

**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 технологічної лінії переробки
воловських горіхів**

Виконав: здобувач вищої освіти 4 курсу,
групи ХТ-1-22 освітньо-професійної програми
«Харчові технології» зі спеціальності
181 «Харчові технології»

_____ Дмитро ГОРБАЧ

Керівник: _____ Вікторія КАЛИНА

Дніпро 2026

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Освітньо-професійна програма: «Харчові технології»

Спеціальність: 181 «Харчові технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
харчових технологій,

кандидат технічних наук, доцент

Віталій КОШУЛЬКО

(підпис)

«01» травня 2026 р.

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

Горбачу Дмитру Валерійовичу

1. Тема роботи: «Удосконалення технологічної лінії переробки волоських горіхів».

Керівник роботи: Калина Вікторія Сергіївна, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом закладу вищої освіти від «01» травня 2026 року № 875.

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

3. Вихідні дані до роботи: 1. Технологія первинної переробки волоських горіхів.

2. Наукова, нормативна, навчальна, технологічна, технічна та патентна документація.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1 Загальна частина. 2 Технологічна частина. 3 Проектна частина. 4 Впровадження елементів системи НАССР. 5 Охорона праці захист навколишнього середовища. 6 Техніко-економічне обґрунтування. Загальні висновки. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1 Мета і завдання досліджень. 2 Технологічна частина. 3 Проектна частина. 4 Впровадження елементів системи НАССР. 5 Карта безпеки праці. 6 Техніко-економічне обґрунтування. Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-6	Доцент КАЛИНА Вікторія	01.05.26	08.06.26

7. Дата видачі завдання 01 травня 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	01.05-04.05.26	виконано
2	Загальна частина	05.05-07.05.26	виконано
3	Технологічна частина	08.05-14.05.26	виконано
4	Проектна частина	15.05-21.05.26	виконано
5	Впровадження елементів системи НАССР	22.05-31.05.26	виконано
6	Охорона праці захист навколишнього середовища	01.06-02.06.26	виконано
7	Техніко-економічне обґрунтування	02.06-03.06.26	виконано
8	Формулювання висновків по роботі та списку використаних джерел	04.06-05.06.26	виконано
9	Підготовка демонстраційного матеріалу	05.06-08.06.26	виконано

Здобувач вищої освіти

_____ Дмитро ГОРБАЧ
(підпис)

Керівник роботи

_____ Вікторія КАЛИНА
(підпис)

РЕФЕРАТ

Тема: «Удосконалення технологічної лінії переробки волоських горіхів»

Кваліфікаційна робота: 67 сторінок, 11 рисунків, 17 таблиць, 34 літературних джерела.

Об'єкт дослідження – технологічний процес переробки волоських горіхів у складі сучасної механізованої (автоматизованої) виробничої лінії.

Предмет дослідження – закономірності, технологічні та конструктивні параметри, а також режими роботи обладнання, що забезпечують ефективність операцій очищення, сушіння, сортування та підготовки волоських горіхів до реалізації.

Метою роботи є удосконалення технологічної лінії переробки волоських горіхів із метою підвищення її ефективності, зниження енерговитрат та покращення якості отримуваної продукції.

У роботі проведено комплексний аналіз сучасного стану виробництва та переробки волоських горіхів в Україні та світі, визначено основні тенденції розвитку галузі та перспективи її модернізації. Розглянуто харчову цінність, хімічний склад та фактори, що впливають на формування якості волоських горіхів. Узагальнено типові технологічні схеми підготовки та переробки сировини, а також проаналізовано сучасне технологічне обладнання, що використовується у виробничих лініях. У технологічній частині розроблено та описано структуру технологічної лінії переробки волоських горіхів, детально розглянуто основні операції виробничого процесу та обладнання. Запропоновано вдосконалену систему відбору проб і швидкого визначення вологості, що дозволяє підвищити оперативність контролю якості сировини. У проєктній частині виконано технологічні розрахунки, обґрунтовано параметри процесу переробки та проведено оптимізацію режимів сушіння волоських горіхів у виробничих умовах. Розроблено раціональне компонування обладнання в межах виробничої лінії.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВОЛОСЬКІ ГОРІХИ, ПЕРЕРОБКА, ТЕХНОЛОГІЧНА ЛІНІЯ, СУШІННЯ, ЯКІСТЬ ПРОДУКЦІЇ, ВІДБІР ПРОБ, ВОЛОГІСТЬ, ОБЛАДНАННЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ, ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	8
1.1 Стан та тенденції виробництва і переробки волоських горіхів в Україні та світі	8
1.2 Сучасний стан та перспективи розвитку переробки волоських горіхів в Україні	12
1.3 Харчова цінність, хімічний склад та фактори формування якості волоських горіхів	14
1.4 Типова технологія підготовки волоських горіхів	17
1.5 Технологічне обладнання для переробки волоських горіхів	22
Висновки за розділом	25
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	26
2.1 Загальна характеристика технологічної лінії переробки волоських горіхів	26
2.2 Опис окремих операцій і обладнання технологічної лінії	29
2.3 Впровадження нової системи відбору проб волоських горіхів і швидкого методу визначення вологості	32
Висновки за розділом	35
3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА.....	37
3.1 Вихідні дані для проєктування.....	37
3.2 Технологічний розрахунок переробки волоських горіхів.....	39
3.3 Оптимізація процесу сушіння волоських горіхів у виробничих умовах	41
3.4 Розміщення обладнання	45
Висновки за розділом	49
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	51
4.1 Охорона праці та питання безпеки	51
4.2 Захист навколишнього середовища	53
Висновки за розділом	54
5 ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ НАССР	55
5.1 Впровадження елементів системи НАССР при переробці горіхів	55
Висновки за розділом	57
6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	58
5.1 Розрахунок економічних показників лінії переробки волоських горіхів.....	58
Висновки за розділом	61
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	62
БІБЛІОГРАФІЯ.....	64

ВСТУП

Сучасний розвиток агропромислового комплексу України характеризується зростанням ролі переробних галузей, зокрема тих, що пов'язані з виробництвом харчових продуктів із високою доданою вартістю. Одним із перспективних напрямів є переробка волоських горіхів, які мають значний попит як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках. Волоський горіх є цінною сировиною завдяки високому вмісту білків, жирів, вітамінів та мінеральних речовин, що обумовлює його широке використання у харчовій, кондитерській та фармацевтичній промисловості.

Україна входить до числа провідних виробників волоських горіхів у світі, проте значна частина продукції реалізується у вигляді сировини без належного рівня переробки. Це знижує економічну ефективність галузі та не дозволяє повною мірою реалізувати експортний потенціал. Однією з причин такого стану є недостатній рівень технічного оснащення підприємств, використання застарілого обладнання та недосконалість технологічних ліній переробки.

Технологічний процес переробки волоських горіхів включає ряд операцій: очищення від домішок, сушіння, калібрування, розколювання шкаралупи, відокремлення ядра, сортування та пакування готової продукції. Кожен із цих етапів має свої особливості та впливає на якість кінцевого продукту. Особливо важливим є процес розколювання горіхів, оскільки від нього залежить вихід цілого ядра, що є основним показником якості продукції. Недосконалість існуючих машин і механізмів призводить до значних втрат, пошкодження ядра та підвищення енерговитрат.

У зв'язку з цим актуальним є завдання удосконалення технологічних ліній переробки волоських горіхів шляхом впровадження нових конструктивних рішень, оптимізації режимів роботи обладнання та підвищення ефективності виробничих процесів. Особливу увагу слід приділяти автоматизації та механізації

операцій, що дозволяє зменшити трудомісткість виробництва, підвищити продуктивність праці та забезпечити стабільну якість продукції.

