за об'ємною масою та органолептичними властивостями після відновлення. «Вихід придатної для виробництва концентратів крупи, яка не

потребує варіння, становив близько 60%, при цьому 7,9% було недостатньо спучено, а 32,1% – надмірно» [31].

Необхідно підкреслити, що запропонований спосіб виробництва зберігає практично всі недоліки технології варено-сушених круп: залишаються енергоємні операції миття та варіння; як і раніше, необхідно вирішувати проблему утилізації стічних вод та організації системи очищення води. Тим не менш, отримання повітряної крупи методом скидання тиску має велике майбутнє. «Це зумовлено насамперед незначною тривалістю теплового впливу (до 5 хвилин), що дозволяє майже повністю виключити розкладання термолабільних біологічно цінних компонентів сировини» [29]. Волога, що міститься у продукті, переміщується до поверхні у вигляді пари, яка не є переносником водорозчинних речовин.

Разом з тим слід зазначити, що виробництво повітряної гречаної крупи без ґрунтовної підготовки сировини є суттєво утрудненим. «Однак навряд чи доцільно застосовувати для цього технологічні прийоми, які використовуються при виробництві варено-сушених круп» [30]. Уже проведені дослідження інших видів крупи дають змогу окреслити тенденції подальших розробок у цій сфері. Очевидною є можливість використання для підготовки сировини різних способів гідротермічної обробки – пропарювання, зволоження, подібно до отримання мікронізованих продуктів.

1.3 Вплив волого-теплової обробки на властивості круп'яної сировини

Більшість технологічних способів виробництва крупи, що не потребує варіння, включає попередню підготовку сировини, яка найчастіше полягає в поєднанні операцій водно-теплової обробки за різних режимів. «Гідротермічна обробка зерна пропарюванням суттєво змінює біохімічні властивості сировини та, як наслідок, впливає на якість готової продукції» [34].

«Мікроскопічні дослідження структури крохмалю ядра гречки показують, що зерна нативного крохмалю різняться за розміром і формою. При підвищенні температури вище 70 °C починається процес клейстеризації крохмалю, що

супроводжується значним збільшенням обсягу крохмальних зерен» [34-36]. Оскільки цей процес відбувається нерівномірно в різних зернах крохмалю, фіксують початкову та кінцеву температури клейстеризації. Зокрема, дослідження вчених показали, що пропарювання зерна гречки впливає на кінетику клейстеризації, знижуючи температуру початку процесу. «Пропарювання при тиску 1 атм і 2,5 атм (експозиція 5 хвилин) знижує температуру початку клейстеризації до 59 °С і 41 °С відповідно, тоді як у непропареного зерна крохмаль клейстеризується лише при 69 °С» [37].

Пропарювання суттєво змінює розмірний склад крохмальних гранул. Мікроскопічні дослідження показали, що «підвищення тиску пари від 1 до 4 атм спричиняє збільшення розміру великих і особливо дрібних гранул, що свідчить про процес набухання. Найбільші гранули руйнуються (1 фракція), а також виявлено гранули, які не руйнуються при пропарюванні (2 фракція). Поведінка гранул 2 фракції різна за умов постійного підвищення температури водної суспензії: частина клейстеризується вже при кімнатній температурі, інші – лише при підвищенні температури, а деякі залишаються стійкими до нагрівання» [38, 39]. Поява гранул крохмалю, які не змінюються при нагріванні суспензії до 90 °С, дозволила вченим зробити висновок, що під час гідротермічної обробки в дрібних крохмальних гранулах відбувається процес зміцнення структури.

Дещо пізніше інші вчені отримали подібні висновки. «Мікроструктурні дослідження крохмалю гречки під час гідротермічної обробки (ГТО) показали збільшення розміру крохмальних зерен у 1,5 раза та утворення порожнин усередині зерен» [40]. Структура крохмальних зерен каші з непропареної і пропареної крупи істотно відрізняється: внутрішня порожнина каші без обробки являє собою клейку масу з набряклими крохмальними зернами, тоді як у зразках після ГТО порожнина зерна менш клейстеризована, внаслідок чого отримана каша має розсипчасту структуру. При сушінні клейстеризованого крохмалю утворюється щільна склоподібна маса.

«Гідротермічна обробка пропарюванням практично не змінює вміст загального азоту, але призводить до значних змін у співвідношенні окремих

білкових фракцій. Найбільш чутливими до ГТО є альбуміни та глобуліни, вміст яких при посиленні жорсткості обробки знижується у 3–4 рази» [41].

Денатураційні зміни під час ГТО та подальшої кулінарної обробки крупи зумовлюють зменшення розчинності білків у різних розчинниках. «Результати електрофорезу в поліакриламідному гелі показали, що пропарювання та наступне варіння практично не впливають на електрофоретичний спектр глобулінів і проламінів. В альбумінах і глютелінах із підвищенням жорсткості режимів обробки змінюється співвідношення малорухомих і високорухомих компонентів – перші зменшуються, другі зростають» [42].

Гідротермічна обробка практично не впливає на вміст ліпідів у крупі, проте внаслідок окисних, гідролітичних процесів і взаємодії ліпідів з іншими компонентами зерна змінюється їх груповий склад. «Зменшується кількість вільних та пов'язаних ліпідів, пігментів (каротиноїдів і хлорофілів), тоді як дещо збільшується вміст міцно пов'язаних ліпідів» [41]. Загальний жирнокислотний склад ліпідів при гідротермічній обробці змінюється у бік збільшення вмісту ненасичених жирних кислот. «Зміни у співвідношенні жирних кислот відбуваються за рахунок пальмітинової, лінолевої та олеїнової кислот при мінімальних змінах інших кислот» [37, 40]. Кислотне число жиру при пропарюванні знижується.

Гідротермічна обробка призводить до часткового руйнування водорозчинних вітамінів, особливо тіаміну. «Втрати вітамінів при варінні непропареної крупи значно вищі, ніж у зерна після ГТО» [43]. Величина втрат більше залежить від способу кулінарної обробки, ніж від виду крупи. «Існуючі методи та режими ГТО гречки мало впливають на вміст мікроелементів і зольність крупи» [41].

Майже всі дослідники відзначають, що варіння пропареної та контрольної (необробленої) круп вирівнює якісний склад їх компонентів. Гідротермічна обробка покращує споживчі властивості крупи: вона набуває коричневого кольору і приємного аромату. Закордонні вчені «досліджували органолептичні властивості летючих з'єднань борошна з зерна гречки» [43]. Консистенція каші покращується, зростає коефіцієнт розварюваності, скорочується час варіння. Підвищується харчова цінність крупи.

Висновки по розділу.

У результаті аналізу технологій виробництва круп, що не потребують варіння, встановлено, що найпоширенішими методами є виробництво варено-сушених круп, пластівців та продуктів, оброблених інфрачервоним (ІЧ) випромінюванням. Незважаючи на їхню ефективність, методи варіння з подальшим сушінням залишаються енерговитратними та створюють екологічне навантаження через необхідність утилізації стічних вод. Альтернативні методи, зокрема ІЧ-обробка, мають перевагу у зменшенні часу термічного впливу та забезпечують високу збереженість біологічно цінних речовин.

Технологія ІЧ-обробки зерна виявилась перспективною у виробництві круп швидкого приготування, завдяки можливості регулювання глибини прогріву та зменшенню водорозчинних втрат. За результатами сучасних досліджень, цей метод забезпечує покращення органолептичних властивостей продукту, підвищення його харчової цінності та здатності до розварювання. ІЧ-обробка також дозволяє отримати більш стабільний за якістю продукт, порівняно з традиційними методами.

Особливу увагу заслуговує технологія виробництва повітряного зерна (іноді званого зірваним), яка передбачає короткочасну дію високої температури або тиску з подальшим їх різким зниженням. Такий підхід дозволяє отримати розпушені зерна з доброю пористістю, привабливою текстурою та мінімальними втратами поживних речовин. Найефективнішою попередньою операцією визнано помірну гідротермічну обробку, зокрема пропарювання, що активізує процес клейстеризації крохмалю та знижує температуру його початку.

Вплив волого-теплової обробки на фізико-хімічні властивості круп'яної сировини є вирішальним для формування якості кінцевого продукту. Пропарювання змінює структуру крохмалю, зменшує вміст водорозчинних білків, стабілізує жирову фракцію та впливає на ароматичний профіль. Водночас така обробка не призводить до суттєвих змін у мінеральному складі та дозволяє краще зберігати вітаміни під час подальшого варіння. Ці ефекти сприяють підвищенню споживчих характеристик круп та розширенню асортименту продукції для швидкого приготування.

2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Характеристика використаної сировини

Для проведення досліджень було використано зразки рядового зерна гречки врожаю 2022–2024 років, а також зерно гречки сорту Богатир врожаю 2024 року. Характеристики та якість досліджуваної сировини наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Показники якості досліджуваного зерна гречки

Найменування показника	Характеристика
Вологість, %	13,6
Зміст ядра, %	78,2
Сміттєва домішка, %	2,24
у тому числі мінеральна домішка	не знайдено
серед мінеральної домішки: галька	не знайдено
Шкідлива домішка, %	не знайдено
Зіпсовані зерна, %	0,04
Важковідокремлювані насіння, %	0,42
Мертві шкідники хлібних запасів, шт на 1 кг	не знайдено
Зерна та насіння культурних та дикорослих рослин, %	0,82
Прохід сита Ø 3,0%	0,02
Органічна домішка, %	2,72
Зернова домішка:	2,72
Обрушені зерна, %	не знайдено
Пророслі зерна, %	не знайдено
Зараженість шкідниками хлібних запасів	не знайдено

Основні фізичні властивості зерна, що впливають вихід і якість крупи, представлені у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Фізичні властивості зерна гречки

Найменування показника	Гречка звичайна врожаю 2024 року
Плівчастість, %	19,7
Маса 1000 зерен, г	26,1
Щільність, г/см ³	1,192
Натура, г/л	661
Кут природного укосу, °	35
Крупність (схід сита 4,0 мм), %	93,8
Вирівняність (схід сит 4,5-4,2), %	80,5

Крупність зерна характеризували його розмірами, що визначаються при фракціонування зернової маси на наборі сит (рис.2.1).

