МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БІОЛОГО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Спеціальність 181 «Харчові технології»

«Допускається до захисту»
Завідувач кафедри харчових технологій і технологій переробки продукції тваринництва,
доцент _____ Загоруй Л.П.
«16» 05 2026 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА КРОХМАЛЮ

Виконав: Антонов Дмитро Володимирович
Керівник: доцент Король-Безпала Л.П.
Рецензент: Чернюк С.В.

Я, Антонов Дмитро Володимирович, засвічую, що кваліфікаційну роботу виконано з дотриманням принципів академічної доброчесності.

Біла Церква – 2026

ЗМІСТ

Завдання на кваліфікаційну роботу здобувачу 3

АНОТАЦІЯ 4

ANNOTATION 5

Відгук керівника роботи 6

Рецензія 7

ВСТУП 8

1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА 10

1.1 Аналіз ринку крохмалю в Україні 10

1.2 Підбір і вимоги до сировини 12

1.3 Технологічний розрахунок сировини для крохмалю 16

1.4 Підбір та розрахунок технологічного обладнання для крохмалю 18

1.5 Технологія виробництва кукурудзяного крохмалю 27

2. КОНТРОЛЬ БЕЗПЕЧНОСТІ ТА ЯКОСТІ ВИРОБНИЦТВА КУКУРУДЗЯНОГО КРОХМАЛЮ 33

3. ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ 35

4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА 37

ВИСНОВКИ 40

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ 41

АНОТАЦІЯ

Антонов Д.В. Організація виробництва крохмалю

Мета роботи є ознайомлення із технологією виготовлення кукурудзяного крохмалю.

Протягом останніх десяти років світова крохмале-патокова промисловість продемонструвала вражаючу динаміку, практично подвоївши обсяги виробництва. Такий розвиток став можливим завдяки розширенню спектра сировини: окрім звичної картоплі, у широких масштабах почали переробляти кукурудзу, пшеницю та маніок. На сьогоднішній день крохмаль розглядається не лише як окремий харчовий продукт, а й як важливий стратегічний матеріал для високотехнологічних секторів.

Кукурудзяний крохмаль є цінною стратегічною сировиною для багатьох галузей промисловості. У чистому вигляді крохмаль виглядає як білий гігроскопічний порошок без запаху і смаку, який при нагріванні до температури 62 - 72 °С утворює густий непрозорий клейстер із короткою текстурою. Такі властивості роблять його незамінним загущувачем і стабілізатором у харчових технологіях. Крім того, цей продукт широко використовується як дієтичний безглютеновий інгредієнт, є основою для створення модифікованих добавок, виробництва солодких речовин, а також застосовується у виготовленні біорозкладних полімерів, паперу та фармацевтичних препаратів.

У даній роботі здійснено підбір і розрахунок необхідної сировини та обладнання, що відповідають встановленим вимогам для виготовлення готового продукту. Розглянуто всі етапи технологічного процесу, докладно описано процедури контролю безпечності та якості, а також проаналізовано вплив виробництва крохмалю на навколишнє середовище.

Кваліфікаційна робота містить 42 сторінок, 11 таблиць, 4 рисунків, 24 список використаних джерел.

Ключові слова: сировина, кукурудзяний крохмаль, технологічні процеси, обладнання,контроль якості та безпечності.

ANNOTATION

Antonov D.V. Organization of starch production

The purpose of this paper is to introduce corn starch production technology.

Over the past ten years, the global starch and syrup industry has demonstrated impressive growth, nearly doubling production volumes. This development was made possible by the expansion of the range of raw materials: in addition to the traditional potato, corn, wheat, and cassava have begun to be processed on a large scale. Today, starch is considered not only as a standalone food product but also an important strategic material for high-tech sectors.

Corn starch is a valuable strategic raw material for many industries. In its pure form, the starch appears as a white, hygroscopic, odorless, and tasteless powder. When heated to 62-72 °C, it forms a thick, opaque paste with a short texture. These properties make it an indispensable thickener and stabilizer in food formulations. Furthermore, this product is widely used as a gluten-free dietary ingredient, a base for modified additives, and the production of sweeteners. It is also used in the manufacture of biodegradable polymers, paper, and pharmaceuticals.

This paper examines the selection and calculation of the necessary raw materials and equipment to meet established requirements for the production of the finished product. All stages of the technological process are examined, safety and quality control procedures are described in detail, and the environmental impact of starch production is analyzed.

This thesis contains 42 pages, 11 tables, 4 figures, and 24 references.

Keywords: raw materials, corn starch, technological processes, equipment, quality and safety control.

ВСТУП

Сучасна крохмале-патокова промисловість є дуже важливою складовою національної економіки, що сприяє ефективній глибокій переробці сільськогосподарської сировини. Асортимент продукції таких підприємств охоплює десятки різних найменувань: від традиційного сушеного крохмалю, декстрину та різних видів патоки до інноваційних глюкозно-фруктозних сиропів і модифікованих крохмалів із заданими властивостями. Завдяки унікальним функціональним характеристикам ці продукти знаходять широке застосування не лише в харчовій галузі (зокрема в кондитерській, хлібопекарській, молочній та консервній промисловості), але й виконують важливу роль у сферах фармації, текстилю, поліграфії та виробництва паперу, забезпечуючи базу для створення продукції з високою доданою вартістю [2, 19].

У процесі переробки картоплі та кукурудзи на спеціалізованих підприємствах отримують сирий крохмаль із вологістю 50–52 %. Через високий вміст вологи цей продукт стає сприятливим середовищем для інтенсивного розмноження мікроорганізмів, що зумовлює швидке закисання та псування сировини. У зв’язку з цим сирий крохмаль не придатний для тривалого зберігання, тому потребує негайної подальшої обробки. Його або висушують до стабільного стану, або одразу на місці використовують для виробництва патоки, глюкози та інших похідних крохмалепродуктів [9].

Крохмаль є цінним харчовим продуктом з унікальними фізико-хімічними властивостями. У звичайному стані він має вигляд білого порошку, що складається з гранул. Під мікроскопом можна побачити, що ці гранули мають характерну структуру й розмір, які залежать від типу використаної рослинної сировини. У холодній воді крохмаль практично не розчиняється, але при нагріванні його частинки активно вбирають воду, набухають і формують в'язкий колоїдний розчин, який називають крохмальним клейстером.

Крохмаль є складним полісахаридом, який слугує головним запасом поживних речовин у рослинах. Він утворюється в процесі фотосинтезу і накопичується в насінні, бульбах, плодах, цибулинах та стеблах. Як важливе

джерело енергії для людей, крохмаль становить значну частину продуктів харчування, таких як борошно (75–80%) і картопля (приблизно 25%). Крім того, його у великих кількостях можна знайти в рисі, пшениці, житі, ячмені та сорго. В організмі цей полісахарид легко розщеплюється до глюкози у процесі травлення, забезпечуючи необхідну енергію [11, 20].

У промисловому масштабі особливе місце посідає кукурудзяний крохмаль, який завдяки своїм технологічним властивостям масово використовується не лише як ефективний загущувач для соусів і підлив, а й як базова сировина для виробництва кукурудзяних сиропів і підсолоджувачів.

Мета роботи є ознайомлення із технологією виготовлення кукурудзяного крохмалю.

Для вирішення такої мети були поставлені наступні **завдання:**

- ознайомитися з технологією виготовлення кукурудзяного крохмалю;
- проаналізувати сировину для виготовлення крохмалю;
- зробити розрахунки основної та допоміжної сировини виготовлення готового продукту;
- підібрати та розрахувати обладнання, для технології виготовлення крохмалю;
- показати контроль безпечності та якості за виробництва кукурудзяного крохмалю;
- ознайомити з екологізацією виробничих процесів при виготовленні крохмалю.

Структура та обсяг бакалаврської роботи включають низку обов’язкових структурних розділів (вступ, технологічну частину, контролю безпеки та якості виробництва продукту, екологізації виробничих процесів, економічну частину, висновки , список використаних джерел). Дана робота має 42 сторінок комп’ютерного тексту, 11 таблиць, 4 рисунків та 24 список використаних джерел.

РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1. Аналіз ринку крохмалю в Україні

Виробництво крохмалю в Україні та у світі є важливим сегментом агропромислового комплексу, який демонструє стабільну тенденцію зростання в останні роки. Сучасні дослідження цього ринку ґрунтуються на глибокому аналізі ключових аспектів, таких як обсяги внутрішнього виробництва, динаміка експортно-імпортних операцій та оцінка загальної ємності ринку. Значна увага приділяється деталізованій сегментації, що охоплює географічний розподіл виробничих потужностей, оцінку діяльності провідних операторів ринку, аналіз змін цінових показників та виявлення галузевої структури споживання. Зростання галузі стимулюється не лише активним розвитком традиційних ринків збуту, а й впровадженням інноваційних технологій для глибокої переробки сировини, зокрема кукурудзи та картоплі. Це створює можливості для українських виробників посилювати конкурентоспроможність на світовій арені, розширювати виробничі потужності та збільшувати випуск продукції з високою доданою вартістю [10, 24].