Метою роботи є удосконалення технологічної лінії переробки волоських горіхів із метою підвищення її ефективності, зниження енерговитрат та покращення якості отримуваної продукції.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі основні завдання:

- провести аналіз існуючих технологій та обладнання для переробки волоських горіхів;
- виявити їхні недоліки та визначити напрями удосконалення; розробити модернізовану технологічну схему;
- виконати конструктивні та технологічні розрахунки основних елементів лінії;
- оцінити економічну ефективність запропонованих рішень;
- розглянути питання охорони праці та екологічної безпеки.

Об'єктом дослідження є технологічний процес переробки волоських горіхів, а предметом – параметри та конструктивні особливості обладнання технологічної лінії.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання при проектуванні та модернізації ліній переробки горіхів на підприємствах агропромислового комплексу. Запропоновані технічні рішення спрямовані на підвищення виходу якісного ядра, зменшення втрат сировини, зниження енергоспоживання та покращення умов праці обслуговуючого персоналу.

Таким чином, удосконалення технологічної лінії переробки волоських горіхів є важливим науково-технічним завданням, вирішення якого сприятиме підвищенню конкурентоспроможності продукції, розвитку переробної галузі та зміцненню економічного потенціалу аграрного сектору України.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Стан та тенденції виробництва і переробки волоських горіхів в Україні та світі

Україна є одним із провідних виробників волоських горіхів у світі, посідаючи 4-те місце з обсягом виробництва близько 100 тис. тонн, що становить приблизно 4% світового виробництва. Вона поступається Китаю, який домінує на ринку з показником 1,5 млн тонн (56%), Сполученим Штатам Америки – 607 814 тонн (23%) та Чилі – 195 000 тонн (7%). До повномасштабного вторгнення Росії у 2022 році середній обсяг виробництва волоських горіхів в Україні становив близько 115–120 тис. тонн на рік, а у 2022–2023 роках – у середньому 107 тис. тонн.

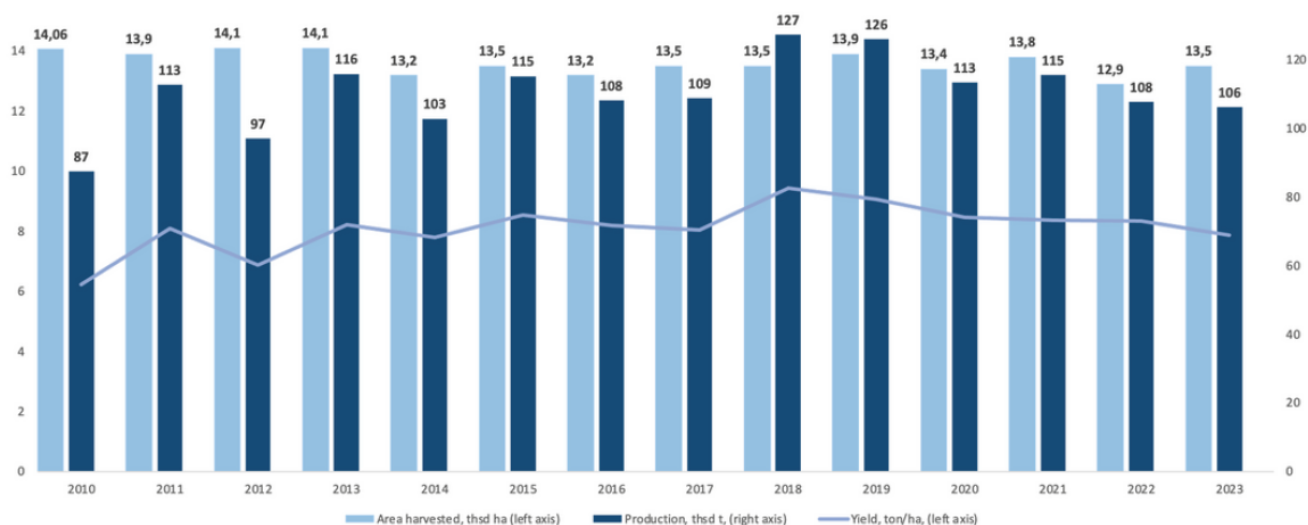


Рисунок 1.1 – Виробництво волоських горіхів, площа та врожайність в Україні

Вирощування волоських горіхів в Україні офіційно здійснюється на площі близько 13,5 тис. га плодоносних насаджень у 2023 році (загальна площа – 16,4 тис. га), із середньою врожайністю приблизно 8 т/га. Однак існують фактори, що викликають сумніви щодо точності цих даних. По-перше, провідні світові виробники, такі як Китай і США, демонструють нижчі середні врожаї. По-друге, статистика свідчить, що господарства населення досягають урожайності майже у

п'ять разів вищої, ніж сільськогосподарські підприємства (приблизно 10 проти 2 т/га). Це може вказувати на статистичні неточності, пов'язані із завищенням обсягів виробництва або недообліком площ збору.

Найбільшими виробниками волоських горіхів в Україні є Черкаська область (12,4 тис. тонн), Хмельницька область (10 тис. тонн) та Чернівецька область (9 тис. тонн).

Через відсутність офіційних даних про чисельність населення України після початку повномасштабної війни, за оцінками вона скоротилася приблизно на 10 млн осіб і становить близько 31 млн у 2024 році. Відповідно, виробництво волоських горіхів на душу населення становить близько 0,29 кг на рік.

Повномасштабна війна негативно вплинула на виробничі можливості. Внаслідок втрати та пошкодження земель у ключових регіонах вирощування, таких як Донецька, Запорізька, Луганська, Миколаївська, Харківська та Херсонська області, у 2023 році виробництво скоротилося приблизно на 6%.

У 2023 році близько 74% площ під волоськими горіхами перебували у господарствах населення, які забезпечили понад 95% валового виробництва. Це свідчить про значну залежність галузі від сімейної праці та обмежене використання найманої робочої сили. Решта 26% площ належить комерційним підприємствам, які зазвичай використовують більш організовану форму праці.

Водночас частка площ підприємств у структурі виробництва поступово зростає. За даними звіту USDA за 2024 рік, основною причиною є розвиток комерційного горіхівництва, що розпочався з 2009 року. Середній розмір таких господарств становить 20–50 га. Їх створення стало можливим завдяки державній фінансовій підтримці до 2022 року. Фермери інвестували у високоврожайні сорти, системи зрошення та внесення добрив.

За даними Державної служби статистики України за 2023 рік, 88% усіх горіхових насаджень припадає на волоські горіхи, понад 10% – на фундук. При цьому близько 73% насаджень волоського горіха зосереджено в господарствах населення, де вони становлять 99% усіх багаторічних горіхових культур. Виробництво фундука майже повністю зосереджене у підприємствах.

Внутрішнє споживання волоських горіхів в Україні становить близько 33 тис. тонн, або приблизно 0,8–1 кг на одну особу на рік. Зниження споживання у 2019–2020 роках пов’язане зі значним зростанням експорту у 2019 році.