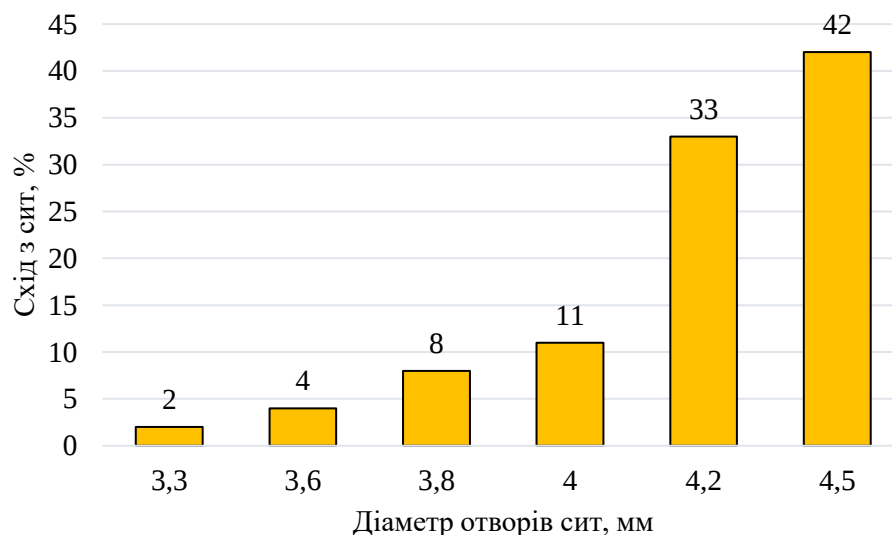


Рисунок 2.1 – Фракційний склад зерна гречки

Досліджуване зерно було повноважним, добре очищеним, середньої неплівчастості, відносилось до I категорії крупності, що характеризується

залишком на ситі з отворами діаметром 4,0 мм не менше 80 % [1]. Зерно мало високовирівняний фракційний склад (понад 80 %) [7].

Таким чином, якість зерна гречки, що досліджується, відповідала вимогам актуального ДСТУ 4524:2006 Гречка. Технічні умови.

2.2 Методики дослідження

Технічний аналіз зерна гречки проводили відповідно до ДСТУ 3768:2019 «Зерно. Загальні технічні умови».

Відбір проб зерна здійснювали згідно з ДСТУ ISO 13690:2005 «Зерно. Методи відбору проб».

Визначення бур'янів, зернових домішок та крупності зерна – за ДСТУ ISO 7970:2007 «Зерно. Визначення домішок».

Визначення зараженості та пошкодження зерна шкідниками – за ДСТУ ISO 6322:2003 «Зерно. Методи визначення шкідників».

Визначення запаху та кольору зерна – відповідно до методичних рекомендацій, що відповідають ДСТУ ISO 8589:2010 (для оцінки запаху) та ДСТУ ISO 7724 (для оцінки кольору).

Визначення вологості зерна – за ДСТУ ISO 712:2000 «Зерно. Метод визначення вологості».

Фізичні властивості зерна оцінювали такими методами:

Визначення плівчастості – за методикою, адаптованою на основі ДСТУ ISO 7970:2007 та методів визначення структури оболонки зерна.

Визначення природного укусу (кут природного укусу) – відповідно до вимог ДСТУ ISO 4490:2019.

Переробку зерна гречки у крупу здійснювали таким чином: очищене зерно пропарювали в пропарювачі періодичної дії, сушили і лушили на вальцедековому верстаті.

Технологічні результати переробки зерна на крупу оцінювали за загальноприйнятими показниками [2]:

- коефіцієнту лушчення;
- виходу цілого ядра (крупі ядриці);
- виходу дробленого ядра (проділу).

Набухання визначали за методикою, викладеною в [7].

Вміст декстринів – за методикою, розробленою [1].

2.3 Дослідна установка для отримання повітряної крупі

Для отримання підірваної крупі застосовували нагрівання сировини під підвищеним тиском стисненого повітря з подальшим швидким скиданням цього тиску.

Лабораторна установка (рис. 2.2) містить циліндричну камеру нагрівання 7 з вмонтованими нагрівальними елементами 8, а також оснащена вентилями для подачі та випуску стисненого повітря. Зерно у касеті 9 завантажували через вантажний патрубок 6 у камеру, при цьому вихідні гвинти 3, 10 і кришка 5 щільно закривали для забезпечення герметичності системи.

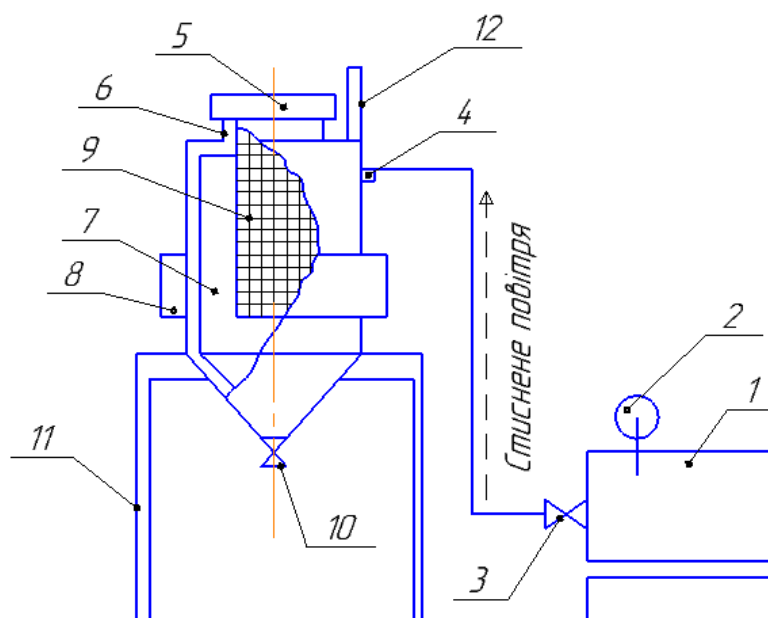


Рисунок 2.2 – Схема дослідної лабораторної установки: 1 – компресор із ресивером; 2 – манометр; 3,10 – випускні гвинти; 4 – отвір для подачі стисненого повітря; 5 – кришка; 6 – завантажувальний патрубок; 7 – камера нагріву; 8 – нагрівальний елемент; 9 – касета; 11 – станина; 12 – термометр

Компресор 1 створює необхідний тиск стисненого повітря, який через вентилі 3 і 4 направляється в камеру.

Тривалість термічної обробки зерна визначали експериментальним шляхом, а після закінчення встановленого часу тиск скидали через вентиль 10.

У результаті різкого перепаду тиску та вибухового вивільнення вологи зерно, розташоване в камері, піддається спучуванню.

Висновки по розділу.

У розділі детально охарактеризовано сировину, що використовувалась у дослідженнях, зокрема зерно гречки різних врожаїв і сортів, яке відповідало сучасним стандартам якості за показниками вологості, крупності та чистоти. Це забезпечило високу репрезентативність експериментальних даних і створило надійну базу для подальших технологічних досліджень. Аналіз фізичних і хімічних властивостей сировини дозволив встановити її відповідність вимогам ДСТУ, що є важливою передумовою для отримання якісної повітряної крупи.

Описані методики дослідження включали комплексний підхід до визначення характеристик зерна, а також використання спеціалізованої лабораторної установки для підривання крупи під впливом стисненого повітря. Встановлено, що застосована експериментальна установка з циліндричною камерою нагріву і системою керування тиском забезпечує контрольовані умови для ефективного підривання зерна. Це дозволяє оптимізувати параметри технологічного процесу та покращити якість кінцевого продукту – повітряної крупи.

3 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1 Дослідження процесу пропарювання зерна

Ряд дослідників досліджували гідротермічну обробку зерна гречки, однак у даному дослідженні особливу увагу приділено змінам саме тих властивостей ядриці, які зумовлюють її придатність для виробництва круп, що не потребують варіння. Повітряні крупи, отримані шляхом підривання, відзначаються низькою об'ємною щільністю та високим вмістом декстринів, що свідчить про значну роль зміненого крохмалю в їх структуроутворенні. Саме дослідження перетворень, які відбуваються з крохмалем у процесі обробки, становить основу нашої наукової роботи.