Аналізуючи ситуацію на ринку крохмалю в Україні, можна відзначити, що процес кількісного та якісного розвитку цього сектора економіки триває. Зростання попиту на кукурудзяний крохмаль як у харчовій, так і в нехарчовій промисловості продовжує стимулювати збільшення обсягів виробництва та підвищення загального рівня конкурентоспроможності українського ринку крохмалю.

У 2025–2026 роках крохмале-патокова галузь України стала стратегічним напрямом розвитку агропромислового комплексу. Основний акцент робитиметься на глибокій переробці сировини, що дозволить зменшити логістичні ризики та підвищити додану вартість експорту. Поточний ринок демонструє стійке зростання попиту на модифіковані крохмалі та високоцукристі підсолоджувачі. Ці продукти поступово замінюють дорожчий цукор у виробництві кондитерських виробів, безалкогольних напоїв і молочної

продукції, а також знаходять дедалі ширше застосування у створенні біорозкладного пакування та технічного картону [13, 18].

У контексті енергетичних викликів 2026 року підприємства активно інтегрують енергоефективні технології сушіння та переходять на відновлювані джерела енергії. Це дозволяє зберігати конкурентоспроможність українського картопляного та кукурудзяного крохмалю на ринках ЄС. Окрім традиційного застосування як загущувача, крохмаль дедалі більше стає ключовим компонентом у виробництві інноваційних продуктів сегмента «чистої етикетки» та безглютенової продукції, що відповідає світовим трендам на здорове харчування. Основні тенденції розвитку цієї галузі пов'язані з запровадженням сучасних ресурсоощадних і екологічно безпечних технологій, автоматизацією виробничих процесів, підвищенням якості продукції та розширенням асортименту. Значний акцент робиться на скороченні використання води й енергоресурсів, а також на переробці відходів з можливістю їх повторного застосування.

Український ринок крохмалю демонструє стабільне зростання та позитивну динаміку. Основними напрямками його розвитку є потреби харчової промисловості, виготовлення модифікованих крохмалів, біопластиків і продукції для технічних цілей. Ключовою сировиною залишається кукурудза, на яку припадає понад 90% виробництва. У той час картопляний крохмаль займає значно меншу ринкову нішу через вищу собівартість [14, 23].

Крохмаль сьогодні відзначається одним із першим в різних галузях не лише як важливий компонент харчової та промислової індустрій, а й як ключовий елемент «зеленої революції». Його здатність перетворюватися на термопластичний біополімер відкриває перспективи для створення повністю біорозкладного пакування та екологічного посуду, що відповідає сучасним трендам сталого розвитку. Однак його роль не обмежується лише екологією. У сфері високих технологій крохмаль застосовується як сполучна речовина в адитивному виробництві, де його використовують для проєктування складних керамічних структур.

У медицині модифіковані форми крохмалю служать наноносіями, які забезпечують точну та адресну доставку лікарських препаратів до клітин організму. Цей античний матеріал, відомий як клей для склеювання папірусів, водночас вважається інноваційним ресурсом, здатним підтримати майбутні космічні дослідження і колонізації. Таким чином, крохмаль підтверджує свою універсальність, поєднуючи в собі багатовікову історію та сучасні технологічні досягнення [1, 23].

Особливістю споживання продуктів ринку крохмалю в харчовій промисловості України є чіткий поділ сфер використання кукурудзяного та картопляного крохмалю, обумовлений їхніми різними властивостями. Кукурудзяний крохмаль характеризується відсутністю помітного смаку та запаху і має нижчу в'язкість у порівнянні з картопляним. Тому з в'язкого картопляного крохмалю зазвичай виготовляють соуси і глазурі, а з менш в'язкого кукурудзяного - цукерки та панірувальні сухарі.

Завдяки різним способам фізичної, хімічної або фізико-хімічної обробки з крохмалю отримують численні похідні з модифікованими властивостями. Попит на модифікований крохмаль у світі стрімко зростає, однак в Україні масштаби його виробництва поки що залишаються невеликими [10, 22].

Останні роки стали переломним етапом для технології виробництва крохмалю та його похідних. Значні технологічні зміни були спричинені потребою різкого збільшення потужностей підприємств. Це стало можливим завдяки впровадженню нових видів обладнання та вдосконаленню існуючих технологій із використанням передових досягнень науки та техніки.

1.2 Підбір і вимоги до сировини

Для виготовлення кукурудзяного крохмалю основною сировиною слугує кукурудзяне зерно, однак не всі сорти однаково підходять для крохмале-патокового виробництва. Найкращими вважаються зубовидні та напівзубовидні сорти кукурудзи. У порівнянні з кременистими сортами, вони мають м'якший ендосперм, що спрощує процес замочування та виділення крохмалю з білкової матриці [21].

Рентабельне виробництво забезпечують сорти, вміст крохмалю в яких

становить щонайменше 65–70% на суху речовину. Перевага надається зерну з виразним борошнистим ендоспермом, оскільки менша кількість рогоподібного (склоподібного) шару сприяє отриманню більшого виходу чистого крохмалю під час мокрого помелу.

Оптимальна вологість при прийманні на зберігання - 13–14%. Використання пересушеного зерна (нижче 12%) небажане, оскільки воно стає крихким, що призводить до подрібнення зародка та забруднення крохмалю жиром. Хімічний склад зерен різних груп рослин кукурудзи подібний, але сильно залежить від умов вирощування та ступеня стиглості. Різні види кукурудзи відрізняються розміром зерна, кольором, терміном дозрівання та зберігання, смаком.

Оптимальний рівень вологості зерна для зберігання становить 13–14%. Застосування пересушеного зерна з вологістю нижче 12% небажане, оскільки це робить зерно крихким, що спричиняє дроблення зародка та забруднення крохмалю жиром. Хоча хімічний склад зерен різних груп кукурудзи має схожі характеристики, він значно залежить від умов вирощування та стадії стиглості. Види кукурудзи відрізняються між собою розміром зерна, кольором, терміном дозрівання, тривалістю зберігання і смаковими властивостями [21, 22].

Зерно кукурудзи, призначене для промислової переробки (зокрема для виробництва крохмалю та патоки), відповідно до вимог ДСТУ 4525:2006 «Кукурудза. Технічні умови» [5], має відповідати встановленим органолептичним та фізико-хімічним показникам.

Показники якості за органолептикою наведенні в таблиці 1.

Таблиця 1

Органолептичні показники зерна кукурудзи

Показник	Характеристика та норми
Зовнішній вигляд	Здорове зерно, не змінене в кольорі, з характерним блиском.
Колір	Властивий відповідному типу (білий, жовтий, змішаний).
Запах	Властивий здоровому зерну (без затхлого, пліснявого,

	солодового, гнильного та інших сторонніх запахів).
Стан	Зерно повинно бути не грітим, без ознак самозігрівання.
Зараженість шкідниками	Не допускається (крім кліща не вище I ступеня для нижчих класів).

Фізико-хімічні показники є одним із методом контролю, які також є об’єктивним критерієм оцінки якості сировини та готової продукції (табл. 2).

Таблиця 2

Фізико-хімічні показники зерна кукурудзи

Показник	Характеристика та норми
Вологість	Не більше 14,5% (базова норма).
Натура (маса об'єму)	Визначає виповненість зерна; чим вище показник, тим більше ендосперму (крохмалю).
Смітна домішка	Не більше 2,0% (включає мінеральні, органічні домішки та зіпсоване зерно).
Зернова домішка	Не більше 7,0% (для 1-го класу) або до 15,0% (для інших класів). Включає биті, проросле, морозобійне зерно.
Вміст зіпсованого зерна	Не більше 1,0% у складі смітної домішки.
Вміст фузаріозних зерен	Суворо обмежується (зазвичай не більше 1,0% для харчових цілей).

Вода у виробництві кукурудзяного крохмалю виступає не лише допоміжним компонентом, а є ключовою технологічною складовою, адже вся галузь будується на методі мокрого помелу. Вона виконує функції транспортного середовища, розчинника та засобу для розділення фракцій, а також впливає на кількість отриманого крохмалю і його якісні характеристики, такі як білизна, зольність та кислотність.

Якість води підлягає суворому контролю відповідно до державних стандартів, оскільки вона має значний вплив на здоров'я споживачів. Основні вимоги до питної води регламентовані ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості» [4].

Параметри якості води поділяються на категорії, які забезпечують її безпеку та прийнятність для використання. З огляду на те, що вода є основним технологічним ресурсом у виробництві кукурудзяного крохмалю, дотримання встановлених норм є надзвичайно важливим.