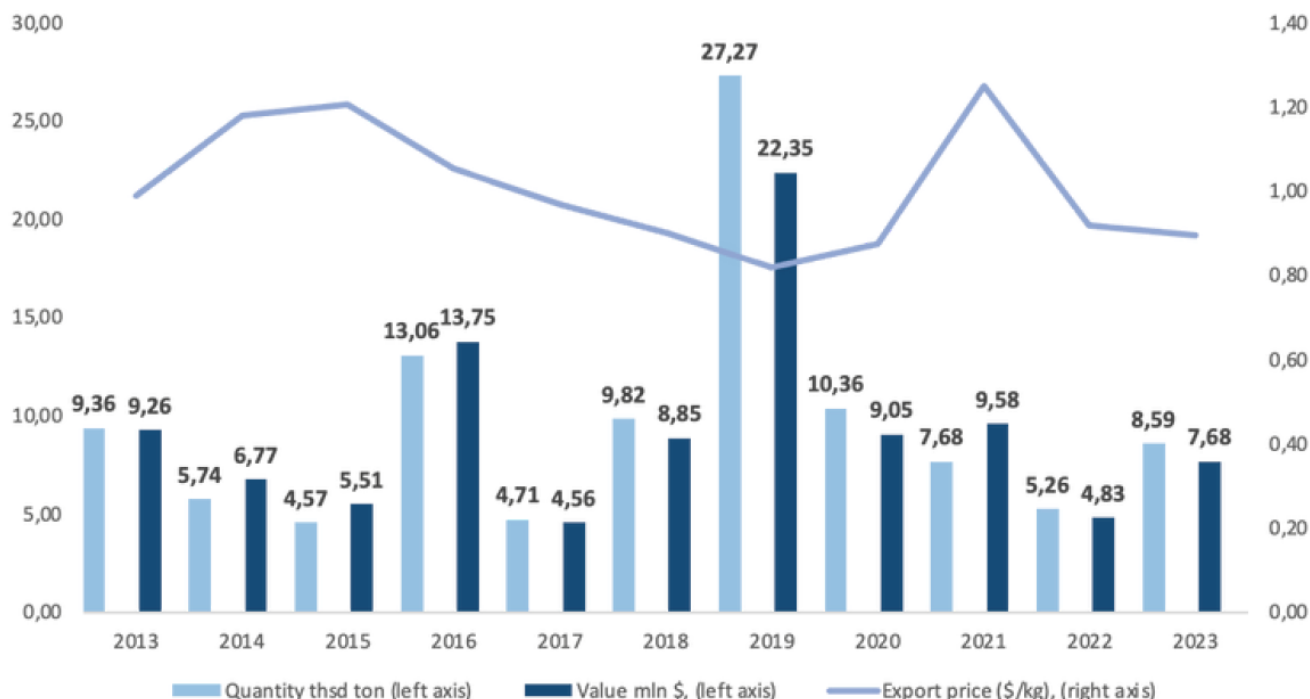


Рисунок 1.2 – Експорт волоських горіхів свіжих або сушених, у шкаралупі (Україна)

У 2023 році 72% експорту волоських горіхів (22 тис. тонн на суму близько 69 млн доларів США) становили очищені ядра, тоді як 28% (8,6 тис. тонн на суму близько 7,7 млн доларів США) – горіхи в шкаралупі. Середня ціна очищених горіхів становила приблизно 3,50 дол./кг, тоді як у шкаралупі – близько 0,90 дол./кг.

Оскільки очищене ядро становить близько 40% маси неочищеного горіха, то експорт 22 тис. тонн ядра еквівалентний приблизно 55 тис. тонн горіхів у шкаралупі. Разом із 8,6 тис. тонн експорту неочищених горіхів та близько 30 тис. тонн внутрішнього споживання, це становить приблизно 93,6 тис. тонн із загального виробництва 106 тис. тонн, що свідчить про можливі втрати, запаси або невраховане використання.

Найбільшими імпортерами українських очищених волоських горіхів у 2023 році були: Азербайджан (11%), Туреччина (10%), Франція (10%), Румунія (9%) та Греція (9%). Для горіхів у шкаралупі основними покупцями були Ірак (36%), Туреччина (27%) та Азербайджан (21%).

Загалом основним ринком збуту для України є Європейський Союз, який забезпечує понад 58% експортної виручки (більше 45 млн доларів США).

Імпорт волоських горіхів в Україну значно менший за експорт. Водночас останніми роками спостерігається зростання імпорту очищених горіхів і зменшення імпорту в шкаралупі. У 2023 році було імпортовано 111 тонн очищених горіхів на суму 378 тис. доларів США та лише 22 тонни неочищених на суму 26,6 тис. доларів США. Середня ціна імпорту становила відповідно 2,70 дол./кг та 1,00 дол./кг.

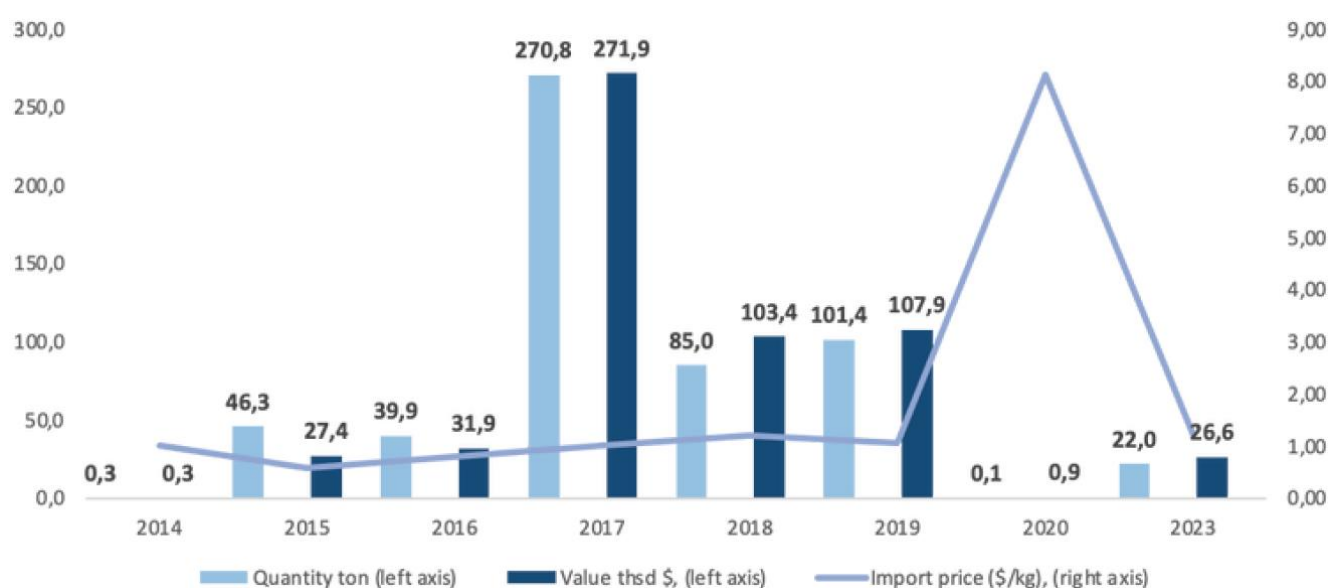


Рисунок 1.3 – Імпорт волоських горіхів свіжих або сушених, у шкаралупі (Україна)

Основними країнами-імпортерами очищених горіхів в Україну були Австрія (38%), Бельгія (19%), Болгарія (19%) та Кіпр (18%).

Загальний внесок галузі виробництва волоських горіхів у валовий аграрний ВВП України залишається відносно невеликим, що пояснюється домінуванням у

структурі сільського господарства зернових культур, олійних культур та тваринництва, які займають значно більші площі.

1.2 Сучасний стан та перспективи розвитку переробки волоських горіхів в Україні

Галузь переробки волоських горіхів в Україні наразі є недостатньо розвиненою, проте має значний ринковий потенціал. Первинна переробка, зокрема відокремлення навколоплідника від ядра, зазвичай здійснюється оптовими посередниками, а не безпосередньо виробниками. Ядра волоських горіхів використовуються як сировина в олійно-жировій промисловості, де з них виготовляють харчову горіхову олію, макуху та інші побічні продукти. Ця продукція, у свою чергу, застосовується в кондитерській промисловості (хлібобулочні та макаронні вироби, солодощі, снеки), у виробництві кормів для тварин, а також у виготовленні біопалива, фарб і лаків.