У межах дослідження було проведено вивчення фізико-хімічних характеристик ядриці, підданої пропарюванню при тиску від 0,2 до 0,6 МПа впродовж 5 хвилин. Метою експерименту було виявити залежність між режимом обробки та змінами властивостей, які критично впливають на подальший процес підривання ядриці для отримання готової до споживання крупи. Дані, що відображають результати проведених досліджень, наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вплив тиску пропарювання на зміну фізико-хімічних властивостей ядриці та проділу

Тиск пари, МПа	Щільність, г/см ³	Набухання, мл/г	Вміст у - дорозчинних речовин, % на с.р.	Вміст - декстринів , % на с.р.
ЯДРИЦЯ				
Без пропарювання	1,324	2,8	4,45	0,39
0,2	1,318	3,2	5,23	1,51
0,3	1,269	5,2	6,20	3,39
0,4	1,264	5,3	8,93	5,50
0,5	1,250	5,6	10,04	8,17
0,6	1,243	6,0	14,84	12,17

Продовження табл. 3.1

Тиск пари, МПа	Щільність, г/см ³	Набухання, мл/г	Вміст у - дорозчинних речовин, % на с.р.	Вміст - декстринів , % на с.р.
ПРОДІЛ				
Без пропарювання	1,452	3,2	3,37	0,23
0,2	1,450	4,6	3,95	1,09
0,3	1,400	4,8	5,52	3,40
0,4	1,368	5,0	6,16	4,83
0,5	1,360	5,3	8,79	8,12
0,6	1,356	5,8	14,27	13,02

Отримані експериментальні результати свідчать, що підвищення тиску під час пропарювання до 0,6 МПа супроводжується зменшенням щільності як ядриці, так і проділу – відповідно на 0,081 г/см³ та 0,096 г/см³ у порівнянні з непропареною крупою. Варто зазначити, що початкова щільність проділу є вищою, ніж у ядриці, а зниження її при гідротермічній обробці є менш вираженим. Це пояснюється структурною неоднорідністю зерна: у проділі переважає ендосперм, багатий на крохмаль, тоді як у ядриці присутні й інші фракції зерна.

Зниження вмісту крохмалю в результаті термічної деструкції є закономірним наслідком пропарювання. Проте варто зазначити, що зменшення щільності крупи відбувається не лише через втрату крохмалю, хоча саме він має найвищу густину серед основних речовин зерна: щільність крохмалю становить 1,458–1,630 г/см³, білків – 1,345 г/см³, жирів – 0,892–0,999 г/см³. Тобто, навіть часткова деградація крохмалю може суттєво впливати на загальні фізико-хімічні властивості продукту.

Найвища щільність спостерігається в ендоспермі, де зосереджено основні запаси крохмалю, тому саме ця частина зерна забезпечує максимальну щільність як у цілому зерні, так і в проділі. У зародку ж домінують жир і білки, тому його щільність є значно меншою. Це й зумовлює те, що проділ, сформований переважно

з ендосперму, характеризується вищою щільністю порівняно з ядрицею, яка містить більшу частку менш щільних структур зерна.

Підвищення вмісту водорозчинних речовин та декстринів зумовлене перебігом процесів термічного розпаду крохмалю під час пропарювання, у результаті якого утворюються низькомолекулярні продукти, зокрема декстрини. Накопичення таких сполук є показником інтенсивності гідротермічної обробки та водночас позитивно впливає на засвоюваність і харчову цінність готового продукту.

Водорозчинні речовини, що утворюються в процесі обробки, мають складну структуру й включають у себе компоненти різної природи. За даними літератури, середній склад таких речовин розподіляється наступним чином: мінеральні речовини становлять 4–18%, білки – 11–51%, а вуглеводи, зокрема декстрини та розчинні цукри – 39–82% від загальної маси водорозчинних компонентів.

Ці показники демонструють, що після термічної обробки покращується не лише смакова характеристика продукту, а й його здатність до швидкого засвоєння організмом, що особливо важливо для створення круп, які не потребують варіння або використовуються в швидкорозчинних харчових продуктах.

Під час пропарювання ядриця набуває характерного коричневого відтінку, що є наслідком реакцій меланоїдиноутворення – складного комплексу хімічних перетворень між цукрами (моно- та дисахаридами) та амінокислотами. Ці реакції не лише змінюють колір продукту, але й можуть спричинити зниження вмісту водорозчинних речовин за посилення температурно-часових параметрів обробки.

Водночас, паралельно з цими процесами відбувається глибока термічна деструкція крохмалю з утворенням декстринів – низькомолекулярних сполук, які мають майже стовідсоткову розчинність у воді. Це компенсує втрати деяких інших розчинних компонентів і навіть сприяє загальному підвищенню частки водорозчинних речовин у продукті.

Експериментальні результати засвідчили, що при тиску пропарювання 0,6 МПа вміст декстринів у ядриці зріс на 11,78% порівняно з непропареним зразком, що відобразилося на збільшенні загальної кількості водорозчинних речовин більш

ніж утричі. У проділі, який містить більшу кількість крохмалю, спостерігалось аналогічне підвищення – вміст декстринів зріс на 12,79%, що підтверджує ефективність гідротермічної обробки в напрямку покращення функціонально-технологічних властивостей продукту.

Проведені дослідження виявили характерну зміну водопоглинальної здатності ядриці залежно від режимів пропарювання. На графіках рис. 3.1 показано, як із зростанням тиску гідротермічної обробки зменшується інтенсивність вологопоглинання у початкові моменти зволоження.

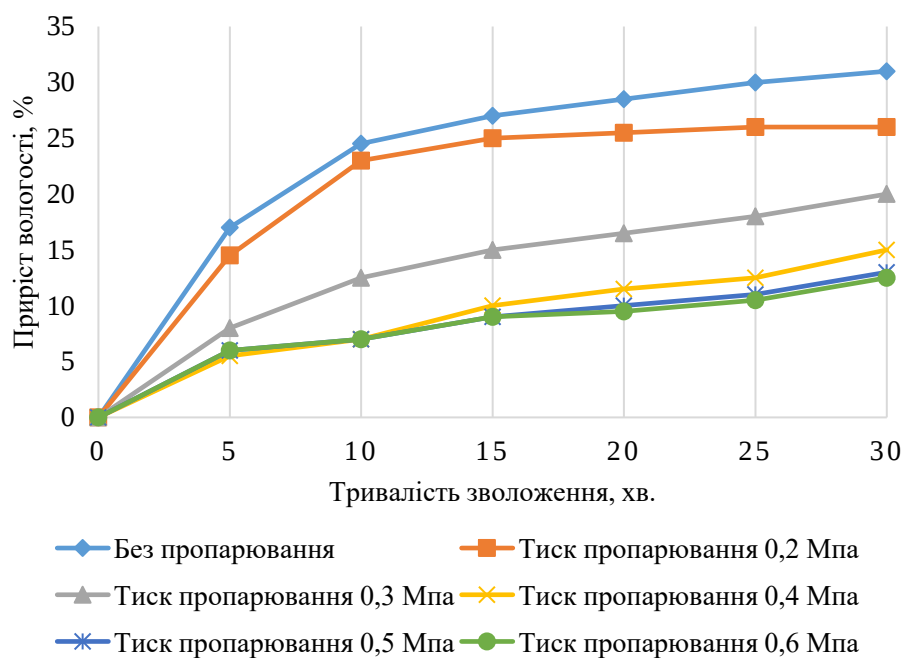


Рисунок 3.1 – Кінетика зволоження крупи, пропареної при різному тиску пропареною

Якщо непропарена крупа та ядриця, пропарена при 0,2 МПа, демонструють швидке зростання вологості завдяки пористій структурі та значній кількості неденатурованих білків, то при тисках 0,3–0,6 МПа структура ущільнюється, що ускладнює проникнення води.

Так, приріст вологості за перші 30 хвилин становив 30% у непропареній крупі, тоді як для ядриці, обробленої при 0,6 МПа, цей показник склав лише 12,8%.

При цьому в перші 20 хвилин зволоження у воді температурою 20 °C спостерігалось плато водопоглинання у непропареної та слабо пропареної крупи (0,2 МПа) – 30% і 26% відповідно. Для зразків, пропарених при вищих тисках, встановлена лінійна залежність між приростом вологості та часом, що свідчить про уповільнену, але стійку здатність до водопоглинання при подальшому зволоженні.

Досліди із тривалим замочуванням у холодній воді (4 години) підтвердили: з часом активізується робота клейстеризованого крохмалю, що вирівнює здатність різних зразків до набухання.

Отже, для досягнення швидкозварюваності крупи, важливо не лише забезпечити високий ступінь клейстеризації крохмалю, але й зберегти або відновити розпушену структуру продукту, яка полегшує водопроникнення.

На основі проведених досліджень було встановлено, що найбільш суттєві перетворення крохмалю відбуваються при пропарюванні зразків ядриці протягом 5 хвилин під тиском 0,5–0,6 МПа.

У цей період крохмаль переходить у високоаморфну або склоподібну форму, що істотно покращує його подальшу здатність до підривання. Така структурна зміна зерна забезпечує кращу розрихленість і термічну чутливість, що важливо для технології виробництва круп, які не потребують варіння.

Подальші експерименти, спрямовані на вивчення впливу тривалості пропарювання при тиску 0,5 МПа в діапазоні від 3 до 10 хвилин, продемонстрували, що вже після 7 хвилин обробки починаються небажані процеси – оболонки зерна втрачають цілісність, відбувається їх розрив, а саме зерно частково злипаються між собою. Це ускладнює подальші стадії обробки, знижує якість продукту і призводить до технологічних втрат.

З огляду на це, при оптимізації режимів пропарювання було обрано інтервал тривалості від 3 до 7 хвилин, що дозволяє забезпечити бажані перетворення крохмалю без негативного впливу на структуру зерна.

Такий підхід забезпечує отримання якісної сировини для виробництва круп швидкого приготування з гарантованими споживчими властивостями.

3.2 Дослідження процесу лушення зерна гречки парою

У процесі гідротермічної обробки (ГТО) зерна гречки за запропонованими нами режимами застосовується насичена пара під надлишковим тиском 0,5 МПа, яка має високу внутрішню енергію. При традиційній схемі пропарювання ця енергія втрачається – після завершення обробки пара стравлюється в атмосферу, а зерно розвантажується з пропарювача. Такий підхід неефективно використовує теплову енергію пари й не сприяє максимальній передачі тепла зерну, що обмежує інтенсивність та рівномірність термічного впливу.