Органолептичні та фізико-хімічні показники якості води наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Органолептичні та фізико-хімічні показники води

Назва показника	Одиниця виміру	Норма (не більше)
Органолептичні показники		
Запах (при 20∘С та 60∘С)	бали	2
Смак та присмак	бали	2
Кольоровість	градуси	20 (35*)
Мутність	НОК (або мг/дм3)	1,0 (2,0*)
Фізико-хімічні показники		
Водневий показник (pH)	одиниці pH	6,5–8,5
Загальна жорсткість	ммоль/дм3	7,0 (10,0*)
Загальна мінералізація (сухий залишок)	мг/дм3	1000 (1500*)
Залізо загальне	мг/дм3	0,2 (1,0*)
Марганець	мг/дм3	0,05 (0,5*)
Нітрати	мг/дм3	50,0
Хлориди	мг/дм3	250 (350*)
Сульфати	мг/дм3	250 (500*)
Окиснюваність перманганатна	мг O2/дм3	5,0

1.3. Технологічний розрахунок сировини для крохмалю

Продуктовий розрахунок допомагає встановити обсяги необхідної сировини, допоміжних матеріалів, а також кількість утворених побічних продуктів. Для проведення розрахунків використаємо середньогалузеві показники для кукурудзи стандартної якості (табл. 4).

Вихідні дані для розрахунку.

Щоб отримати **1000 кг (1 т)** сухого крохмалю, врахуємо наступні показники:

- Вміст крохмалю в кукурудзі: ~70% (на суху речовину).
- Технологічні втрати крохмалю: ~3–5%.
- Вологість товарного крохмалю: 13%.
- Вологість вихідного зерна: 14%.

Розрахунок отримання 1 т сухого крохмалю

Щоб отримати 1 тонну крохмалю, враховуючи середній вихід 62% та технологічні втрати, потрібно переробити:

Для отримання 1 т крохмалю необхідно переробити:

$$G_{зерна} = 1000 \text{ кг} / 0{,}62 = 1613 \text{ кг/год (або 1,62 т/год).}$$

1. Стадія очищення та підготовки:

На цьому етапі видаляється сміттєва домішка (1%).

- Маса на вході ($M_{вх}$): 1613 кг;
- Відходи ($M_{від}$): 1613 × 0,01 = 16,1 кг;
- Чисте зерно на виході ($M_{оч}$): 1613 - 16,1 = 1596,9 кг.

2. Стадія замочування та екстракції (H_2SO_3):

Частина сухих речовин (7%) переходить у розчин (екстракт).

- Маса розчинних речовин в екстракті ($M_{екс}$): 1596,9 × 0,07 = 111,8 кг;
- Маса замоченого зерна (без екстракту): 1596,9 - 111,8 = 1485,1 кг.

Фізична вага зерна в чанах буде більшою через поглинання води, але для балансу сухих речовин ми рахуємо чистий вихід продуктів.

3. Стадія виділення зародка:

Вихід вологого зародка становить приблизно 6,5 % від початкової маси зерна.

- Вихід зародка ($M_{зар}$): 1596,9 × 0,065 = 103,8 кг.
- Залишок кашки після виділення зародка: 1485,1 - 103,8 = 1381,3 кг.

4. Стадія виділення мезги:

Мезга (клітковина) складає близько 14 % від маси зерна.

- Вихід мезги ($M_{мез}$): 1596,9 × 0,14 = 223,6 кг.

- Крохмально-глютенова суспензія: 1381,3 - 223,6 = 1157,7 кг.

5. Стадія сепарації глютену:

Вихід глютену (білка) становить приблизно 5,5 % від маси зерна.

- Вихід глютену ($М_{глю}$): 1596,9 × 0,055 = 87,8 кг.
- Маса крохмалю (сухого) в суспензії: 1157,7 - 87,8 = 1069,9 кг.

Залишок у 1069,9 кг включає цільову тонну крохмалю та ~70 кг технологічних втрат, що йдуть з промивними водами).

6. Стадія сушіння та отримання готового продукту:

Розраховуємо баланс вологи. Крохмаль після центрифуг має вологість W_1 = 35 %, а готовий - W_2 = 13 %.

- Маса вологого крохмалю перед сушаркою: $М_{вол}$ = 1000 × 100 – 13 / 100 - 35 = 1338,5 кг.
- Кількість випаруваної вологи (W): 1338,5 - 1000 = 338,5 кг.

Таблиця 4

Загальні технологічні показники при отриманні 1000 кг крохмалю

Стадія	Вхідний потік (кг)	Вихідний потік (кг)	Відхід / Супутній продукт (кг)
Очищення	1613,0	1596,9	16,1 (сміття)
Замочування	1596,9	1485,1	111,8 (екстракт H_2SO_3)
Сепарація зародка	1485,1	1381,3	103,8 (зародок)
Сепарація мезги	1381,3	1157,7	223,6 (мезга)
Сепарація глютену	1157,7	1069,9	87,8 (глютен)
Сушіння	1338,5	**1000,0**	338,5 (вода/пара)

При переробці 1613 кг кукурудзи ми отримуємо рівно 1000 кг крохмалю з вологістю 13 %. Решта маси (613 кг) розподіляється між супутніми продуктами (зародок, глютен, мезга, екстракт) та видаленою вологою. Технологічні втрати (69,9 кг) враховані як такі, що вимиваються разом із глютеном та промивними водами.

1.4 Підбір та розрахунок технологічного обладнання для кукурудзяного крохмалю

Підбір обладнання проводиться з урахуванням організаційного графіка виробничого процесу. Це дозволяє враховувати всі технічні вимоги та забезпечувати злагоджену, чітко організовану роботу.

Параметричні показники повинні відповідати таким операціям: замочування при температурі 48-50 °С, кислота концентрацією SO_2 0,15-0,2 %, гідро циклон з тиском на вході 0,4-0,5 МПа, промивання з витратами води 2,5-3,0 м³/т, сушіння при температурі виходу 55 °С [15].

Гідроциклони. Для організації виробництва кукурудзяного крохмалю з продуктивністю 1 т/год необхідно підібрати три різні типи гідроциклонів, які мають відмінності за конструкцією, використовуваними матеріалами та принципом розділення фракцій**.**

1. **Гідроциклон-каменевідділювач.** Цей пристрій слугує для захисту дробарок від механічних пошкоджень шляхом вилучення таких домішок, як пісок, каміння та скло. Рекомендована модель: ГЦ-300.



Основні характеристики: - опис конструкції: внутрішній корпус має гумовану футеровку, що забезпечує його стійкість до абразивного зносу. - технічні параметри: діаметр - 300 мм, продуктивність до 10–12 м³/год (за суспензією). Матеріал: вуглецева сталь із вставкою з поліуретану (рис. 1). **Рис. 1** Гідроциклон

Для виробництва кукурудзяного крохмалю продуктивністю 1 т/год необхідно підібрати три типи гідроциклонів, які відрізняються конструкцією, матеріалами та принципом розділення фракцій.

2. **Зародкові гідроциклони** використовуються для ефективного розділення легкого кукурудзяного зародка з питомою вагою близько 1,03 та важкої крохмальної кашки з питомою вагою близько 1,15. Рекомендована модель: ГЦ-300/15, спеціально розроблена серія для роботи із зародками (рис.2).



Опис: Корпус гідроциклонів виготовляється переважно з нержавіючої сталі марок AISI 304 або AISI 316, що гарантує довговічність і стійкість до корозії. Конусна форма має оптимізовану геометрію, яка забезпечує утворення м'якого вихору. Це дозволяє зберігати цілісність кукурудзяного зародка, що є критично важливим для його якісної переробки, зокрема для **Рис. 2** Гідроциклон подальшого отримання олії. Технічні параметри: - Робочий тиск: 0,4–0,5 МПа. - Кількість одиниць: 2 (для першого і другого ступенів сепарації).

3. Мультициклонна установка промивання - це ключовий елемент у лінії очищення, який забезпечує високоефективне відокремлення домішок. Замість одного великого апарата використовуються батареї з багатьма дрібними циклонами, що підвищує продуктивність і точність процесу. Рекомендована модель: мультициклонний блок з діаметром циклонів 10 мм.

Установка складається з дев’яти взаємопов’язаних ступенів, кожен з яких являє собою герметичну камеру. Всередині розташовані блоки пластикових циклонів із діаметром 10 мм. Такий малий діаметр дозволяє створювати потужні відцентрові сили, завдяки яким стає можливим ефективне відокремлення найдрібніших частинок білка від крохмального зерна [15].

- **Технічні параметри:** - Кількість ступенів: 9.

- Матеріал виготовлення циклонів: харчовий поліпропілен або нейлон.

- Витрата води для промивання: від 2,5 до 3,0 м³ на одну тонну продукції.

Дискова дробарка. Для виробництва кукурудзяного крохмалю продуктивністю **1 т/год** зазвичай використовують дискові дробарки (млини), які забезпечують делікатне розкриття зерна без пошкодження зародка. Однією з найбільш розповсюджених марок для таких завдань є дисковий млин типу А1-ДМ2Р (табл. 5).