Глибока переробка волоських горіхів дозволяє отримувати цінні побічні продукти, зокрема горіхове борошно та паливні брикети зі шкаралупи. При цьому виробники змушені обирати між самостійним виробництвом олії або закупівлею готової продукції для подальшого фасування, оскільки процес переробки потребує значних витрат.

Переробка волоських горіхів також сприяє розвитку інших галузей промисловості. Із зеленого околоплідника отримують чорні та коричневі барвники, що використовуються у поліграфії. Горіхова олія застосовується у живописі завдяки швидкому висиханню та блискучій поверхні. Тверда оболонка (ендокарпій) є джерелом фурфуролу, який використовується у виробництві лінолеуму та гуми. Деревина волоського горіха, що відзначається високою щільністю, міцністю та стійкістю до деформацій, широко використовується у меблевій промисловості.

Волоські горіхи широко застосовуються і в традиційній медицині. Завдяки вмісту біологічно активних речовин вони мають антиоксидантні, протизапальні,

протівірусні, антибактеріальні та інші корисні властивості. Їх споживання сприяє зниженню рівня холестерину, покращенню роботи мозку, а також зменшенню ризиків розвитку діабету та онкологічних захворювань.

Зелені околоплідники мають широке промислове застосування: їх використовують для виготовлення приправ, консервів, солодошів, лікерів, натуральних барвників, полімерних композитів, а також для очищення промислових стічних вод від важких металів. Використання агролісомеліоративних систем із поєднанням вирощування горіхів із сінокошінням та бджільництвом сприяє підвищенню родючості ґрунтів, зменшенню кількості шкідників і диверсифікації доходів, що забезпечує сталість аграрного виробництва.

До галузей, що забезпечують функціонування горіхівництва в Україні, належать виробники сільськогосподарської техніки, добрив, засобів захисту рослин та спеціалізованого обладнання для переробки горіхів. Закладання та догляд за горіховими садами потребують використання тракторів із навісним обладнанням, садильних машин, систем зрошення, інструментів для обрізування, електропил, культиваторів і транспортних засобів. Післязбиральна обробка вимагає застосування сушарок, сепараторів, машин для лущення, очисників, вібраційних сит та фотосепараторів для забезпечення товарної якості продукції.

Вирощування волоських горіхів потребує значної кількості агротехнічних ресурсів, зокрема мінеральних добрив (наприклад, аміачної селітри — близько 6 кг на дерево щорічно) та органічних добрив (гній). Для боротьби зі шкідниками та хворобами застосовують інсектициди та фунгіциди, особливо в літній період. Також використовують вапно для побілки стовбурів і матеріали для щеплення, що сприяють прискоренню росту дерев. Важливими умовами є забезпечення належного дренажу, регулярний полив, особливо у посушливі періоди, та боротьба з бур'янами.

Збирання зелених (недозрілих) горіхів проводиться з кінця травня до червня, коли вони ще м'які та легко піддаються обробці. Під час збору рекомендується використовувати захисні рукавички та темний одяг через сильне

фарбування. Зібрані горіхи потребують негайної переробки або короткочасного зберігання в прохолодних і темних умовах.

Для запобігання плісняві горіхи необхідно висушувати до вологості 6–8%. Процес переробки включає очищення від залишків оболонки, промивання, вимочування для зменшення гіркоти та подальше використання у харчових і лікувально-профілактичних цілях. Зберігання здійснюється у спеціальних сітках, ящиках або мішках із забезпеченням циркуляції повітря, у сухих, прохолодних і темних приміщеннях. Регулярний контроль і дотримання принципу ротації запасів дозволяють підтримувати якість продукції.

Механізоване лущення значно підвищує продуктивність (понад 200 кг/год), хоча при цьому може зменшувати частку цілих ядер. Сорткування за розміром і кольором із використанням вібросит і фотосепараторів підвищує товарну привабливість продукції, оскільки споживачі надають перевагу світлим і однорідним ядрам.

1.3 Харчова цінність, хімічний склад та фактори формування якості волоських горіхів

Волоські горіхи є одним із найбільш поживних продуктів рослинного походження, що відзначаються високою енергетичною цінністю та багатим хімічним складом. Їх широко використовують як у харчовій промисловості, так і в дієтичному та лікувально-профілактичному харчуванні. Висока концентрація біологічно активних речовин зумовлює значну роль волоських горіхів у забезпеченні організму людини необхідними нутрієнтами.

У середньому 100 г волоських горіхів містять близько 696 ккал, 66 г жирів, 6,3 г вуглеводів, 6,2 г клітковини, 2,6 г цукрів та 15,3 г білка, а також широкий спектр вітамінів і мінеральних речовин. За енергетичною цінністю волоські горіхи перевищують багато продуктів як рослинного, так і тваринного походження. Зокрема, вони у 1,5 раза калорійніші за свинину, у 2,5 раза – за мед, у 3 рази – за хліб, у 7–8 разів – за рибу та у 10 разів – за картоплю. Встановлено, що

споживання лише 400 г ядер волоського горіха може повністю забезпечити добову потребу людини в енергії (приблизно 2936 ккал).

Особливо цінними є вітамінні властивості волоських горіхів. Вони містять значну кількість вітаміну С – у 8 разів більше, ніж чорна смородина, і в 50 разів більше, ніж цитрусові культури. Крім того, у складі присутні вітаміни А, групи В (зокрема В1), Р, а також фітонциди, що мають антимікробну дію.

Для кращого уявлення про поживну цінність волоських горіхів доцільно подати узагальнені дані у вигляді таблиці.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад та харчова цінність волоських горіхів
(на 100 г продукту)

Показник	Значення
Енергетична цінність, ккал	696
Білки, г	15,3
Жири, г	66,0
Вуглеводи, г	6,3
Клітковина, г	6,2
Цукри, г	2,6
Вітамін С	високий вміст
Вітаміни А, В, В1, Р	наявні

Хімічний склад волоських горіхів характеризується високим вмістом жирів, які становлять основну частину їхньої маси. Більшість жирів представлена ненасиченими жирними кислотами, що мають важливе значення для здоров'я людини. Особливе місце займають поліненасичені жирні кислоти, зокрема лінолева кислота, яка є незамінною та бере участь у регуляції обміну речовин.

Вміст олії в ядрах волоського горіха може досягати 740 г/кг у промислових сортах, що свідчить про високу ефективність їх використання як сировини для олійно-жирової промисловості. Крім того, до складу горіхів входять токоферолі (вітамін Е), стероли та фенольні сполуки, які мають потужні антиоксидантні властивості. Ці речовини сприяють уповільненню процесів окиснення, підвищують стійкість продукту до псування та подовжують термін його зберігання.

Білкова складова волоських горіхів також є важливою, оскільки містить значну кількість амінокислот, необхідних для нормального функціонування організму. Хоча за вмістом білка горіхи поступаються деяким продуктам тваринного походження, їх біологічна цінність залишається високою завдяки збалансованому амінокислотному складу.

Суттєвою характеристикою є також вміст мінеральних речовин, серед яких переважають калій, кальцій, магній, фосфор, залізо та інші мікроелементи. Вони відіграють важливу роль у підтриманні функцій серцево-судинної, нервової та кісткової систем.