Лушення здійснюється при одночасному вивантаженні зерна і пари через обладнаний випускний отвір пропарювача, що створює ефект аеролушення. Вітчизняними вченими вивчено ефективність лушення зерна, пропареного при 0,3 МПа протягом 5 хвилин, різними середовищами, і за результатами досліджень зроблено висновок – при вивантаженні зерна з пропарювача під дією пари отримані вищі показники лушення, ніж при дії на зерно пароповітряного середовища та стисненого повітря. Тому нами запропоновано використання енергії відпрацьованої пари для лушення гречаного зерна при високошвидкісному закінченні з ємності.

Лушення здійснювали наступним чином: зерно поміщали в лабораторний пропарювач періодичної дії, де проводили пропарювання при 0,5 МПа протягом 5 хвилин. Потім вивантажували зерно і пару через отвір пропарювача, обладнаний прямою трубкою діаметром 20 мм, в результаті чого відбувалося аеролушення зерна. Тиск лушення регулювали, скидаючи зайву пару за потреби в атмосферу.

Результати лушення зерна гречки парою наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Ефективність лушення зерна гречки парою

Тиск, МПа		Ефективність лушення, %		
Пропарювання	Лушення	К _л	В _{ц.я.}	В _{д.я.}
0,3	0,3	28	17	0,4
0,5	0,5	82	49	25,0

Продовження табл. 3.2

Тиск, МПа		Ефективність лушення, %		
Пропарювання	Лушення	К _л	В _{ц.я.}	В _{д.я.}
0,5	0,4	54	41	0,28
0,5	0,35	39	30	0,24
0,5	0,3	34	24	0,26
0,5	0,25	13	6	0
0,5	0,2	10	2	0

При проведенні гідротермічної обробки в повітряному зазорі між ядром і оболонками накопичується пара під тиском, рівним надлишковому тиску в посудині. При подальшому закінченні з ємності зернівка потрапляє з області підвищеного тиску в область атмосферного тиску, внаслідок чого відбувається миттєве розширення пари між ядром і оболонками. Крім того, на зернівку впливає комплекс факторів: тертя між окремими зернівками та стінками пропарювача; сили інерції, що призводять до руйнування зв'язків між оболонками і ядром, порушення цілісності оболонок (частина їх розкривається повністю, деякі – частково). Це забезпечує отримання високого рівня лушення зерна.

Коефіцієнт лушення при тиску 0,5 МПа досягає максимальних значень, але при цьому спостерігається руйнування деякої частини зернівок і їх спучування. При зниженні тиску лушення до 0,4 МПа коефіцієнт лушення знижується до 54%, але при цьому вихід дробленого ядра практично дорівнює нулю. При подальшому зниженні тиску лушення коефіцієнт лушення продовжує зменшуватись за умов практично постійного виходу дробленого ядра.

Таким чином, тиск лушення 0,4 МПа забезпечує високі показники ефективності лушення. Ефективність лушення зерна, пропареного при 0,3 МПа і лушеного при такому ж тиску, є нижчою за ефективність лушення зерна, пропареного при 0,5 МПа. Це пояснюється різницею в технологічних властивостях зерна, що формуються безпосередньо після пропарювання.

Зволоження зерна під час пропарювання призводить до зміни геометричних розмірів зерна і ядра та до збільшення величини повітряного зазору між ядром і

оболонками. Особливо інтенсивне наростання величини повітряного зазору спостерігалось при зволоженні до 17–20%. У свою чергу, ступінь зволоження зерна при пропарюванні залежить від співвідношення об'єму зерна в пропарювачі до об'єму пари, що визначається величиною надлишкового тиску пари.

Порушення цілісності оболонок при лущенні парою полегшує подальше лущення на вальцедековому верстаті (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Ефективність повторного лущення зерна гречки вальцедековому верстаті ($P_{\text{пр}} = 0,5 \text{ МПа}$)

Тиск первинного лущення, МПа	Ефективність лущення, %		
	$K_{\text{л}}$	$B_{\text{ц.я.}}$	$B_{\text{д.я.}}$
-	64	43	1,80
0,4	86	68	0,7
0,35	81	65	0,7
0,3	79	58	0,6
0,25	75	56	0,5
0,2	72	54	0,4

Коефіцієнт лущення зерна, що пройшло попереднє лущення парою, значно вищий за показники контрольного зразка, пропареного традиційним способом при тиску 0,5 МПа та лущеного у вальцедековому верстаті. Найбільш ефективним виявилось лущення зерна, яке проходило первинне лущення парою при тиску 0,4 МПа, оскільки цей зразок має максимальну кількість зерновок із зруйнованими оболонками.

Для порівняльної оцінки ефективності лущення було проведено обробку однакової кількості зерна двома способами: традиційним – у вальцедековому верстаті, та шляхом одноразового лущення парою з подальшим лущенням у вальцедековому верстаті. Лущення повторювали багаторазово до досягнення коефіцієнта лущення 100%.

При традиційному способі для повного лущення зерна необхідно було пропустити його через вальцедековий верстат вісім разів. Вихід крупи становив

70,0% (67,2% ядриці та 2,8% проділу). Застосування одноразового лущення паром при тиску 0,4 МПа дозволило після чотирьох проходжень зерна через верстат досягти 100% коефіцієнта лущення. При цьому вихід крупи склав 78,1% (77,4% ядриці та 0,7% проділу).

Таким чином, послідовне лущення паром і обробка у вальцедековому верстаті дозволяє скоротити час процесу лущення і збільшити вихід крупи на 8,1% у порівнянні з традиційним способом.

3.3 Дослідження процесу отримання повітряної ядриці

Було цікаво дослідити можливість отримання повітряної крупи із сировини, обробленої як за встановленими оптимальними умовами пропарювання, так і за найпоширенішими режимами (тиск 0,25-0,3 МПа, експозиція 5 хвилин). Тому подальші дослідження проводили з порівнянням зразків сировини, пропарених при тиску від 0,3 до 0,5 МПа протягом 5 хвилин.

Тиск стисненого повітря, що подається в апарат для підривання крупи, безумовно, має вирішальний вплив на ефективність процесу, оскільки визначає величину перепаду тиску під час вибуху.

Дослідження впливу тиску стисненого повітря проводили при таких сталих параметрах: температура обробки – 280 °С, тривалість обробки – 2 хвилини, вологість вихідної сировини – 11 %.

На рисунках 3.2, 3.3, 3.4 і 3.5 представлені результати дослідження впливу тиску стисненого повітря, що подається в термічний апарат, на вихід підірваної крупи, її щільність, набухання та вміст декстринів у підірваній крупі.

Результати дослідження впливу тиску стисненого повітря на вихід підірваної ядриці (рис. 3.2) показали, що характер змін однаковий для всіх видів сировини. Зі збільшенням тиску стисненого повітря та тиску пропарювання вихідної сировини вихід підірваної крупи зростає.

При жорстких режимах початкової обробки (тиск пропарювання 0,4-0,5 МПа), які забезпечують значну зміну структури крупи та руйнування

внутрішньомолекулярних зв'язків у зернах крохмалю, можна отримати досить високий вихід продукту – 68-72 % – вже при тиску стисненого повітря 0,8 МПа.

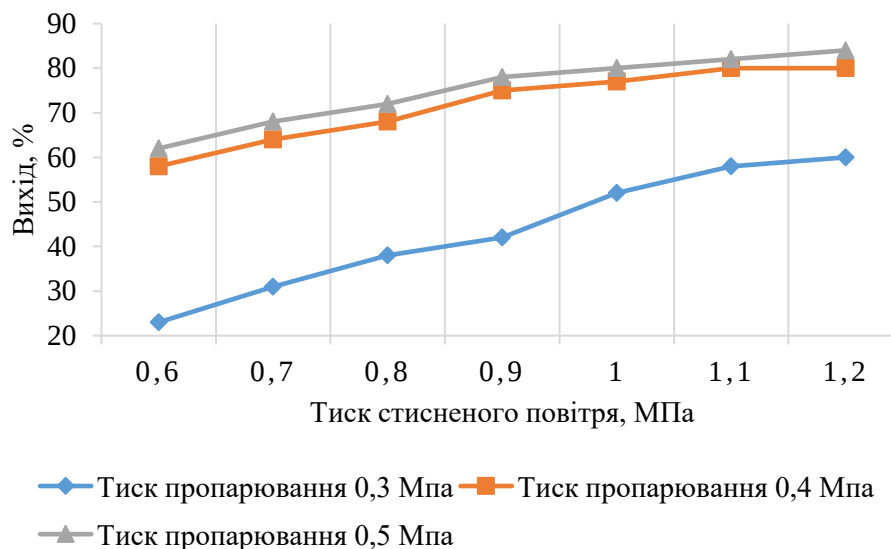


Рисунок 3.2 – Вплив тиску стисненого повітря на вихід повітряної ядриці

При тиску стисненого повітря 1,2 МПа вихід крупи із зазначених зразків становив 80-84 %.

Вихід підірваної крупи з сировини, пропареної при 0,3 МПа, дещо нижчий і становить 60 % при тиску стисненого повітря 1,2 МПа.