Таблиця 5

Технічна характеристика дискової дробарки

Параметр	Одиниця виміру	Значення
Марка обладнання	-	А1-ДМ2Р (або аналог серії ДМ)

Тип робочого органу	-	Дисковий (змінні рифлені диски)
Продуктивність (по кукурудзі)	т/год	2,0 – 2,5
Діаметр робочих дисків	мм	600
Частота обертання вала	об/хв	1500
Встановлена потужність двигуна	кВт	30 – 37
Діапазон регулювання прозору	мм	1,0 – 5,0
Кількість робочих дисків	шт	2 (рухомий та нерухомий)
Габаритні розміри (Д×Ш×В)	мм	1450 × 900 × 1250
Маса апарата	кг	850

Сепаратор. Сепараційні центрифуги використовуються для розділення речовин під впливом відцентрової сили, яка дозволяє відокремлювати продукти залежно від їхньої щільності (масової ваги). У виробництві кукурудзяного крохмалю з продуктивністю 1 т/год ключову роль виконує тарілчастий сепаратор із сопловим механізмом вивантаження осаду. Основне призначення цього апарата — забезпечення безперервного розділення крохмальної суспензії на концентроване крохмальне молоко та рідку фазу, що містить глютен (білок). Найбільш оптимальним вибором для таких обсягів є сепаратор типу А1-Всп (табл. 6).

Таблиця 6

Технічна характеристика сепаратора

Параметр	Одиниця виміру	Значення
Марка обладнання	-	А1-Всп (сопловий крохмальний)
Тип сепаратора	-	Тарілчастий, напівзакритого типу
Продуктивність по входу (суспензія)	м³/год	10 – 15
Частота обертання барабана	об/хв	4500 – 5000
Встановлена потужність двигуна	кВт	22 – 30
Кількість сопел у барабані	шт	12 – 16
Діаметр сопел	мм	1,2 – 2,0
Максимальний тиск подачі	МПа	0,25
Габаритні розміри (Д×Ш×В)	мм	1650 × 1100 × 1750
Маса (в зборі)	кг	~1800

Розрахунок технологічного обладнання.

Розраховуємо кількість чанів для замочування зерна, враховуючи всі технологічні операції.

Визначення тривалості технологічного циклу:

- Тривалість замочування: 48–50 годин.

- Час, необхідний для допоміжних операцій (завантаження, вивантаження, промивання): 4 години.

- Загальна тривалість одного циклу для одного чана: 54 години.

Розрахунок обсягу зерна, яке одночасно перебуває в роботі:

Необхідно визначити загальну масу кукурудзи, що перебуває на етапі замочування, аби гарантувати безперервний процес роботи лінії.

$$M = G \times T = 1{,}62 \text{ т/год} \times 54 \text{ \ год} = 87{,}5 \text{ т}$$

Визначення геометричного об'єму чанів.

Враховуємо насипну щільність кукурудзи 0,75 т/м^3 та коефіцієнт заповнення чана зерном 0,75 %, оскільки частину об'єму займає розчин кислоти):

$$V_{заг} = M/p \times k = 87{,}5 / 0{,}75 \times 0{,}75 = 155 \text{ м}^3$$

Розрахунок кількості чанів:

Зазвичай використовуються чани стандартного об'єму. Для нашої схеми найбільш доцільно застосувати батарею з шести чанів, яка функціонує за протитечійним принципом. $V_{чана} = 26$ м^3 .

$$n = 155 \text{ м}^3 / 26 \text{ м}^3 = 6 \text{ шт.}$$

Розрахунок дугових сит для мезги. Ці сита використовуються для вимивання крохмалю з мезги. Розрахунок ведеться за питомим навантаженням на одиницю ширини сита.

Формула робочої ширини сита (B):

$$B = Q / q \times n, \text{ де}$$

- Q - об’ємний потік суспензії (для 1,62 т зерна це приблизно 25 м³/год).
- q - питома продуктивність на 1 м ширини (приймаємо 30 м³/(м·год) для крохмальної кашки).
- n - кількість паралельних ліній сит (зазвичай 1).

$$B = 25 / 30 \times 1 = 0{,}83 \text{ м}$$

Необхідно встановити сита з робочою шириною 800 мм 3 шт.

Розрахунок шнекового преса для мезги. Розрахунок базується на масі вологої мезги.

Формула годинної продуктивності (Р):

$$P = G_z \times K_m \times 100 - W_1 / 100 - W_2 \text{ , де}$$

- G_z - кількість вхідного зерна (1620 кг/год).
- K_m - коефіцієнт виходу сирої мезги (~0,2 від маси зерна).
- W_1 - початкова вологість мезги (~85-90%).
- W_2 - кінцева вологість після преса (~60%).

$$P_c = 1620 \times 0{,}2 = 324 \text{ кг/год}$$

$$P_в = 324 \times 100 / 100 – 60 = 810 \text{ кг/год (1 шт)}$$

Розрахунок центрифужного сепаратора.

Сепаратор розділяє крохмальне молоко на крохмаль та глютен.

$$V = G_{kr} / C \times п, \text{ де}$$

- G_{kr} - цільова кількість сухого крохмалю 1000 кг/год.
- С - концентрація крохмалю в суспензії ~100-120 кг/м³.
- п - коефіцієнт розділення сепаратора (приймаємо 0,95).

$$V = 1000 / 110 \times 0{,}95 = 9{,}5 \text{ м}^3\text{/год (1 шт)}$$

Все інше обладнання підбираємо та розраховуємо згідно каталогу для виробництва і заносимо розрахунок кількості в зведену таблицю 7.

Апаратурно-технологічна схема виробництва кукурудзяного крохмалю.

Апаратурно-технологічна схема виробництва кукурудзяного крохмалю є безперервним комплексом взаємопов'язаних процесів, призначених для детального розділення компонентів кукурудзяного зерна з метою отримання високоякісного кінцевого продукту (рис. 3).

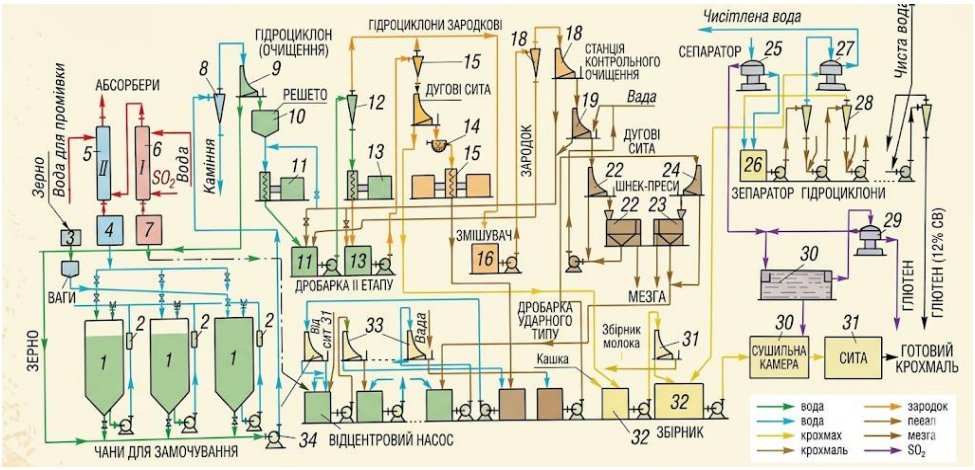

Рис. 3 Апаратурно-технологічна схема виробництва кукурудзяного крохмалю

1 – чани для замочування зерна; 2 – підігрівач; 3 – автоматичні ваги; 4, 7 – збірник; 5, 6 – абсорбер; 8 – гідроциклон; 9 – решето; 10 – бункер; 11, 13 – дробарка дискові, 12,14 – гідроциклон, 15 – дугові сита, 16 – змішувач, 17 – дробарка ударного типу, 18 – станція контрольного очищення зародків, 19, 20, 21 – дугові сита, 22 – шнек-прес, 25 – сепаратор, 26 – збірник, 28 – гідроциклони, 29 – відцентрований сепаратор, 30 (33) –сушильна камера, 31 – сита, 32 – збірник, 34 - — відцентровий насос.

Технологічний процес розпочинається з ретельної підготовки кукурудзи. Сировину очищують від сторонніх домішок, використовуючи систему сит з отворами діаметром 2,5 мм *(9),* а потім відправляють на наступні етапи переробки. Очищене та промите зерно проходить через автоматичні ваги *(3)* для точного обліку, після чого надходить до батареї чанів для замочування *(1).*

Процес замочування оптимізується за допомогою підігрівача *(2),* який працює за протитечійним принципом, що дозволяє ефективно використовувати теплову енергію. Як екстрагент застосовують розчин сірчистої кислоти, підготовлений в абсорбері *(5)* і поданий до чана через збірник-колектор *(4).* У чані зерно розм’якшується, а білково-крохмальні зв’язки руйнуються.

На завершення цього етапу отриманий рідкий екстракт разом із порцією свіжого зерна перекачується магістральним насосом *(34)* для наступного розділення на фракції.