Якість волоських горіхів, їхній хімічний склад і поживна цінність значною мірою залежать від географічного походження. Дослідження показують, що між різними сортами існують істотні відмінності за вмістом вологи, олії, білка, жирних кислот і стеролів. Це пояснюється як генетичними особливостями рослин, так і умовами вирощування, включаючи клімат, ґрунтові характеристики та агротехнічні заходи.

Для наочності впливу різних факторів на якість волоських горіхів наведено узагальнену таблицю.

Таблиця 1.2 – Вплив основних факторів на якість волоських горіхів

Фактор	Вплив на показники якості
Сорт (генетика)	Вміст олії, білка, жирних кислот
Кліматичні умови	Рівень вологості, накопичення поживних речовин
Ґрунтові умови	Мінеральний склад, врожайність
Технологія вирощування	Якість ядра, розмір плодів
Умови зберігання	Термін придатності, окиснювальна стабільність

Важливим аспектом є те, що варіації у складі волоських горіхів безпосередньо впливають на їх харчову цінність, смакові характеристики та придатність до переробки. Наприклад, високий вміст поліненасичених жирних кислот підвищує корисність продукту, але одночасно робить його більш чутливим до окислення. Саме тому технологічні процеси переробки повинні бути

спрямовані на збереження біологічно активних компонентів і запобігання їх руйнуванню.

Крім того, різні сорти волоських горіхів можуть мати різні показники вмісту антиоксидантів, що впливає на їхню здатність протистояти псуванню під час зберігання. Це є важливим фактором при виборі сировини для промислової переробки, оскільки визначає ефективність виробництва та якість кінцевої продукції.

Таким чином, волоські горіхи є високопоживним продуктом із унікальним хімічним складом, який значною мірою залежить від умов вирощування та сорту. Їх висока енергетична цінність, багатий вміст біологічно активних речовин і широкий спектр застосування зумовлюють необхідність подальшого вдосконалення технологій їх переробки з метою максимального збереження корисних властивостей і підвищення ефективності використання сировини.

1.4 Типова технологія підготовки волоських горіхів

В Україні строки досягання волоських горіхів варіюють залежно від сортових особливостей і кліматичних умов регіону – від кінця серпня до третьої декади жовтня. Плід волоського горіха являє собою велику округлу однонасінну кістянку (рис. 1.4). У процесі дозрівання зовнішня зелена оболонка (околоплідник) поступово підсихає, розтріскується та відокремлюється від плода. Водночас внутрішня оболонка – шкаралупа – набуває високої твердості та крихкості. Під нею розміщене ядро, яке зазвичай складається з двох симетричних частин, розділених тонкою перегородкою.

Дослідження показують, що свіжозібрані горіхи характеризуються підвищеним вмістом води: у зовнішньому оплодні він становить близько 85–88%, у шкаралупі – 25–35%, а в ядрі – 15–25%. Такий рівень вологості створює сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів, що підвищує ризик псування продукції під час зберігання. Саме тому одразу після збирання виникає

необхідність у проведенні ефективного сушіння як ключового етапу післязбиральної обробки.



Рисунок 1.4 – Морфологічна будова волоського горіха

Після механічного струшування дерев частина околоплідника підсихає природним шляхом. Надалі плоди збирають вручну або із застосуванням спеціалізованих машин і транспортують до пунктів первинної обробки. На цьому етапі їх прийнято називати свіжозібраною сировиною.

Схема (рис. 1.5) ілюструє будову та етапи перетворення плоду волоського горіха від дерева до кінцевого ядра та його побічних продуктів. Процес починається з горіхового дерева. На ньому утворюється свіжий плід – зелений, округлий, з м'яккою зовнішньою оболонкою. У міру дозрівання плід стає стиглим, після чого зелена оболонка (перикарп) розтріскується і опадає, відкриваючи горіх у твердій дерев'янистій шкаралупі. Далі горіх розколюється, і з нього витягується ядро – їстівна частина горіха. Ядро покрите тонкою коричневою плівкою (шкіркою ядра), яку часто знімають, отримуючи ядро без плівки. Схема також показує, що під час переробки утворюються побічні продукти плоду горіха: зелена оболонка (перикарп) – зовнішня м'яка частина свіжого плоду; шкаралупа – тверда дерев'яниста оболонка горіха; плівка (шкірка ядра) – тонка оболонка, що покриває ядро. Усі ці частини (зелена оболонка,

шкаралупа та плівка) відносяться до побічних продуктів плоду горіха і можуть використовуватись у різних галузях промисловості або сільського господарства.

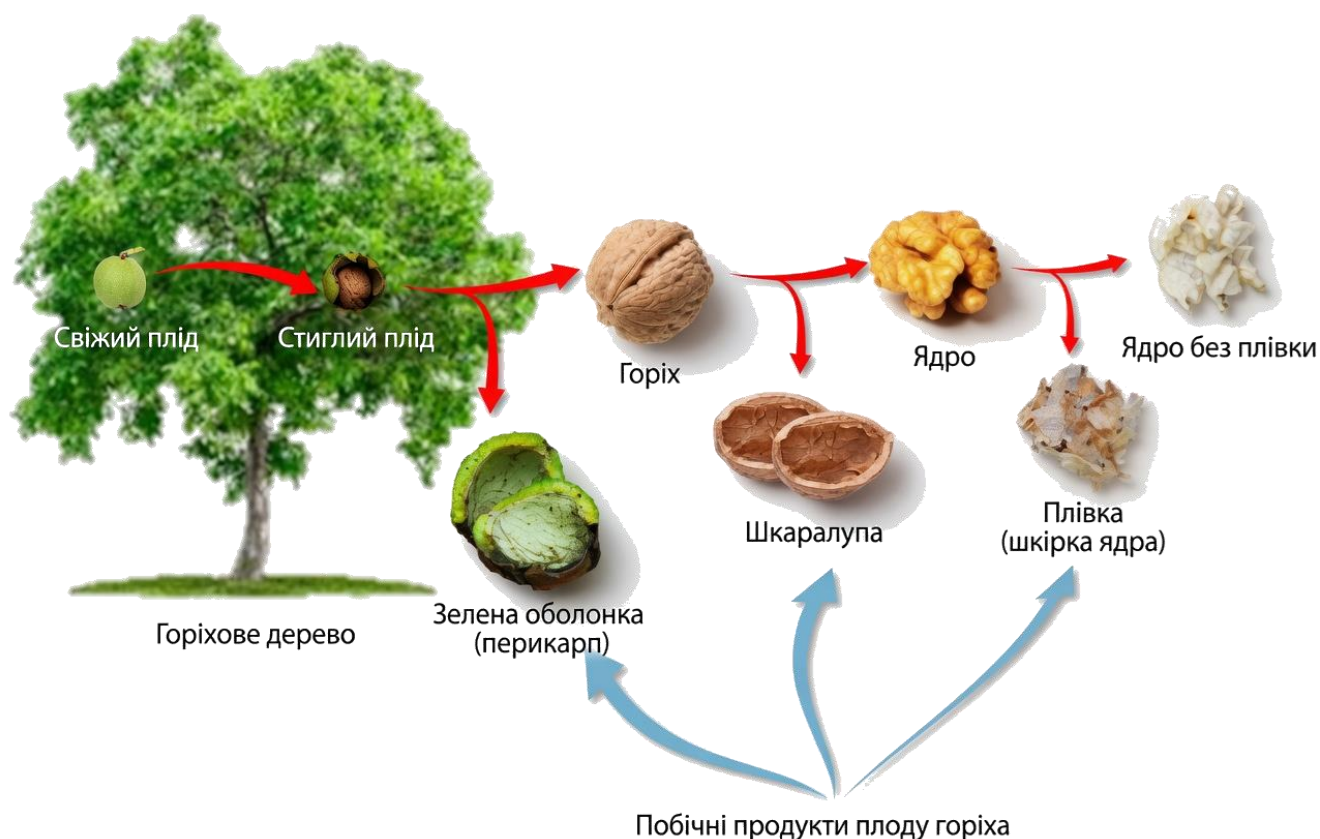


Рисунок 1.5 – Етапи перетворення плоду волоського горіха від дерева до кінцевого ядра та його побічних продуктів

Типова технологія підготовки волоських горіхів включає кілька послідовних операцій: очищення від залишків околоплідника та сторонніх домішок, миття, сушіння та сортування (рис. 1.6). Під час миття вода частково проникає у шкаралупу, що призводить до додаткового зволоження продукту, тому після цієї операції особливо важливо забезпечити якісне сушіння.