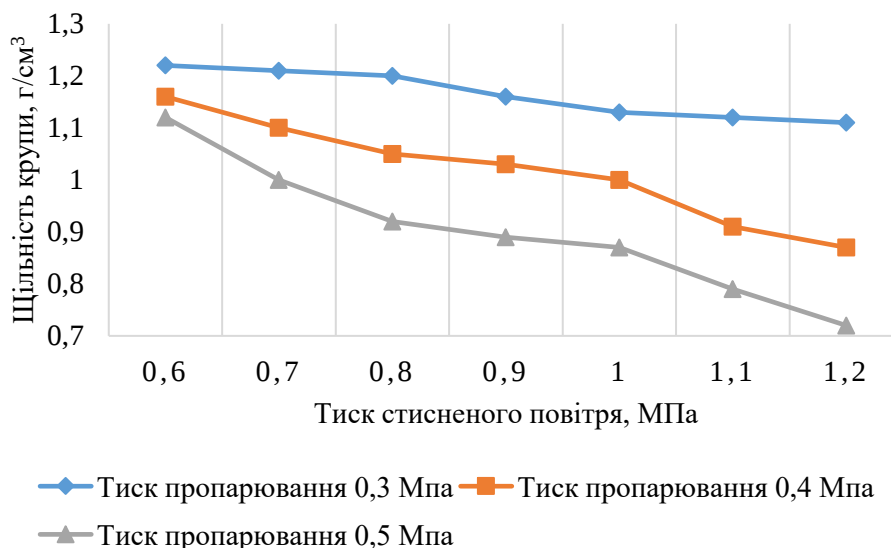


Рисунок 3.3 – Вплив тиску стисненого повітря на щільність повітряної ядриці

Щільність повітряної крупи з усіх видів сировини знижується зі збільшенням інтенсивності режимів пропарювання та з підвищенням тиску стисненого повітря (рис. 3.3). Мінімальна густина всіх зразків зафіксована при тиску 1,2 МПа.

Зі зниженням щільності продукту зростає його здатність набухати у воді (рис. 3.4). Велика кількість пор, що утворюються, полегшує доступ води всередину крупинок, а також сприяє збільшенню набухання високий ступінь клейстеризації крохмалю.

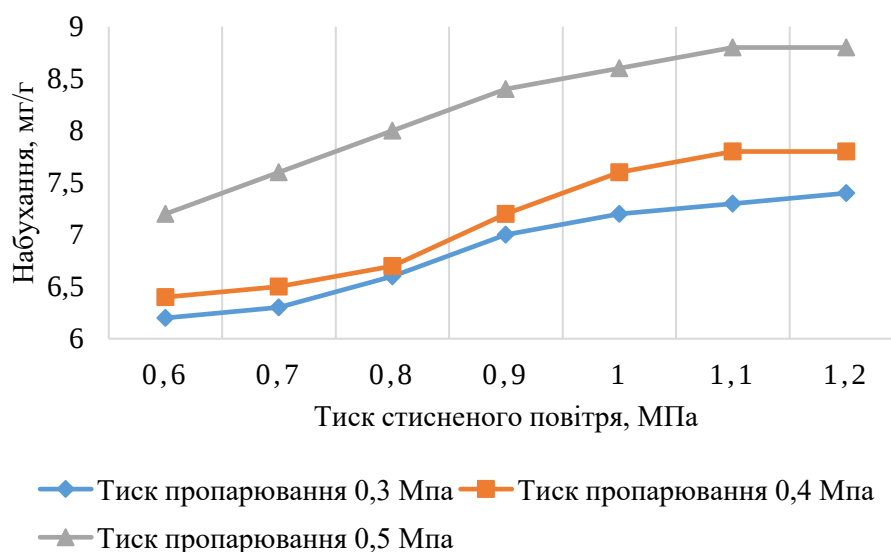


Рисунок 3.4 – Вплив тиску стисненого повітря на набухання повітряної ядриці

Так, зразок з сировини, пропареної при 0,3 МПа, збільшив набухання зі зростанням тиску стисненого повітря від 0,6 до 1,2 МПа на 1,2 мл/г. Для крупи, пропареної при 0,4–0,5 МПа, зростання набухання становить майже 1,4–1,6 мл/г.

Збільшення тиску стисненого повітря не має суттєвого впливу на накопичення декстринів у підірваній крупі. Значно більший вплив на вміст декстринів має температура обробки. Так, вже при тиску стисненого повітря 0,6 МПа вміст декстринів збільшився на 0,74 %, 3,14 % та 3,16 % у зразках, пропарених при 0,3, 0,4 та 0,5 МПа відповідно, порівняно з їхнім вмістом у вихідній сировині.

Найбільше збільшення вмісту декстринів зі зростанням тиску стисненого повітря від 0,6 до 1,2 МПа – 2,23 % (рис. 3.5) – спостерігається у зразку,

пропареному при 0,5 МПа. Зростанню вмісту декстринів сприяють як процес термічної деструкції крохмалю, так і механічне руйнування зерен крохмалю під час підривання.

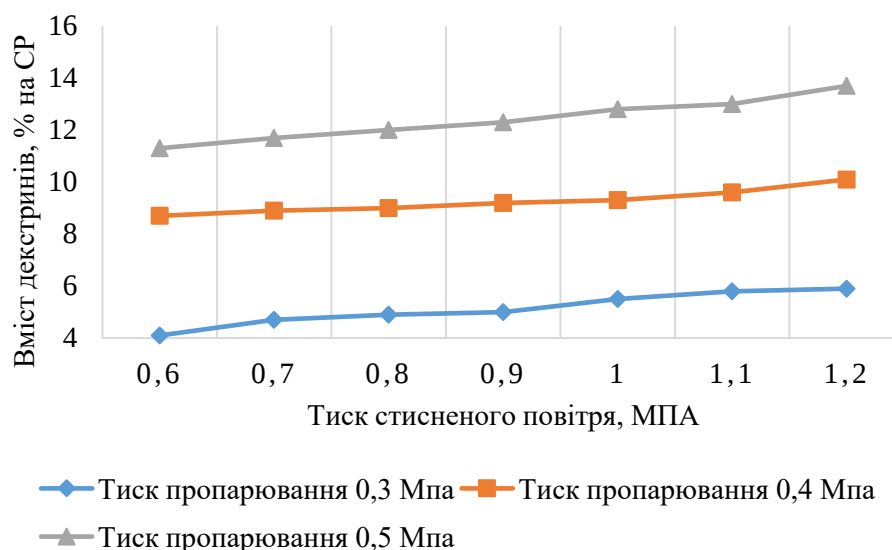


Рисунок 3.5 – Вплив тиску стисненого повітря на вміст декстринів в повітряній ядриці

Цікавим є той факт, що отримати підірвану крупу з непропареної сировини при застосовуваних у даному дослідженні режимах обробки – тиску стисненого повітря 1,2 МПа, температурі 280 °С, тривалості обробки 2 хвилини та вологості вихідної сировини 11 % – не вдалося.

Отримані дані дозволяють зробити висновок, що високий вихід підірваних продуктів із сировини, пропареної при 0,3–0,4 МПа, а також хороші показники якості забезпечуються тиском стисненого повітря в діапазоні 1,0–1,2 МПа.

Вихід підірваної крупи із сировини, пропареної при 0,5 МПа, вже при тиску стисненого повітря 0,8 МПа буде достатнім для забезпечення якісного підривання.

Висновки по розділу.

Проведені дослідження процесу пропарювання зерна гречки підтвердили, що використання насиченої пари під надлишковим тиском від 0,3 до 0,5 МПа забезпечує значні зміни у структурі зерна. Зокрема, підвищення тиску і експозиції

пропарювання сприяє збільшенню повітряного зазору між ядром і оболонками, що є важливим фактором для подальшої обробки зерна.

Встановлено, що при гідротермічній обробці парою під час вивантаження з пропарювача відбувається ефект аеролущення, який суттєво підвищує ефективність первинного лушення зерна. Максимальний коефіцієнт лушення досягається при тиску лушення 0,5 МПа, хоча при цьому збільшується кількість пошкоджених зернівок.

Аналіз процесу лушення зерна показав, що оптимальним тиском для балансу між якістю лушення та мінімальним руйнуванням ядра є 0,4 МПа. Використання такого режиму дозволяє отримати високий коефіцієнт лушення з практично нульовим виходом дробленого ядра, що покращує вихід і якість крупи.

Поєднання первинного лушення парою з подальшим лушенням на вальцедековому верстаті значно скорочує тривалість процесу та підвищує вихід крупи. Зокрема, після парового лушення достатньо чотирьох проходжень через верстат для досягнення повного лушення зерна, що в порівнянні з традиційним способом на 8,1% збільшує вихід ядриці.

В процесі отримання повітряної ядриці встановлено, що тиск стисненого повітря у термічному апараті має ключове значення для виходу та якості підірваної крупи. Зростання тиску стисненого повітря від 0,8 до 1,2 МПа значно підвищує вихід продукту, а більш жорсткі режими пропарювання (0,4-0,5 МПа) дозволяють досягати високих показників навіть при нижчих тисках повітря.

Повітряна крупа, отримана зі сировини, пропареної під тиском 0,3–0,5 МПа, має знижену щільність і підвищену здатність до набухання, що покращує її технологічні властивості. Вміст декстринів збільшується головним чином за рахунок термічної деструкції крохмалю та механічного руйнування зерен під час підривання, що сприяє підвищенню якості кінцевого продукту.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз основних небезпек на круп'яному підприємстві

«Відповідно до Закону України «Про охорону праці», на підприємствах будь-якої форми власності, де працює 50 і більше осіб, роботодавець зобов'язаний створити службу охорони праці. Функціонування такої служби регламентується Типовим положенням, затвердженим наказом Держнаглядохоронпраці України від 15 листопада 2004 року № 255. Служба охорони праці організаційно підпорядковується безпосередньо керівникові підприємства» [44].

Основні небезпеки при виробництві круп на підприємстві включають:

1. пилове забруднення повітря;
2. рухомі частини обладнання;
3. підвищена температура і гарячі поверхні;
4. шумове навантаження;
5. хімічні ризики;
6. небезпека ураження електричним струмом;
7. механічні травми;
8. пожежонебезпека.