Процес підготовки зерна передбачає використання водного розчину сірчистого газу, який готується у спеціальних абсорберах *(5, 6).* До моменту подачі в чани для замочування *(1)* концентрація активної речовини в розчині підтримується на рівні 0,15–0,2%. Після завершення процесу екстракції зерно ретельно промивають гарячою водою температурою 40–50°С. Ця вода згодом

використовується повторно для приготування нових порцій сірчистої кислоти, що забезпечує замкнутий цикл водокористування [9, 19].

Замочене та промите кукурудзяне зерно за допомогою гідротранспорту та магістрального насоса *(34)* подається на гідроциклон-каменевідділювач *(8)*, який усуває мінеральні домішки. Перед надходженням у дробильний апарат першого етапу *(11)* вода, що використовується для транспортування зерна, відокремлюється на дуговому ситі *(9)*. Чисте зерно після цього акумулюється у бункері *(10)*.

На стадії подрібнення відбувається вилучення зародків зерна. У гідроциклоні *(12)* за рахунок відцентрових сил легкі зародки відділяються від важкої кашки і разом із крохмальною суспензією направляються на станцію промивання *(18)*. Рештки матеріалу, які містять частки не відокремлених зародків і ендосперму, надходять у дробарку другого етапу *(13)*, де здійснюється максимально ефективне вивільнення цінних компонентів із зерна.

Друга стадія подрібнення і виділення зародка здійснюється за допомогою дробарки другого етапу *(13)*, яка забезпечує тонший помел кашки для ефективного руйнування зв'язків між компонентами зерна. Після повторного подрібнення матеріал надходить до гідроциклона другого відділення *(14)*. Грамотна організація технологічного процесу на цих двох етапах дозволяє досягти вивільнення до 90% кукурудзяного зародка у вільній формі.

Суспензія з виділеними зародками (ембріонами) направляється на дугове сито *(19)*, де вони відокремлюються, а також промиваються у каскаді сит *(20, 21)*. Для промивання використовується очищена глютенова вода, здатна ефективно вимивати залишковий крохмаль із поверхні зародків. Після промивання зародки проходять зневоднення у шнековому пресі *(22)*, а потім спрямовуються на етап висушування.

Тонке подрібнення і первинне відділення крохмального молока здійснюється після того, як матеріал із другого гідроциклона *(14)* надходить на дугове сито *(15)* для виокремлення першої фракції крохмального молока. Залишкова кашка переміщується до змішувача *(16)*, а потім подрібнюється на ударній дробарці (млині) *(17)*. Отримане крохмальне молоко накопичується у

збірнику-колекторі *(32),* після чого проходить через контрольне сито *(31),* де залишки суспензії м'якоті повністю видаляються.

Очищену суспензію крохмалю спрямовують на головну центрифужну станцію *(25),* де здійснюється первинне розділення крохмальних зерен і білкових фракцій (глютену). На цьому етапі також видаляється надлишок рідкої фази, насиченої розчинними речовинами, що походять із зерна. Крохмальний концентрат, отриманий у процесі, збирається в проміжному резервуарі *(26)* і звідти подається до багатоступеневої системи гідроциклонів *(28).*

Білкова фракція разом із рідкою фазою, яка містить близько 1% зважених частинок, перенаправляється на станцію концентрування глютену. Там, за допомогою флотаційної камери *(30)* та відцентрового сепаратора *(29),* глютен виділяють і згущують до необхідного товарного стану. Освітлена вода, яка звільнилася після флотації, повертається до виробничого циклу для повторного використання [21].

Повністю очищений крохмаль, що пройшов через етапи обробки у сепараторах та гідроциклонах, досягає високого рівня чистоти. Далі його спрямовують для подальшої переробки, яка може включати сушіння, модифікацію або виробництво патоки та інших продуктів з вмістом крохмалю.

Таблиця 7

Загальна таблиця обладнання для виробництва кукурудзяного крохмалю

№ на схемі	Назва обладнання	Типова марка	Кількість	Функціональне призначення
1	Чани для замочування зерна	ВЗ-10	6 шт.	Замочування зерна у розчині сірчистої кислоти.
2	Підігрівач	ТО-5	1 шт.	Нагрівання води та робочих розчинів.
3	Автоматичні ваги	Д-100-3	1 шт.	Облік вхідної сировини (зерна кукурудзи).
4, 7	Збірники екстракту	-	2 шт.	Накопичення екстракту після замочування зерна.
5, 6	Абсорбери	А-1000	1 компл.	Приготування сірчистої кислоти (SO_2).
8	Гідроциклон	ГЦ-300	1 шт.	Видалення важких

	(очищення)			домішок (каміння) із зерна.
9	Решето (сито)	-	1 шт.	Попереднє очищення зерна від сміття.
10	Бункер	-	1 шт.	Накопичення очищеного зерна перед подрібненням.
11, 13	Дробарки дискові	ДДМ-5	2 шт.	Грубе (I етап) та повторне (II етап) подрібнення зерна.
12, 14	Гідроциклони зародкові	ГЦ-300	2 шт.	Відокремлення кукурудзяного зародка від кашки.
15	Дугові сита (зародок)	СД-1	1 шт.	Відділення зародка від вільного крохмалю.
16	Змішувач	-	1 шт.	Гомогенізація кашки перед тонким подрібненням.
17	Дробарка ударного типу	ДУ-1	1 шт.	Тонке подрібнення для вивільнення крохмалю з клітин.
18	Станція очищення зародків	-	1 шт.	Контрольне промивання виділеного зародка.
19, 20, 21	Дугові сита (мезга)	СД-2	3 шт.	Каскадне вимивання крохмалю з мезги.
22	Шнек-прес	ПШ-1	1 шт.	Механічне зневоднення відокремленої мезги.
25	Сепаратор (головний)	ПС-3	1 шт.	Первинне розділення крохмалю та глютену.
26	Збірник молока	-	1 шт.	Накопичення крохмальної суспензії перед промивкою.
28	Гідроциклони (каскад)	ГЦ-10/100	1 компл.	Багатоступеневе (8-10 ст.) промивання крохмалю.
29	Сепаратор відцентровий	СДП-500	1 шт.	Згущення та концентрування глютену.
30	Сушильна камера	А1-ПСП	1 шт.	Пневматичне сушіння крохмалю до вологості 13%.
31	Сита (сито-бурат)	А1-БЛС	1 шт.	Контрольне просіювання готового сухого продукту.
32	Збірник готового молока	-	1 шт.	Накопичення та очищення.

1.5 Технологія виробництва кукурудзяного крохмалю

На рисунку 4 зображена циклічна модель технологічного процесу виробництва кукурудзяного крохмалю, що ґрунтується на принципах ефективного використання ресурсів. Ця замкнена схема включає такі основні етапи: **очищення зерна від домішок, замочування, подрібнення, вилучення зародка, подрібнення кашки, фільтрування і промивання мезги, вилучення глютену, промивання крохмалю, сушіння крохмалю та пакування.**

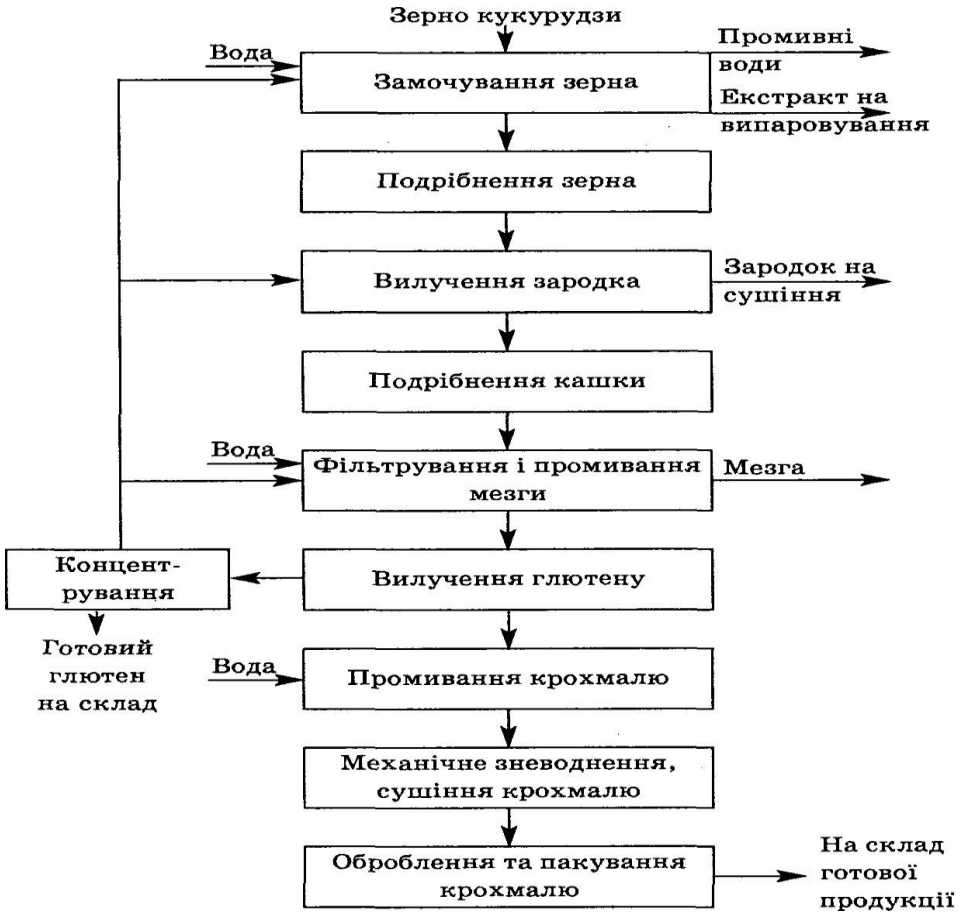

Рис. 4 Технологічна схема виробництва кукурудзяного крохмалю

Замочування зерна – важливий етап технологічної обробки, що здійснюється після видалення сторонніх домішок. Основна мета замочування полягає в розм'якшенні зернових оболонок, що сприяє простішому відокремленню крохмалю, лушпиння та бактерій. Протягом цього процесу значна частина розчинних компонентів кукурудзи, таких як цукри, декстрини,