Сушіння є однією з найвідповідальніших і найбільш енергоємних операцій у технологічному процесі переробки волоських горіхів. Його основною метою є зниження вологості до рівня, за якого припиняється розвиток мікрофлори та забезпечується тривале зберігання продукції. Відомо, що процес зневоднення базується на одночасному тепло- та масообміні, під час якого відбувається видалення вологи з матеріалу.

Відповідно до нормативних вимог, вологість волоських горіхів у шкаралупі перед закладанням на зберігання не повинна перевищувати 8 %, що відповідає активності води близько 0,60 за температури 25 °С. Недотримання цих параметрів може призвести до щорічних втрат продукції на рівні до 3 % через розвиток плісняви та погіршення якості.

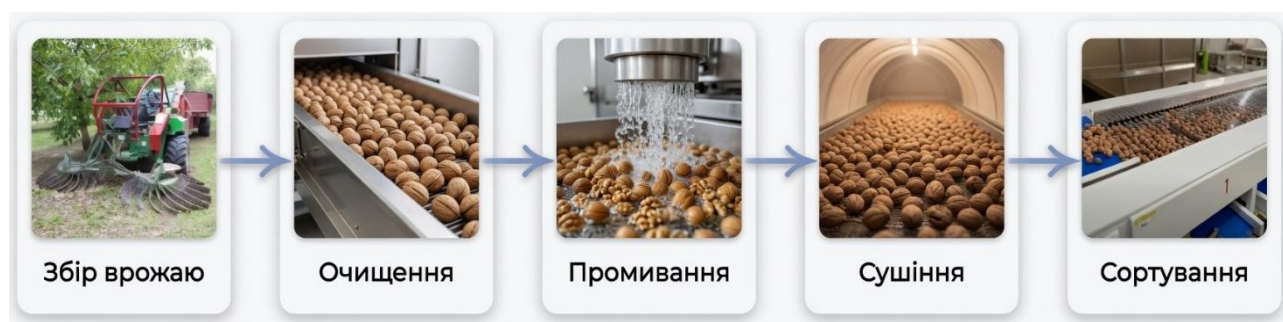


Рисунок 1.6 – Типова технологія обробки плодів волоських горіхів

У процесі сушіння відбуваються складні фізико-хімічні зміни структури плодів. Зокрема, змінюються умови перебігу ферментативних реакцій, а також інтенсивність тепло- та масообмінних процесів. Неправильно підібрані режими сушіння можуть активізувати небажані ферментативні процеси, такі як гідроліз і окиснення ліпідів. Це пов'язано з діяльністю ферментів (ліпази, пероксидази, поліфенолоксидази), які можуть погіршувати якість ядра.

Особливо чутливими до впливу зовнішніх факторів є жири, що входять до складу ядра. Під дією температури, світла та кисню відбувається їх окиснення з утворенням вільних жирних кислот, що негативно впливає на смакові властивості та стабільність горіхової олії. Встановлено, що підвищення температури та наявність кисню значно прискорюють ці процеси, тому контроль умов сушіння є критично важливим.

Практика показує, що сушіння волоських горіхів зазвичай здійснюється при відносно невисоких температурах (близько 40–45 °С), що дозволяє зберегти якість продукції. Однак такий режим має і недоліки – тривалість процесу може досягати 20–24 годин. У зв'язку зі зростанням обсягів виробництва виникає проблема недостатньої продуктивності існуючих сушильних установок.

Важливим аспектом є також енергоспоживання процесу сушіння. Середні витрати енергії становлять близько 1300–1400 МДж на 1 тону продукції, причому при неефективній організації процесу ці показники можуть зростати вдвічі. Це свідчить про необхідність удосконалення сушильного обладнання та впровадження енергоощадних технологій.

Складність сушіння також пов'язана з неоднорідністю сировини. У межах однієї партії вологість окремих плодів може коливатися у широких межах — від 12 до 38 %. Це ускладнює вибір оптимальних режимів обробки: надмірне сушіння призводить до пересушування і погіршення якості, тоді як недостатнє — до ризику псування продукції.

Якість волоських горіхів визначається низкою показників, серед яких особливе значення мають колір ядра, кислотне та перекисне число олії. Світлі ядра з низькими показниками окиснення мають найвищу ринкову цінність. При цьому встановлено, що температура, тривалість сушіння та кінцева вологість безпосередньо впливають на ці показники.

Таблиця 1.3 – Основні параметри сушіння волоських горіхів

Показник	Значення
Початкова вологість ядра	15–25 %
Кінцева вологість	≤ 8 %
Температура сушіння	40–45 °C
Тривалість процесу	20–24 год
Середні енерговитрати	1300–1400 МДж/т
Допустима активність води	$\approx 0,60$

Отже, післязбиральна обробка волоських горіхів, зокрема процес сушіння, є ключовим етапом, що визначає якість і безпечність кінцевої продукції. Враховуючи високу енергоємність і тривалість процесу, актуальним є пошук нових технічних рішень, спрямованих на інтенсифікацію сушіння, зниження енерговитрат і забезпечення стабільної якості продукції. Це створює передумови для вдосконалення технологічних ліній переробки волоських горіхів і підвищення їх ефективності.

1.5 Технологічне обладнання для переробки волоських горіхів

Сучасна технологія переробки волоських горіхів передбачає використання комплексу спеціалізованого обладнання, яке забезпечує виконання основних операцій технологічного процесу.

До основних машин і установок належать:

- машини для очищення та миття;
- сепаратори домішок;
- калібрувальні установки;
- горіхоколювальні машини;
- обладнання для сортування;
- сушильні установки;
- пакувальні та складські системи.

Для наочності наведемо узагальнену характеристику основного обладнання.

Таблиця 1.4 – Основне обладнання для переробки волоських горіхів

Тип обладнання	Призначення	Продуктивність
Машини для миття та очищення	Видалення околоплідника та забруднень	до 300 кг/год
Сепаратори	Відокремлення каміння та домішок	залежить від моделі
Горіхоколювачі	Розколювання шкаралупи	50–300 кг/год
Калібратори	Сортування за розмірами	70–100 кг/год
Сортувальні установки	Розподіл ядра за якістю	до 200 кг/год
Сушарки	Зниження вологості	до 1 т за цикл

Одним із ключових етапів є очищення горіхів від зеленого околоплідника. Для цього використовуються спеціальні машини барабанного типу, оснащені щітками та системою подачі води. Вони забезпечують одночасне механічне очищення та промивання плодів. Продуктивність таких установок може досягати 300 кг/год.

Після очищення застосовуються сепаратори, які працюють за принципом гідравлічного розділення матеріалів за густиною. Це дозволяє ефективно видаляти сторонні домішки, такі як каміння чи залишки оболонки.