У процесі очищення, подрібнення та переміщення зернової сировини у повітря піднімаються дрібнодисперсні частинки пилу. Такий пил не лише забруднює робоче середовище, а й становить серйозну загрозу здоров'ю працівників, спричиняючи респіраторні захворювання. Крім того, «зерновий пил має вибухонебезпечні властивості, особливо за умов високої концентрації та наявності джерела займання» [44].

Устаткування, що застосовується у виробництві, повинне бути безпечним для працівників. Роботодавець зобов'язаний забезпечити умови, за яких експлуатація обладнання не становить загрози для життя та здоров'я персоналу. «Якщо уникнути ризиків повністю неможливо, необхідно впровадити заходи, які максимально знижують імовірність небезпечних ситуацій» [44].

Елементи керування виробничим устаткуванням, які впливають на рівень безпеки, повинні бути добре помітними, легко розпізнаваними та чітко маркованими. Їхнє розміщення передбачається поза межами небезпечних зон, у місцях, де їхнє використання не створює додаткових ризиків (окрім випадків, коли особливості обладнання цього вимагають), і не призводить до небезпеки внаслідок випадкової активації. «Запуск устаткування дозволяється лише у разі свідомої дії оператора за допомогою спеціального пристрою керування» [44].

У ситуації, коли оператор із головного пульта не має змоги візуально переконатися, що в небезпечній зоні немає людей, обов'язковим є використання автоматизованої системи оповіщення – звукової, світлової або комбінованої.

«Працівникам, які можуть підпадати під ризик під час запуску чи зупинки обладнання, мають бути гарантовані як час, так і засоби для швидкої евакуації з небезпечної зони» [44].

Усе виробниче устаткування повинно мати елементи керування, що забезпечують повну та безпечну його зупинку. На кожному робочому місці слід передбачити засоби для припинення роботи всього обладнання або його окремих вузлів – залежно від характеру потенційної небезпеки. «Пристрої для зупинки повинні мати пріоритет над елементами керування запуском. У процесі зупинки технологічного обладнання або його небезпечних компонентів має автоматично відключатися електроживлення приводних систем» [44].

«Устаткування повинне бути оснащено аварійною системою зупинки, якщо існує ймовірність виникнення небезпечної ситуації. У випадках, коли під час експлуатації обладнання можливе падіння предметів, необхідно встановлювати відповідні запобіжні пристрої» [44]. Якщо існує ризик викидів шкідливих речовин – газів, пари, рідин або пилу – обладнання повинне мати засоби для нейтралізації або видалення таких викидів. Встановлення цих пристроїв має здійснюватися максимально близько до джерел можливих загроз.

Процеси теплової обробки – такі як пропарювання або сушка – супроводжуються високими температурами, які створюють ризик опіків. «Контакт з гарячими металевими поверхнями або парою, що виривається з технологічного

обладнання, може завдати значної шкоди працівнику, якщо не дотримано правил охорони праці» [44].

Постійна робота обладнання, особливо млинів, сепараторів і сушильних агрегатів, супроводжується гучним шумом. Тривалий вплив підвищеного звукового тиску без захисту органів слуху поступово призводить до зниження слухової чутливості, що є професійною хворобою працівників харчової промисловості.

Крім впливу на органи слуху, високий рівень шуму негативно впливає на нервову систему, викликаючи підвищену втому, дратівливість та зниження концентрації уваги, що підвищує ризик виробничого травматизму. «З метою зниження шкідливого впливу шуму необхідно впроваджувати комплексну систему захисту, яка включає використання звукопоглинальних матеріалів, встановлення шумозахисних екранів, а також обов'язкове застосування працівниками засобів індивідуального захисту – протишумових навушників або вкладишів» [44]. Регулярний медичний огляд працівників, що працюють у шумовому середовищі, є обов'язковим для раннього виявлення ознак зниження слуху та своєчасного вжиття заходів.

Під час санітарної обробки обладнання використовуються мийні та дезінфекційні засоби, які можуть мати агресивну дію на шкіру, очі та дихальні шляхи. «При нехтуванні засобами індивідуального захисту або при порушенні дозування таких речовин зростає ризик отруєння або хімічних опіків» [44].

«Обладнання на підприємствах працює від електромережі, тому наявність оголених кабелів, волога на контактах або несправна ізоляція можуть спричинити ураження електричним струмом» [44]. Особливо небезпечно це у виробничих зонах із підвищеною вологістю, де небезпека ураження значно зростає.

Залишки зерна, органічних матеріалів і пил, що накопичується у вентиляційних системах або на обладнанні, можуть легко зайнятися від іскри чи перегріву. «Наявність горючих речовин у поєднанні з високою температурою створює реальну загрозу виникнення пожежі, що потребує особливої пильності та систем протипожежного захисту» [44].

4.2 Розробка картки охорони праці

Розробка картки охорони праці є важливою складовою організації безпечного робочого процесу на підприємстві. «Вона дозволяє систематизувати інформацію про потенційні ризики, засоби захисту, вимоги до безпечного виконання робіт, а також дії у разі виникнення аварійних ситуацій» [44]. Наявність такої картки забезпечує працівникам чітке розуміння небезпек, пов'язаних з їхньою діяльністю, та способів їх уникнення. Розроблена картка охорони праці наведена на рис. 4.1

1	Потенційні небезпеки	Високий рівень шуму (90–100 дБ), пил (органічний – до 10 мг/м³), обертові частини обладнання (млини, транспортери), висока температура поверхонь (до 80 °C)
2	Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)	Протишумні навушники, респіратор класу FFP2 , захисні рукавиці, спецвзуття з металевим носком, робочий одяг із бавовни
3	Порядок дій у разі аварії	Вимкнути живлення, повідомити керівника змін, надати першу допомогу постраждалому, викликати медичну допомогу, заповнити акт Н-1
4	Інструктажі та навчання	Первинний – перед початком роботи, повторний – щокварталу, цільовий – перед виконанням незвичних робіт, позаплановий – після змін в обладнанні чи нормативці
5	Вимоги до робочого місця	Освітленість – не менше 300 лк , вологість повітря – 40–60% , температура – 18–25 °C , вентиляція – механічна з фільтрацією пилу
6	Контакти екстрених служб	Телефони чергових та аварійних служб  Пожежно-рятувальна служба - 101  Поліція - 102  Центр екстреної медичної допомоги - 103  Аварійна служба газу - 104 ПАМ'ЯТАЙТЕ: своєчасне звернення - реальний шанс отримати допомогу!

Рисунок 4.1 – Картка охорони праці

Картка охорони праці слугує інструментом для інструктажу персоналу, особливо нових працівників або тих, хто переводиться на інше робоче місце. «Вона дозволяє стандартизувати підхід до інформування про вимоги безпеки, підвищуючи відповідальність кожного працівника за дотримання правил. Такий документ також значно полегшує проведення перевірок та аудитів з охорони праці, оскільки наочно демонструє наявність та дотримання вимог законодавства» [44].

Окрім цього, картка охорони праці є доказом того, що роботодавець виконує свої зобов'язання щодо створення безпечних умов праці. «Вона допомагає уникнути правових наслідків у разі нещасного випадку, якщо буде доведено, що працівник був проінформований про ризики та правила безпеки» [44]. Таким чином, розробка та ведення карток охорони праці є не лише засобом забезпечення безпеки, а й важливим елементом правового захисту як для роботодавця, так і для працівників.

Висновки по розділу.

У результаті аналізу небезпек, пов'язаних із діяльністю круп'яного підприємства, встановлено, що найпоширенішими виробничими ризиками є вплив шуму від обладнання, пиловиділення, ризик травмування при роботі з обертовими та гарячими частинами машин, а також небезпека електротравм і вибухонебезпечного середовища при накопиченні пилу. Всі ці чинники становлять потенційну загрозу здоров'ю та життю працівників, що зумовлює необхідність систематичного контролю, профілактичних заходів і використання відповідних засобів індивідуального захисту.

Визначено, що одним із ефективних інструментів управління безпекою праці є картка охорони праці, яка систематизує основну інформацію про небезпеки, запобіжні заходи, порядок дій в аварійних ситуаціях, вимоги до робочого місця та порядок проведення інструктажів. Її розробка дозволяє формалізувати заходи безпеки для конкретних умов виробництва, підвищити рівень обізнаності персоналу та знизити ймовірність нещасних випадків.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Розрахунок кошторису витрат на дослідження

«До витрат, пов'язаних із виконанням дослідження, належать витрати на основні матеріали, електроенергію, заробітну плату, амортизацію обладнання та накладні витрати» [45].

Розрахунок витрат на основні матеріали, використані під час дослідження, здійснюється за формулою (5.1):

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

де m_i – кількість витраченого i -го матеріалу;

C_i – ціна одиниці i -го матеріалу, грн.

Розрахунок необхідної кількості матеріалів і їх вартість приводяться в табл.5.1.