амінокислоти, білки і мінеральні речовини, видаляються, зменшуючи перешкоди для вилучення крохмалю. Також замочування знижує механічну міцність зерна та сприяє екстракції розчинених елементів. Процедура проводиться у спеціальних ємностях об'ємом від 50 до 130 м³ із використанням сірковмісної води. Ця вода отримується шляхом насичення її сірчаним ангідридом, що утворюється під час спалювання сірки в печах спеціального призначення. Ємності для замочування можуть мати циліндричну або конічну форму та виготовляються із таких матеріалів, як дерево, сталь, алюміній або залізобетон [20, 21].

Процес підготовки сировини базується на багатостадійному протитечійному методі екстракції, який дозволяє максимально ефективно вилучати розчинні речовини. Технологія працює за наступним принципом: Свіжоприготовлений розчин сірчистої кислоти вводять у завершальну місткість дифузійної батареї, де розташоване зерно після завершення майже повного циклу обробки. Завдяки системі рециркуляції рідина безперервно прокачується через шар кукурудзяного зерна - забирається знизу та повертається для обробки наступного етапу.

Таким чином, розчин завжди рухається протилежно потоку свіжої сировини: що свіжіша кукурудза, то вищою є концентрація сухих речовин у розчині, який з нею взаємодіє. Такий підхід забезпечує поступове насичення екстрагенту до 7–9% сухих речовин. Завершальний етап відбувається в основному резервуарі, коли щойно завантажують нову партію кукурудзи. Після цього насичений екстракт виводять із системи для подальшої переробки, а повністю промите зерно вивантажують із кінцевого блоку дифузійної батареї.

Для забезпечення оптимальних умов екстракції в резервуарах підтримується стабільна температура в межах 48–50 °C, що досягається шляхом періодичного нагрівання робочого розчину в теплообмінниках. Тривалість цього етапу становить приблизно 48–50 годин [19, 22].

Під час замочування відбуваються значні фізико-хімічні зміни в структурі кукурудзяного зерна. Під впливом сірчистої кислоти зерна

інтенсивно набухають, розм'якшуються, а їхня білкова матриця денатурується, що є ключовим для ефективного вивільнення крохмалю. У результаті цієї обробки у воду переходить від 7 до 10% сухих речовин зерна, серед яких:

- приблизно 70% мінеральних солей;
- 40% розчинних вуглеводів;
- 13% розчинних білкових фракцій.

Після завершення процесу підготовлена сировина за допомогою гідравлічного транспорту спрямовується на наступний етап — подрібнення та виділення зародків.

Подрібнення і відокремлення зародка. Перед початком помелу зерно збирається у проміжному бункері, звідки рівномірно подається до подрібнювальних машин. Для видалення надлишкової поверхневої вологи перед подрібненням застосовують дугові сита, що забезпечує необхідну консистенцію кашки. Основною метою цього етапу є максимально точне відокремлення зародка від ендосперму без його механічного пошкодження. Значною особливістю процесу є те, що під час первинного грубого подрібнення близько 25% вільного крохмалю вивільняється і переходить у суспензію. Попереднє замочування сприяє ослабленню зв’язку між ембріоном та основною частиною зерна, надаючи зародкам підвищену еластичність. Це дозволяє уникнути їхнього кришення та забезпечує можливість ефективного вилучення цілих зародків у сепараторах або гідроциклонах завдяки різниці у питомій вазі між різними фракціями [20].

Подрібнення кашки. Після завершення етапів грубого подрібнення та вилучення зародка отримана маса, або кашка, складається зі суміші крохмальних зерен, частинок клітковини (мезги) та білкових компонентів (глютену). Проте значна кількість крохмалю залишається зв’язаною всередині великих шматків ендосперму. Щоб максимально вивільнити ці «заблоковані» фракції, проводиться тонке подрібнення кашки. Процес здійснюється за допомогою спеціалізованого обладнання, такого як жорнові млини або сучасні дезінтегратори, що працюють за принципом інтенсивного розтирання. Це забезпечує повне руйнування клітинних структур ендосперму без

пошкодження самих крохмальних гранул, що є вирішальним для досягнення високого виходу якісного крохмалю та ефективного виділення побічних продуктів на наступних етапах сепарації.

Фільтрування і промивання мезги. Продукт, отриманий після процесу тонкого помелу, являє собою складну багатокомпонентну систему, в яку входять вільні зерна крохмалю, білкові фракції (глютен) і залишки клітковини (мезга). Для поділу цієї суміші застосовують комбіновані методи, що базуються на механічних і фізичних властивостях частинок:

- **Фільтрація та просіювання.** Суспензія проходить через систему сит із різними розмірами отворів. Це дозволяє сортувати масу за розміром частинок, ефективно відокремлюючи вільний крохмаль від грубої та дрібної мезги.
- **Центрифугування та сепарація.** Для видалення легких домішок і глютену застосовується принцип поділу за щільністю компонентів. Завдяки суттєвій різниці в щільності між крохмалем (1610 кг/м³), мезгою (1300 кг/м³) та білками, сепаратори легко виділяють чисту крохмальну фазу.
- **Багатоступеневе очищення.** Для досягнення максимальної чистоти та високої ступеня дисперсності суспензію обробляють у кілька етапів за допомогою каскаду сепараторів. Завершальне рафінування крохмального молока здійснюють у гідроциклонах чи на вакуум-фільтрах, де видаляються найдрібніші домішки.

В результаті такого технологічного процесу отримують чистий крохмаль, вихід якого становить 60–66,6% від загальної сухої маси вихідної сировини [19, 22].

Сушіння крохмалю. Сушіння крохмалю є завершальним, але надзвичайно важливим етапом, який гарантує стабільність фізико-хімічних характеристик продукту та забезпечує його безпечне і тривале зберігання. Цей складний тепломасообмінний процес проходить у кілька ключових стадій:

- **Початкове зневоднення:** На цьому етапі відбувається видалення вільної (поверхневої) вологи, яка найменш міцно утримується частинками крохмалю.

- **Дифузійна сушка:** Далі відбувається переміщення вологи з внутрішніх шарів крохмальних гранул до їх поверхні.
- **Видалення пари:** На фінальній стадії волога, яка дісталася поверхні, поглинається потоком нагрітого повітря, що виступає як десикант. Він одночасно забезпечує передачу тепла та відведення водяної пари за межі сушарки.

Такий підхід дозволяє отримати сипкий продукт із регламентованою вологістю (переважно 13% для кукурудзяного крохмалю), при цьому зберігаючи цілісність гранул і їхні природні властивості.

Оброблення та пакування крохмалю. Фінальний етап виробничого процесу включає завершальну обробку та фасування, які забезпечують привабливий зовнішній вигляд і чистоту готового продукту. Усі операції організовані таким чином:

Контрольне очищення: Після висушування крохмаль потрапляє в диспергатор, де проходить ретельне просіювання. Цей етап не лише усуває злежані грудки, а й остаточно відсіює сторонні домішки, такі як залишки дрібної мезги чи мінеральні частинки (наприклад, пісок).

Організація робочого середовища: Зважування, просіювання та пакування виконуються в окремому ізольованому приміщенні. Це дозволяє уникнути запиленості та гарантує дотримання високих санітарно-гігієнічних стандартів.

Пакування: Очищений крохмаль після просіювання передається на пакувальну лінію. Зазвичай продукт фасується в нові джутові мішки вагою 50 або 60 кг. Також часто використовуються багатошарові паперові крафт-мішки, які для додаткового захисту під час транспортування поміщаються в зовнішню тканину або джутову тару.

Такий підхід дозволяє зберігати стабільний рівень вологості й сипучість крохмалю, а також ефективно захищати його від зовнішніх впливів у процесі транспортування.