Очисник для волоського горіха



Сепаратор домішок



Подрібнювач волоських горіхів



Обладнання для сортування та розділення горіхів



Оптичний сортувальник



Сушарка для горіхів

Рисунок 1.7 – Обладнання для переробки волоських горіхів

Наступним етапом є калібрування – розподіл горіхів за розмірами. Для цього використовують барабанні або вібраційні калібратори із ситами різного діаметра (наприклад, 4, 8, 18 мм). Це дозволяє підвищити ефективність подальшого розколювання.

Розколювання горіхів здійснюється за допомогою спеціальних машин — горіхоколювачів. Вони можуть мати різну конструкцію та продуктивність. Наприклад, машини типу САЗ здатні обробляти до 100 кг/год, тоді як більш потужні установки – до 300 кг/год.

Після розколювання проводиться сепарація ядра від шкаралупи, що часто здійснюється за допомогою повітряних потоків (пневмосепарація). Цей метод базується на різниці маси компонентів.

Сучасні технології передбачають використання оптичних сортувальників, які забезпечують високоточне відокремлення дефектних ядер. Такі системи оснащені камерами високої роздільної здатності та можуть виявляти дефекти розміром від 0,02 мм.

Для забезпечення тривалого зберігання горіхів застосовують штучне сушіння. Сучасні сушарки мають продуктивність до 1 тонни за цикл і забезпечують рівномірне зниження вологості. Конструкція таких установок включає камеру сушіння, систему нагріву та вентиляції.

Після сушіння продукція може зберігатися тривалий час без втрати якості, що є важливою перевагою порівняно з іншими плодами.

Сучасні підприємства використовують комплексні автоматизовані лінії, які включають усі етапи переробки: від очищення до пакування. Такі лінії дозволяють значно скоротити час обробки та підвищити якість продукції.

Наприклад, промислові лінії можуть переробляти понад 5000 тонн горіхів на рік. Використання оптичних систем контролю забезпечує високу точність сортування та видалення сторонніх домішок.

Висновки за розділом

Галузь виробництва та переробки волоських горіхів в Україні має значний потенціал розвитку, незважаючи на наявні структурні та економічні виклики. Україна займає провідні позиції на світовому ринку, проте ефективність галузі обмежується переважанням дрібнотоварного виробництва, недосконалістю статистичного обліку та негативним впливом воєнних дій.

Встановлено, що основний обсяг продукції формується у господарствах населення, що зумовлює низький рівень механізації та обмежені можливості для впровадження сучасних технологій. Водночас спостерігається поступове зростання ролі спеціалізованих підприємств, які орієнтуються на інтенсивні технології вирощування та підвищення врожайності.

Переробка волоських горіхів в Україні перебуває на етапі становлення, однак характеризується широкими можливостями для розвитку за рахунок комплексного використання сировини та отримання продукції з високою доданою вартістю. Особливу роль відіграє впровадження сучасного технологічного обладнання, автоматизованих ліній та енергоефективних рішень, що дозволяє підвищити якість продукції та знизити витрати.

Доведено, що якість і харчова цінність волоських горіхів значною мірою залежать від умов вирощування, післязбиральної обробки та режимів сушіння. Саме процес сушіння є критичним етапом, який визначає збереження біологічно активних речовин, тривалість зберігання та товарні характеристики продукції, проте він залишається енергоємним і потребує вдосконалення.

Таким чином, підвищення ефективності галузі можливе за рахунок розвитку промислового горіхівництва, модернізації технологічних процесів, удосконалення обладнання для післязбиральної обробки, а також впровадження інноваційних підходів до сушіння та сортування. Це сприятиме зростанню конкурентоспроможності української продукції на світовому ринку та забезпечить більш раціональне використання ресурсного потенціалу галузі.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

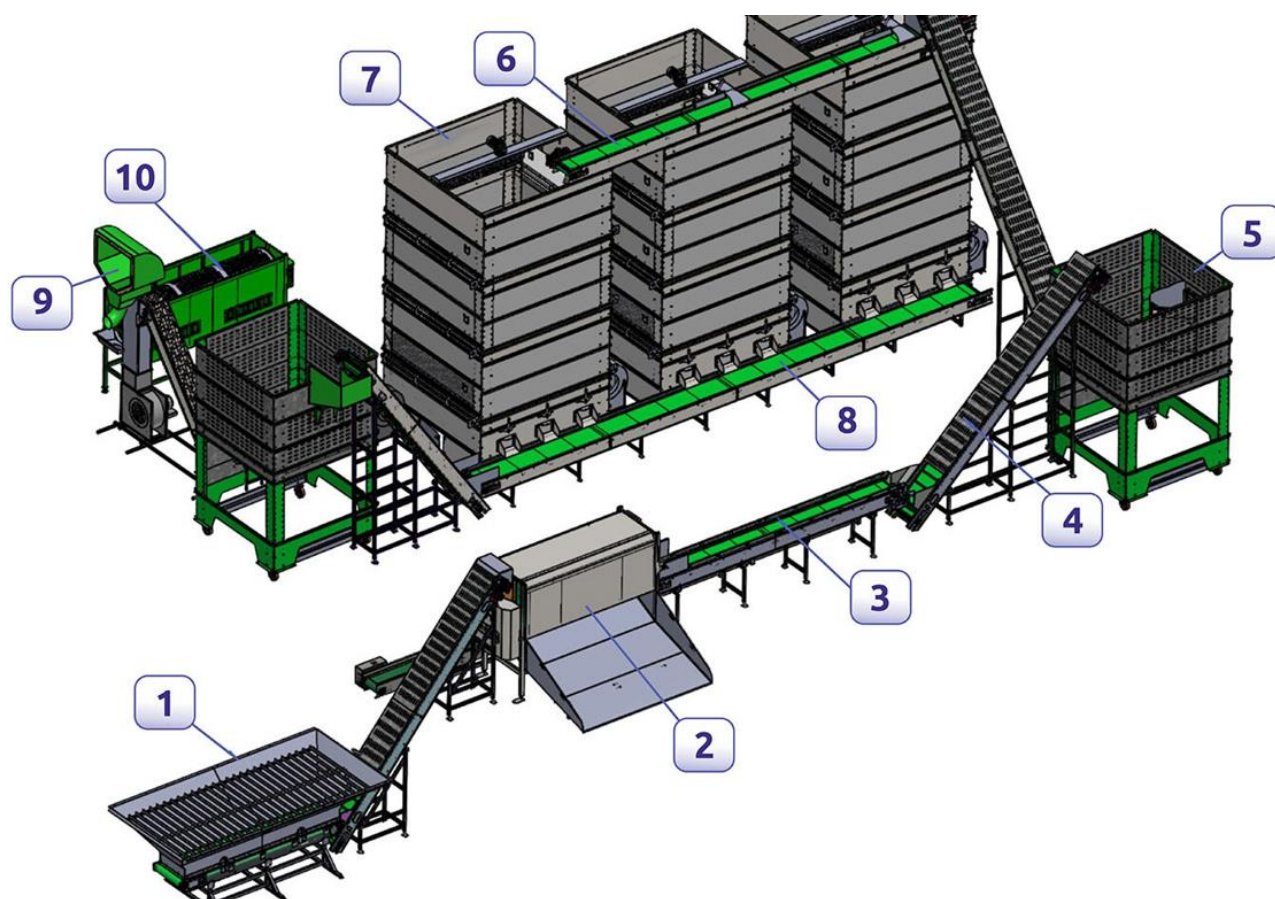
2.1 Загальна характеристика технологічної лінії переробки волоських горіхів

Сучасні технологічні лінії переробки волоських горіхів представляють собою комплекс автоматизованих машин і транспортних систем, які забезпечують виконання всіх етапів післязбиральної обробки – від приймання сировини до отримання готового ядра. Основною метою таких ліній є підвищення продуктивності, зменшення втрат сировини, покращення якості кінцевого продукту та мінімізація ручної праці.