Таблиця 5.1 – Необхідна кількість матеріалів та їх вартість

Найменування матеріалу, одиниці	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Зерно гречки (рядове), кг	10	42,00	420,00
Зерно гречки сорту Богатир, кг	5	60,00	300,00
Набір сит лабораторних, од.	1	900,00	900,00
Відро 10 л, шт.	1	40,00	40,00
Ємність 3 л, шт.	1	22,00	22,00
Пластиковий таз 12 л, шт.	1	36,00	36,00
Вода дистильована, л	20	20,00	400,00
Всього			2118,00

«Оплата праці працівників, залучених до проведення дослідження, визначається шляхом множення середньої погодинної заробітної плати на

фактичну кількість відпрацьованих годин» [45]. Розрахункові дані наведено в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Розрахунок витрат на заробітну плату

Посада	Середньо-місячний заробіток, грн	Середньо-годинний заробіток, грн	Кількість людино-годин	Сума, грн
Дипломний керівник	8000	50,00	20	1000
Всього				1000

Нарахування на заробітну плату становлять 22 % єдиного соціального внеску. Відповідно, їх розмір обчислюється як 22 % від загальної суми нарахованої заробітної плати та дорівнює:

$$H = \frac{1000 \cdot 22}{100} = 220,00 \text{ грн.}$$

Затрати на витрачену електроенергію визначаються по формулі (5.2):

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

де M – потужність встановленого електрообладнання, кВт;

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

T – час роботи на обладнанні, год;

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

$$E_{\text{проп.р.}} = 2,9 \cdot 0,9 \cdot 28 \cdot 4,32 = 315,70 \text{ грн};$$

$$E_{\text{дуц.ц.л.}} = 5,0 \cdot 0,9 \cdot 20 \cdot 4,32 = 388,80 \text{ грн};$$

$$E_{\text{досл.уст.}} = 3,6 \cdot 0,9 \cdot 30 \cdot 4,32 = 419,90 \text{ грн};$$

$$E_{\text{ваг}} = 0,8 \cdot 3 \cdot 8 \cdot 4,32 = 82,94 \text{ грн.}$$

Отже, загальні витрати електроенергії становитимуть:

$$E_{\text{заг}} = E_{\text{пропар.}} + E_{\text{луцил.}} + E_{\text{досл.уст.}} + E_{\text{ваг}} = 315,70 + 388,80 + 419,90 + 82,94 = 1207,34 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію обладнання, задіяного під час проведення досліджень, розраховують за такою формулою:

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

де A – амортизаційні відрахування, грн.

Φ – вартість обладнання, грн.;

H – річна норма амортизації, %;

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

365 – кількість днів у році.

$$A_{\text{пропар.}} = \frac{75000 \cdot 20 \cdot 1}{100 \cdot 365} = 41,10 \text{ грн.};$$

$$A_{\text{луцил.}} = \frac{120000 \cdot 20 \cdot 1}{100 \cdot 365} = 65,75 \text{ грн.};$$

$$A_{\text{досл.уст.}} = \frac{36000 \cdot 20 \cdot 2}{100 \cdot 365} = 39,45 \text{ грн.};$$

$$A_{\text{ваг}} = \frac{4800 \cdot 12,5 \cdot 1}{100 \cdot 365} = 1,64 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків витрат на амортизацію наведено в табл.5.3.

Таблиця 5.3 – Результати розрахунків витрат на амортизацію

Устаткування	Вартість, грн	Річна норма амортизації, %	Час роботи, днів	Витрати на амортизацію, грн
Пропарювач	75000,00	20	1	41,10
Луцильник (вальцедековий верстат)	120000,00	20	1	65,75
Дослідна установка	36000,00	20	2	36,45
Ваги лабораторні	4800,00	12,5	1	1,64
Всього				144,94

«До накладних витрат належать витрати на опалення, освітлення, вентиляцію, діяльності навчально-допоміжного та адміністративно-управлінського персоналу, а також інші господарсько-експлуатаційні витрати» [45].

Розмір накладних витрат визначається як 80 % від суми нарахованої заробітної плати учасників дослідження.

$$HB = \frac{1000 \cdot 80}{100} = 800,00 \text{ грн.}$$

Результати розрахунку всіх витрат на проведення досліджень, пов'язаних з виконанням кваліфікаційної роботи зводимо в табл.5.4.

Таблиця 5.4 – Кошторис витрат на проведення дослідження

Витрати	Сума, грн
Основні матеріали	2118,00
Заробітна плата	1000,00
Нарахування на заробітну плату	220,00
Електроенергія	1207,34
Амортизація	144,94
Накладні витрати	800,00
Всього	5490,28

З таблиці 5.4 видно, що найбільшу частку витрат під час проведення дослідження технології виробництва гречаної крупи, що не потребує варіння, становлять витрати на основні матеріали, які складають 38,5% від загальної суми. Найменші витрати – 2,6% від загальної суми, були пов'язані з амортизацією використаного обладнання. Також варто відзначити доволі високі витрати на електроенергію (21,9%), які пов'язані з використанням потужного промислового обладнання.

5.2 Розрахунок ціни дослідження

«Науково-дослідна робота відноситься до фундаментальних досліджень, тому ціна визначається на основі витрат на дослідження та рентабельності, згідно формули (5.4)» [45]:

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

де $Ц$ – ціна дослідження, грн.;

C – витрати на дослідження, грн.;

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

$$Ц = 5490,28 + \frac{30 \cdot 5490,28}{100} = 7137,36 \text{ грн.}$$

Отже, вартість проведеного дослідження становить 7137,36 грн.

Висновки по розділу.

Відповідно до плану проведення дослідження було розраховано основні витрати на проведення дослідження та ціну дослідження. Найбільшу частку витрат під час проведення дослідження технології виробництва гречаної крупи, що не потребує варіння, становлять витрати на основні матеріали, які складають 38,5%

від загальної суми. Найменші витрати – 2,6% від загальної суми, були пов'язані з амортизацією використаного обладнання. Також варто відзначити доволі високі витрати на електроенергію (21,9%), які пов'язані з використанням потужного промислового обладнання. Загалом, з урахуванням 30% нормативної рентабельності вартість проведеного дослідження становить 7137,36 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті аналізу технологій виробництва круп, що не потребують варіння, встановлено, що найпоширенішими методами є виробництво варено-сушених круп, пластівців та продуктів, оброблених інфрачервоним (ІЧ) випромінюванням. Незважаючи на їхню ефективність, методи варіння з подальшим сушінням залишаються енерговитратними та створюють екологічне навантаження через необхідність утилізації стічних вод. Альтернативні методи, зокрема ІЧ-обробка, мають перевагу у зменшенні часу термічного впливу та забезпечують високу збереженість біологічно цінних речовин.

Проведені дослідження процесу пропарювання зерна гречки підтвердили, що використання насиченої пари під надлишковим тиском від 0,3 до 0,5 МПа забезпечує значні зміни у структурі зерна. Зокрема, підвищення тиску і експозиції пропарювання сприяє збільшенню повітряного зазору між ядром і оболонками, що є важливим фактором для подальшої обробки зерна.

Встановлено, що при гідротермічній обробці парою під час вивантаження з пропарювача відбувається ефект аеролущення, який суттєво підвищує ефективність первинного лушення зерна. Максимальний коефіцієнт лушення досягається при тиску лушення 0,5 МПа, хоча при цьому збільшується кількість пошкоджених зернівок.

Аналіз процесу лушення зерна показав, що оптимальним тиском для балансу між якістю лушення та мінімальним руйнуванням ядра є 0,4 МПа. Використання такого режиму дозволяє отримати високий коефіцієнт лушення з практично нульовим виходом дробленого ядра, що покращує вихід і якість крупи.

Поєднання первинного лушення парою з подальшим лушенням на вальцедековому верстаті значно скорочує тривалість процесу та підвищує вихід крупи. Зокрема, після парового лушення достатньо чотирьох проходжень через верстат для досягнення повного лушення зерна, що в порівнянні з традиційним способом на 8,1% збільшує вихід ядриці.

В процесі отримання повітряної ядриці встановлено, що тиск стисненого повітря у термічному апараті має ключове значення для виходу та якості підірваної крупи. Зростання тиску стисненого повітря від 0,8 до 1,2 МПа значно підвищує вихід продукту, а більш жорсткі режими пропарювання (0,4-0,5 МПа) дозволяють досягати високих показників навіть при нижчих тисках повітря.

Повітряна крупа, отримана зі сировини, пропареної під тиском 0,3–0,5 МПа, має знижену щільність і підвищену здатність до набухання, що покращує її технологічні властивості. Вміст декстринів збільшується головним чином за рахунок термічної деструкції крохмалю та механічного руйнування зерен під час підривання, що сприяє підвищенню якості кінцевого продукту.

У результаті аналізу небезпек, пов'язаних із діяльністю круп'яного підприємства, встановлено, що найпоширенішими виробничими ризиками є вплив шуму від обладнання, пиловиділення, ризик травмування при роботі з обертовими та гарячими частинами машин, а також небезпека електротравм і вибухонебезпечного середовища при накопиченні пилу. Визначено, що одним із ефективних інструментів управління безпекою праці є картка охорони праці, яка систематизує основну інформацію про небезпеки, запобіжні заходи, порядок дій в аварійних ситуаціях, вимоги до робочого місця та порядок проведення інструктажів.