РОЗДІЛ 2. КОНТРОЛЬ БЕЗПЕЧНОСТІ ТА ЯКОСТІ ВИРОБНИЦТВА КУКУРУДЗЯНОГО КРОХМАЛЮ

Контроль якості та параметрів технологічного процесу є невід'ємною частиною виробництва якісної продукції. На підприємстві дотримуються вимог стандарту ДСТУ 3976-2000 «Крохмаль кукурудзяний сухий. Технічні умови» [3], який визначає чіткі фізико-хімічні та органолептичні характеристики, необхідні для відповідності продукту як внутрішнім, так і міжнародним стандартам.

З метою забезпечення стабільного рівня продуктивності та мінімізації технологічних втрат на кожному етапі переробки кукурудзи надзвичайно важливо підтримувати задані параметри.

Згідно з принципами системи HACCP для лінії виробництва кукурудзяного крохмалю (продуктивністю 1 т/год) критичні контрольні точки (ККТ) зосереджені на безпечності продукту та захисті обладнання [16] (табл. 8).

Таблиця 8

Реєстр критичних контрольних точок (ККТ)

Номер ККТ	Етап процесу	Опис небезпечного фактора	Критичні межі (параметри)	Моніторинг та заходи корекції
ККТ-1	Очищення зерна	Потрапляння металевих та мінеральних домішок	Повна відсутність металу; тиск у ГЦ 0,2 МПа	Перевірка магнітів кожну зміну; зупинка подачі при падінні тиску в ГЦ-8.
ККТ-2	Замочування	Мікробіологічне псування, клейстеризація крохмалю	T = 48-50 °C; SO_2 = 0,15-0,2 %	Автоматичний контроль температури. При T > 52°C - негайне охолодження водою.
ККТ-3	Промивання крохмалю	Залишковий білок (ризик розвитку патогенів при зберіганні)	Тиск на промиванні 0,55 МПа; розчинний білок 0,35%.	Контроль тиску кожну годину. При падінні тиску - повернення суспензії на рециркуляцію.

ККТ-4	Сушіння крохмалю	Розвиток плісняви через високу вологість	Вологість продукту 1 - 3,0 %	Безперервний вимір вологості. Якщо W > 13 %, продукт направляється на повторне сушіння.
ККТ-5	Контрольне просіювання	Потрапляння залишків мезги або частинок обладнання	Відсутність сходу на ситі №43 (діаметр чарунок)	Візуальний огляд цілісності сит кожну зміну. Заміна сітки при пошкодженні.

Згідно з ДСТУ 3976-2000 «Крохмаль кукурудзяний сухий. Технічні умови»[3], показники якості крохмалю поділяються на органолептичні та фізико-хімічні. Залежно від чистоти та ступеня очищення, крохмаль поділяють на два сорти: вищий та перший (табл.9).

Таблиця 9

Органолептичні показники кукурудзяного крохмалю

Назва показника	Характеристика для вищого та першого сортів
Зовнішній вигляд	Однорідний порошок
Колір	Білий з жовтуватим відтінком, характерним для кукурудзяного крохмалю
Запах	Властивий крохмалю, без сторонніх запахів (не допускається затхлий, кислий тощо)

Фізико-хімічні показники представлені в таблиці 10.

Таблиця 10

Назва показника	Норма для вищого сорту	Норма для першого сорту
Вологість, %	≤ 13,0	≤ 13,0
Кислотність, см³ (0,1 моль/дм³ NaOH на 100 г)	≤ 20,0	≤ 25,0
Масова частка загальної золи, % (на суху речовину)	≤ 0,20	≤ 0,30
Вміст діоксиду сірки (SO_2), %	≤ 0,005	≤ 0,008
Кількість крапин (чорних цяток) на 1 дм²	≤ 300	≤ 500
Масова частка протеїну (білка), % (на суху речовину)	≤ 0,80	≤ 1,00
Наявність металомагнітних домішок (на 1 кг)	≤ 0,003 г	≤ 0,003 г

РОЗДІЛ 3. ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

Процес сушіння є заключним етапом, який гарантує стабільність крохмалю під час зберігання завдяки зниженню вологості до нормативного рівня у 13%. Водночас цей етап розглядається як зона підвищеного ризику з точки зору екологічних аспектів та охорони праці через вплив термічних і механічних факторів. Аналіз шкідливих і небезпечних факторів:

1. Аерозольне забруднення. У процесі пневматичного сушіння формується дрібнодисперсний крохмальний пил. Попадання цього пилу у робочу зону може викликати подразнення слизових оболонок дихальних шляхів і очей. За тривалого впливу він здатен провокувати хронічні алергічні реакції. До того ж, при певних концентраціях крохмальний пил становить вибухонебезпеку, що посилює ризики у виробничій зоні [6, 8].

2. Теплове навантаження. Використання високих температур (до 160°C на вході сушарки) спричиняє формування несприятливого мікроклімату. Для персоналу це може створити ризик теплового удару, а також порушення водно-сольового балансу організму.

3. Пожежо- та вибухонебезпека. Дрібнодисперсний пил від крохмалю в поєднанні з високими температурами сушильного агента формує середовище з підвищеним ризиком займання. Скупчення пилу в повітрі робочої зони та всередині аспіраційних каналів здатне спричинити утворення вибухонебезпечної суміші [7, 12].

4. Мікробіологічні ризики та гігієна. Під час етапу сушіння існує ризик повторного мікробіологічного забруднення продукту. Неналежне дезінфекційне оброблення обладнання або порушення герметичності системи можуть сприяти розмноженню патогенних мікроорганізмів, що негативно впливає на якість крохмалю та становить небезпеку для споживачів.

5. Акустичне навантаження. Діяльність потужних вентиляторів сушильної установки, дробарок і сепараторів супроводжується генеруванням значного рівня шуму, що перевищує встановлені санітарні норми. Тривале

перебування у такому середовищі може спричинити розвиток професійних захворювань органів слуху та сприяти підвищенню втомлюваності персоналу.

Для підвищення рівня екологічності виробництва кукурудзяного крохмалю необхідно реалізувати комплексний підхід, який враховує принципи чистого виробництва та замкненого циклу. Наведено ключові напрями екологічного менеджменту, а також відповідні рекомендації для їх впровадження [14, 17].

1. Раціональне водокористування та замкнений цикл. Враховуючи високу водомісткість виробничих процесів, переходьте від прямоточних систем до оборотного водопостачання: **Рециркуляція стічних вод** (Рекомендуємо використовувати промивну воду після гідроциклонів на попередніх етапах); **Очищення та повторне використання** (Встановіть локальні очисні споруди, такі як мембранна фільтрація чи зворотний осмос, для переробки стічних вод у технічну воду); **Збір конденсату** (Пар із сушарки можна перенаправляти на підігрів води у теплообмінниках).

2. Енергоефективність та рекуперація ресурсів. Пропонуємо зменшити вуглецевий слід шляхом оптимізації теплової та електричної енергії: **Рекуперація тепла** (Використовуйте тепло відпрацьованого повітря з пневматичної сушарки для нагріву вхідного потоку повітря); **Частотне регулювання (**Встановіть інвертори на насоси та дробарки, що допоможе економити електроенергію за змінних навантажень); **Термоізоляція (**Проведіть ретельну термоізоляцію обладнання, щоб мінімізувати теплові втрати) [12, 22].

3. Безвідходне виробництво та утилізація побічних продуктів. Забезпечте використання всіх відходів як ресурсу для інших галузей: **Переробка екстрактів.** (Випарений екстракт додавайте до мезги для виробництва кормів); **Контроль пилу (**Встановіть циклони і рукавні фільтри з ефективністю понад 99%, що б зменшити запиленість і повернути крохмальний пил у виробничий цикл); **Виробництво біогазу (**Органічні залишки із стічних вод спрямовуйте до метантенків для отримання біогазу, що частково покриє енергетичні потреби заводу).

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Економічна ефективність виробництва кукурудзяного крохмалю визначається рівнем витрат на сировину, енергоносії, оплату праці, амортизацію обладнання та іншими виробничими витратами. Розрахунки проведені для виробництва 1000 кг готового кукурудзяного крохмалю з вологістю 13 %.

При переробці 1613 кг кукурудзи отримують 1000 кг кукурудзяного крохмалю. Супутні продукти можуть бути реалізовані як кормова або технічна сировина, що підвищує економічну ефективність виробництва.

Основною сировиною є зерно кукурудзи. Формула розрахунку витрат на сировину:

$$Вс = М \times Ц, \text{ де:}$$

Вс – витрати на сировину, грн;

М – маса сировини, кг;

Ц – ціна 1 кг сировини, грн.

Приймаємо середню ринкову ціну кукурудзи станом на травень 2026 року – 11,5 грн/кг.

$$Вс = 1613 \times 11,5 = 18\,549,5 \text{ грн}$$

До витрат на енергоносіїв належать електроенергія, вода та теплова енергія, в підсумку 6758 грн.

Розрахунок витрат на оплату праці для виробництва 1 т крохмалю здійснюється відповідно фонду оплати праці за формулою:

$$ФОП = З_{осн} + З_{дод}$$

де: $З_{осн}$ – основна заробітна плата;

$З_{дод}$ – додаткова заробітна плата.

Основна заробітна плата персоналу становить 7200 грн, додаткова – 15 %.

$$З_{дод} = 7200 \times 0,15 = 1080 \text{ грн}$$

$$ФОП = 7200 + 1080 = 8280 \text{ грн}$$

Єдиний соціальний внесок:

$$ЄСВ = ФОП \times 0,22$$

$$ЄСВ = 8280 \times 0,22 = 1821,6 \text{ грн}$$

Загальні витрати на заробітню плату склали 10 101,6 грн.

Амортизаційні відрахування визначають за формулою:

$$А = \frac{В_{об} \times Н_а}{100}$$

де: Воб – балансова вартість обладнання;

На – річна норма амортизації, %.

При вартості обладнання 1 200 000 грн та нормі амортизації 12 %:

$$Арічна = 1\,200\,000 \times 12 / 100 = 144\,000 \text{ грн}$$

При річному виробництві 240 т крохмалю:

$$А_1т = 144\,000/240 = 600 \text{ грн}$$

Для 1000 кг продукції: А = 600 грн

Загальна собівартість виробництва виробничої собівартості розраховується за формулою:

$$С = Вс + Ве + Воп + А + Ін$$

де:

Вс – витрати на сировину;

Ве – витрати на енергоносії; Воп – витрати на оплату праці; А – амортизація;

Ін – інші витрати.

Інші витрати приймаємо на рівні 8 % від суми прямих витрат.

$$Ін = (18\,549,5 + 6758 + 10\,101,6 + 600) \times 0,08 = 2\,480,7 \text{ грн}$$

Повна собівартість на 1000 кг крохмалю становить 38 489,8 грн.

Розрахунок прибутку та рентабельності при реалізаційній ціні 52 грн/кг становить:

$$Д = 1000 \times 52 = 52\,000 \text{ грн}$$

Прибуток:

$$П = Д - С$$

$$П = 52\,000 - 38\,489,8 = 13\,510,2 \text{ грн}$$

Рівень рентабельності:

$$R = \frac{П}{— С} \times 100$$

$$R = 13\ 510,\ 2\ /\ 38\ 489,\ 8 \times 100 = 35,\ 1\%$$

Економічні показники наведені в таблиці 11.

Таблиця 11

Економічна ефективність виробництва

Показник	Значення
Сировина, грн	18 549,5
Енергоносії, грн	6758
Оплата праці з ЄСВ, грн	10 101,6
Амортизація, грн	600
Інші витрати, грн	2480,7
Повна собівартість 1000 кг крохмалю, грн	38 489,8
Виручка від реалізації, грн	52 000
Прибуток, грн	13 510,2
Рентабельність, %	35,1

Економічні розрахунки підтвердили доцільність виробництва кукурудзяного крохмалю. Собівартість виготовлення 1000 кг продукції складає 38 489,8 грн, при цьому рівень рентабельності досягає 35,1 %, а прибуток 13 510,2 грн.

Використання супутніх продуктів переробки кукурудзи сприяє підвищенню ефективності виробництва та зменшенню питомих витрат на одиницю готової продукції.

ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи було здійснено комплексне проектування лінії для виробництва кукурудзяного крохмалю з потужністю 1 тонна на годину. На основі проведених досліджень і виконаних розрахунків можна сформулювати такі висновки:

1. Детальний аналіз організації виробництва кукурудзяного крохмалю згідно з технологічною схемою створив необхідну теоретичну та розрахункову основу для подальшого обґрунтування параметрів вихідної сировини, вибору обладнання для виробничої лінії.

2. Розраховано, що для отримання 1000 кг сухого крохмалю (вологістю 13%) необхідно переробити 1613 кг кукурудзи. Встановлено вихід супутніх продуктів: зародка - 103,8 кг, мезги - 223,6 кг, глютену - 87,8 кг та екстракту - 111,8 кг. Це свідчить про безвідходність запропонованої технології.

3. У роботі проведено детальний розрахунок і вибір обладнання, необхідного для виробництва 1000 кг кукурудзяного крохмалю. Також наведено покроковий опис процесу приготування відповідно до розробленої апаратурно-технологічної схеми.

4. Готова продукція підтверджує відповідність вимогам ДСТУ 3976-2000. Було визначено п'ять критичних контрольних точок (ККТ), серед яких найбільш важливими є етапи замочування, що передбачає контроль температури, та сушіння, де контролюється вологість на рівні 13%.

5. Запропоновані заходи для зменшення техногенного впливу включають впровадження замкнутого циклу водокористування, встановлення теплових рекуператорів і двоетапної системи очищення повітря від крохмального пилу. Це сприяє значному зниженню екологічного навантаження на навколишнє середовище.

6. Згідно з результатами загальних економічних розрахунків рівень рентабельності становить 35,1 %. При цьому чистий прибуток від реалізації кожної тонни готового кукурудзяного крохмалю складає 13 510,2 грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бухкало С. І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (приклади та тести з технології крохмалю). К.: Центр навчальної літератури, 2019. 108 с.
2. Дейнеко Л.В, Шелудько Е.І., Завгородня М.Ю. Регіональні аспекти сучасного розвитку харчової промисловості України. Продовольчі ресурси, (2025). 13(24). 229 с.
3. ДСТУ 3976-2000 «Крохмаль кукурудзяний сухий. Технічні умови». 19 с.
4. ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості». 32 с.
5. ДСТУ-4525:2006 «Кукурудза. Технічні умови». 22 с.
6. Екологізація харчових виробництв: інноваційні рішення та сталий розвиток. / Під ред. О. В. Шайко. Київ: Видавничий дім «Освіта України», 2024. 312 с.
7. Екологічна безпека та економіка: монографія / М. І. Сокур та ін. / Кременчук, 2020. 240 с.
8. Екологічний менеджмент та аудит на підприємствах харчової промисловості. / Посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2021. 210 с.
9. Загальні технології харчової промисловості. / Ф.В. Перцевой та ін./ навч. посіб. у 2 ч. Ч. 2. Харків: СНАУ, 2021. 203 с.
10. Інноваційні технології переробки зернової сировини: монографія. / за ред. д-ра техн. наук, проф. С. О. Олійника. Полтава: ПДАУ, 2023. 290 с.
11. Інноваційні технології харчових виробництв / І.М. Берник та ін./ монографія. Вінниця: Видавець ФОП Кушнір Ю. В., 2022. 300 с.
12. Комплексна переробка рослинної сировини: біотехнологічні та екологічні засади. / Журнал «Харчова промисловість». 2024. № 35. С. 45–52.
13. Міненко С.І., Миколенко І.Г. Організаційні засади формування стратегій підвищення конкурентоспроможності аграрних підприємств.

Український журнал прикладної економіки та техніки. 2022. Том 7. № 2. С. 38–45.

14. Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання та водовідведення в Україні у 2022 році. Київ, 2023. 381 с.

15. Обладнання харчових виробництв: довідник. / Ковальчук Ю.П., Блаженко С.І./ Львів: Новий Світ-2000, 2024. 415 с.

16. Паламарчук А.С., Кушніренко Н.М., Глушков О.А. Контроль якості, безпека та екологія в галузі. Навчальний посібник до лабораторних занять. Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2020. 92 с.

17. Перспективи використання кукурудзи для енергоефективного та екологобезпечного розвитку сільських територій / Г.М., Калетнік та ін. / монографія. Вінниця: ФОП Кушнір Ю. В. 2021. 260 с.

18. Семерак А., Ільчук Р. Напрямки застосування та аналіз виробництва крохмалю в Україні та світі. Агронаука і практика, 2025. 4(4). С. 25-33.

19. Технологія крохмале-патокового виробництва: навч. посібник. / [за ред. проф. Сичевського М. П.]. Київ: НУХТ, 2021. 340 с.

20. Технологія крохмале-патокового виробництва: підручник. / [Сичевський М. П., Ковбаса В. М. та ін.]. Київ: НУХТ, 2021. 360 с.

21. Харчові технології : навч. посібник у 2 ч. Ч. 2 / Ф. В. Перцевой та ін./ Х.: ХДУХТ, 2020. 208 с.

22. Хомич Г. П. Технології харчової продукції: екологічні аспекти та безпека. / Г. П. Хомич, Н. І. Ткаченко / Полтава: ПУЕТ, 2023. 285 с.

23. Хомічак Л., Кузнєцова І., Пазюк В., Касамвра А. Резистентний крохмаль у харчовій промисловості. Продовольчі Ресурси, 2022. 10(19). С. 151–161.

24. Циркулярна економіка в агрохарчовому секторі України: виклики та перспективи. / Монографія за ред. проф. М. П. Сичевського. Київ: Інститут продовольчих ресурсів НААН, 2022. 240 с.