Найбільшу частку витрат під час проведення дослідження технології виробництва гречаної крупи, що не потребує варіння, становлять витрати на основні матеріали, які складають 38,5% від загальної суми. Найменші витрати – 2,6% від загальної суми, були пов'язані з амортизацією використаного обладнання. Також варто відзначити доволі високі витрати на електроенергію (21,9%), які пов'язані з використанням потужного промислового обладнання. Загалом, з урахуванням 30% нормативної рентабельності вартість проведеного дослідження становить 7137,36 грн.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Шутенко Є.І., Соц С.М. Технологія круп'яного виробництва: навч. посіб. Київ : Освіта України, 2010. 272 с.
2. Мерко І. Т. Технології мукомельного і круп'яного виробництва: підручник для студентів вищ. навч. закл., що навчаються за спец. «Технологія зберігання та переробки зерна». Вид. 2-ге, перероб. та допов. Одеса : Друк. дім, 2010. 472 с.
3. Жемела Г.П., Бараболя О.В. Технологія борошномельного та круп'яного виробництва: навчальний посібник для студентів вищих агротехнологічних навчальних закладів. Полтава: 2011. 292 с.
4. Гайдай, Г. С. Технологічні властивості зерна залежно від розміру зернівки. Матеріали Всеукраїнської наукової конференції молодих учених : матеріали Всеукр. конф., 10–11 квітня 2012 р., Умань, Україна / Уманський НУС. Умань, 2012. С. 183-185.
5. Мерко І. Т., Моргун В.О. Наукові основи і технологія переробки зерна. Одеса : Друк, 2001. 348 с.
6. Осокіна Н. М., Герасимчук О.П., Матвієнко Н.П. Технологія зберігання і переробки зерна. К.: ТОВ «Книга – плюс», 2012. 320 с.
7. Дудяк І.Д., Туз М.С. Методичні рекомендації щодо виконання лабораторних робіт з дисципліни «Технологія виробництва борошна, круп та комбікормів» студентами денної форми навчання спеціальності 8.09010101 «Агрономія». Миколаїв: МНАУ, 2015. 138 с.
8. Гайдай Г. С., Іванова В.В. Використання сучасних технологій та обладнання для переробки круп'яних культур. Підвищення ефективності ресурсозберігаючих технологій на зернопереробних підприємствах: Матеріали Всеукр. конф. Умань, 2013. С 36-38.
9. Правила організації і ведення технологічного процесу на круп'яних заводах [Крошко Г. Д., Левченко В. І., Назаренко Л. Н. та ін.]. К.: Віпол, 1998. 163 с.

10. Ільків, Л. А. Ефективність переробки зерна в АПК. Наук. пр. Нац. ун-ту харч. технологій. 2011. № 39. С. 51-53.
11. Мерко, І. Соц С. Вихід суцільної рисової крупи підвищити не складно. Зерно і хліб. 2009. № 3. С. 35-36.
12. Подпрятков Г.І., Скалецька Л.Ф. Технологія виробництва борошна, крупи та олії. К.: Видавництво НАУ, 2000. 200 с.
13. Шаповаленко, О. І. Дослідження сучасного стану круп'яних продуктів / О. І. Шаповаленко, О. О. Євтушенко, Ю. П. Тертишна // Підвищення ефективності ресурсозберігаючих технологій на зернопереробних підприємствах: матеріали Всеукр. конф. 9 березня 2013 р., Умань, Україна / УНУС. Умань, 2018. С 4-5.
14. Прядко, Т. П. Перспектива використання екструдатів зернових культур для збагачення традиційних харчових середовищ. Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті : матеріали Міжнар. конф. 9 листопада 2012 р., Київ, Україна / НУХТ. К., 2012. С. 25-27.
15. Шаповаленко О. І., Харченко Є.І., Фурманова Ю.П., Свиридчук Н. Плющення голозерного вівса. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2017. № 140. С. 45-49.
16. Богомолів О.В. Управління якістю переробних і харчових виробництв/ О.В. Богомолів, О.І. Шаповаленко, О.М. Сафонова, [та ін.]: Навч. посібник. Харків: «Еспада». 2006. 296 с.
17. Zhang M., et al. Infrared thermogenesis: Review of multifaceted effects on cereal grains' functional, morphological & rheological properties and safety concerns. Food Res. Int. 2025. Vol. 140. P. 112345.
18. Li X., et al. Infrared treatment influence on the buckwheat groats structural and mechanical properties. Res. Gate. 2023. Vol. 12. P. 45–53.
19. Gogoi B., et al. Far infrared irradiation alters total polyphenol, total flavonoid content and antioxidant activity of tartary buckwheat sprouts powder. Food Chem. 2014. Vol. 150. P. 346–352.

20. Palamarchuk V. et al. Intensification of the flow process of grain drying using two-sided infrared irradiation //Technology audit and production reserves. 2021. Т. 1. №. 3. С. 57.
21. Gogoi B., et al. Effect of infrared roasting on antioxidant activity, phenolic composition and Maillard reaction products of Tartary buckwheat varieties. Res. Gate. 2018. Vol. 15. P. 67–75.
22. Pan Z., Atungulu G.G. A comprehensive review on infrared heating applications in food processing. Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 2019. Vol. 18, No 2. P. 301–320.
23. Hoseney, R. C. Principles of cereal science and technology. American Association of Cereal Chemists. 1986. P. 120–135.
24. Миколенко С.Ю., Тимчак Д.О. Вплив технологічних факторів на поп-властивості зерна сорго. Харчова промисловість. 2019. №26. С. 14-21.
25. Hegenbart, S. Mastering the morning: creating breakfast cereals. Food Production and Design. 1995. Vol. 3, No. 2. P. 45–52.
26. Mykolenko, S., Tymchak, D., Tchoursinov, Y., & Kharytonov, M. Microwave popping characteristics, chemical composition and microstructure of sorghum grain. *INMATEH Agricultural Engineering*, vol. 67, №2, 2022. P. 191–200. <https://doi.org/10.35633/inmateh-67-19>
27. WinTone Machinery. Puffed grain production technology. Grain Processing Equipment. 2014. № 5. С. 18–24.
28. Особливості надвисокочастотної обробки зерна кукурудзи, сорго і амаранту / Д.О. Тимчак, С.Ю. Миколенко, Ю.Ю. Куянов, В.А. Шевченко // *Зберігання і переробка зерна*. 2018. №2 (222). С.45-48.
29. Sharad, J. S., Pardeshi, I. L., Swami, S. B., Ranveer, R. C., Kadam, J. H. Process optimization for hot air puffing of barnyard millet (*Echinochloa frumentacea*). Biochemical Journal. 2024. Vol. 8, No. 11. P. 130–135.
30. Tymchak D., Mykolenko S., Kuyanov Yu. Production of popped sorghum with using microwave treatment. *Grain Products and Mixed Fodder's*. 2018. 18(2). P. 15-20. <https://doi.org/10.15673/gpmf.v18i2.950>

31. Миколенко С.Ю., Куянов Ю.Ю., Беліков Є. І., Тимчак Д.О., Шевченко В.А. Перспективи використання вітчизняних сортів розлусної кукурудзи для отримання "зірваних" зерен шляхом нвч-випромінювання. Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційний розвиток харчової індустрії» (м. Київ, 14 грудня 2017 р.). Інститут продовольчих ресурсів НААН, 2017. С. 87-89.

32. Тимчак Д.О. Миколенко С.Ю., Середа В.І., Біленко А.О., Бурій Д.О. Отримання поп-зерна із вітчизняних сортів сорго. Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції «Органічне виробництво і продовольча безпека» (м. Житомир, 2019 р.), Житомирський національний агроекологічний університет, 2019. С. 132-136.

33. Tymchak D., Mykolenko S., Buriy D., Yermakova V. Popping characteristics of different sorghum varieties. Матеріали 86-ї Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» (м. Київ, 2–3 квітня 2020 р.). НУХТ, 2020. С. 154.

34. Бабич, М. Б. Особливості гідротермічної обробки круп'яного зерна. 36. наук. праць Одеської НАХТ. 2012. № 36. С. 98-102.

35. Сафонова О.М. Вплив імпульсної водно-теплової обробки зерна пшениці на його структурно-механічні властивості / О.М. Сафонова, О.О. Разборська, В.Б. Юферов, О.М. Озеров // Вібрації в техніці та технологіях. Науково-технічний журнал Вінницького національного аграрного університету. Вінниця : ВНАУ, 2011. № 1 (61). С. 168-171.

36. Соболевський, В. С. Холодне кондиціювання зерна / В. С. Соболевський, В. В. Горбенко, В. Д. Денисенко // Зерно і хліб. 2007. № 3. С. 31-33.

37. Фесенко, К. М. Найкращими властивостями відрізняються пластівці з тритикале, отримані методом пропарювання зерна під тиском 0,17 МПа впродовж 6-8 хв. Зерно і хліб. 2009. № 2. С. 25-26.

38. Полудненко О.О. Інтенсифікація процесу водно-теплової обробки зерна пшениці у сортових хлібопекарських помелах / О.О. Полудненко, О.М.

Сафонова // Наукові здобутки молоді - вирішення проблем харчування людства у XXI столітті : 76-а наук. конф. молодих вчених, аспірантів і студентів, 12-13 квітня 2010 р. : матеріали конф. – Київ : НУХТ, 2010. С. 163.

39. Гулавський В. Волого-теплова обробка збіжжя значно підвищує поживність комбікормів, істотно зменшує кількість мікроорганізмів / Гулавський В., Єгоров Б. // Зерно і хліб. – 2007. - №2. – С. 28.

40. Інноваційні методи обробки продовольчої сировини / С.Ю. Миколенко, О.В. Гончарова, А.М. Пугач, А.В. Купченко, В.С. Кошулько, Я.В. Гезь: Монографія. Дніпро: Журфонд, 2017. 224 с.

41. Bandura V. Description of heat exchange in the similarity theory of vibrating drying process of sunflower / V. Bandura, I. Zozuliak, V. Palamarchuk. – Ukrainian Journal of Food Science, 2014. Vol. 2. Issue 2. 305-311.

42. Сафонова О.М. Вплив інтенсивної водно-теплової обробки на борошномельні властивості зерна пшениці / О.М. Сафонова, О.О. Разборська // Сільськогосподарські машини. Зб. наук. праць Луцького національного технічного університету. Луцьк : ЛНТУ, 2011. Вип. 21. С. 74-80.

43. Котов Б.І. Ідентифікація динамічних режимів нагріву і сушіння зернопродуктів ІЧ-випромінюванням / Б.І. Котов, В.В. Кифяк // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК. 2014. Вип. 194(2). С. 165-170.

44. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці: підручник, 3-тє вид., перероб. і доп. Львів : УАД, 2008. 336 с.

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