Сучасні підприємства пропонують комплексні рішення «під ключ», які включають проектування, постачання та монтаж обладнання для очищення, лущення, сушіння, калібрування та сортування волоських горіхів. Лінії можуть бути як промислового масштабу (1000–1500 кг/год), так і компактні для малих підприємств.

Загальна структура технологічного процесу включає такі основні етапи: приймання та транспортування сировини; попереднє очищення та сортування; лущення зеленого околоплідника; тимчасове зберігання вологих горіхів; сушіння; калібрування; розколювання шкаралупи; відокремлення ядра; контроль якості та оптичне сортування; пакування та зберігання.

Технологічний процес післязбиральної обробки (рис. 2.1) волоських горіхів реалізується як послідовна механізована лінія, що забезпечує приймання, очищення, сушіння, сортування та підготовку продукції до подальшого зберігання або переробки. На початковому етапі сировина подається до бункерної конвеєрної системи ТВК300, яка виконує функцію приймання та рівномірної подачі горіхів у технологічну лінію. Далі продукція надходить до горизонтальної машини MAGNUM3, де здійснюється видалення зеленої оболонки (околоплідника), що є необхідним для запобігання псуванню та забезпечення належної якості ядра.



1 – бункерна конвеєрна система; 2 – горизонтальна машина для очищення (лущення) волоських горіхів; 3 – конвеєр для сортування за результатами візуального контролю; 4 – завантажувальний конвеєр; 5 – контейнер для зберігання вологих волоських горіхів; 6 – розподільчий конвеєр для сушіння; 7 – багатошарова сушильна машина для волоських горіхів; 8 – вивантажувальний конвеєр після сушіння; 9 – машина для відокремлення порожніх і зіпсованих волоських горіхів; 10 – машина для калібрування (сортування за розміром) волоських горіхів

Рисунок 2.1 – Технологічна лінія переробки волоських горіхів

Після очищення горіхи транспортуються конвеєром Kb300, призначеним для сортування за результатами візуального контролю. На цьому етапі вручну або автоматизовано видаляються сторонні домішки, пошкоджені або нестандартні плоди. Наступним елементом є завантажувальний конвеєр K1-ÖZEL, який забезпечує подачу продукції до зони тимчасового зберігання у контейнерах

ВК3500. Ці контейнери використовуються для накопичення вологих горіхів перед сушінням, що дозволяє вирівняти нерівномірність надходження сировини та забезпечити безперервність роботи сушильного обладнання.



Рисунок 2.2 – Фото технологічної лінії переробки волоських горіхів

Із зони зберігання горіхи за допомогою розподільчого конвеєра K2-ÖZEL подаються до багатошарової сушильної машини MX25E. У сушарці здійснюється зниження вологості продукту до нормативного рівня шляхом пропускання підігрітого повітря через шари горіхів. Багатошарова конструкція забезпечує ефективне використання теплової енергії та рівномірність сушіння. Після завершення процесу сушіння горіхи вивантажуються за допомогою конвеєра K3-ÖZEL і направляються на подальшу обробку.

Наступним етапом є очищення продукції від дефектних плодів у машині BOOST3200Z, яка відокремлює порожні, легкі та пошкоджені горіхи за рахунок аеродинамічних або механічних принципів розділення. Завершальним етапом технологічної лінії є калібрування у машині C300E, де горіхи сортуються за розмірами на фракції, що відповідають вимогам стандартів і споживчих характеристик.

Таким чином, дана технологія забезпечує комплексну післязбиральну обробку волоських горіхів із високим рівнем механізації, що дозволяє підвищити якість готової продукції, зменшити втрати та забезпечити ефективність виробництва.

2.2 Опис окремих операцій і обладнання технологічної лінії

Приймання, транспортування та попередня підготовка сировини. Початковим етапом технологічного процесу є приймання волоських горіхів після збору. Для забезпечення безперервної роботи використовуються бункерні та стрічкові конвеєрні системи. Вони виконують функцію рівномірної подачі сировини на наступні етапи обробки.

Однією з ключових особливостей сучасних ліній є застосування автоматичних систем подачі, що дозволяє зменшити людський фактор та забезпечити стабільну продуктивність.

Таблиця 2.1 – Основне обладнання етапу приймання та транспортування

Обладнання	Призначення	Параметри
Bunker Conveyor System TBK300	Приймання та подача горіхів	безперервна подача
K1/K1-ÖZEL конвеєри	Подача на лущення	регульована швидкість
Elevator системи	Підйом матеріалу	0.75–1.1 кВт
Loading conveyors	Розподіл сировини	стрічковий тип

На цьому етапі важливо забезпечити рівномірність подачі, оскільки перевантаження обладнання може призвести до зниження якості лущення та збільшення втрат ядра.

Очищення та лущення зеленого околплідника. Очищення зеленого околплідника є одним із найбільш енерго- та трудомістких процесів. Для цього використовуються горизонтальні луцильні машини, зокрема типу MAGNUM3. Принцип роботи полягає у механічному терті та ударному впливі на поверхню горіха з одночасним подаванням води.

Після лушення горіхи проходять візуальну перевірку на конвеєрах, що дозволяє відокремити неякісну сировину.

Таблиця 2.2 – Обладнання для лушення та очищення

Машина	Призначення	Особливості
MAGNUM3	Лушення зеленого горіха	горизонтальний тип
KB300 conveyor	Візуальний контроль	ручне/автоматичне сортування
BOOST3200Z	Видалення гнилих плодів	сепарація за щільністю
BK3500	Тимчасове зберігання	вологі горіхи

Після очищення горіхи можуть тимчасово зберігатися у спеціальних контейнерах BK3500 перед подальшим сушінням.

Сушіння волоських горіхів. Сушіння є критично важливим етапом, який визначає якість кінцевої продукції. Основною метою є зниження вологості до 6–8%, що забезпечує довготривале зберігання та запобігає розвитку мікрофлори.

У сучасних лініях використовуються багатошарові або силосні сушильні установки типу MX25E або СКМ5200Е.

Таблиця 2.3 – Основні параметри процесу сушіння

Показник	Значення
Початкова вологість	15–35%
Кінцева вологість	$\leq 8\%$
Температура сушіння	35–45°C
Тривалість	18–24 год
Тип сушарки	багатошарова / силосна

Процес сушіння включає рівномірну подачу матеріалу через розподільні конвеєри K2-ÖZEL та K4, а також контрольовану вентиляцію. Важливо забезпечити рівномірний розподіл теплового потоку для уникнення перегріву ядра.

Калібрування та сортування волоських горіхів. Після сушіння горіхи проходять калібрування, що дозволяє розділити продукцію за розміром і якістю. Для цього використовуються барабанні або вібраційні системи типу С300Е.

Сортування включає також видалення дефектних горіхів, порожніх та пошкоджених плодів.

Таблиця 2.4 – Обладнання для калібрування та сортування

Обладнання	Функція	Продуктивність
C300E	Калібрування	до 1000 кг/год
BOOST1900Z	Видалення дефектних горіхів	автоматичне
KB150	Додаткове калібрування	середня точність

Калібрування дозволяє підвищити товарну цінність продукції, оскільки ринок вимагає однорідності розміру ядра.

Розколювання та відокремлення ядра. Одним із ключових етапів є розколювання шкаралупи. Для цього застосовуються високопродуктивні машини типу KN001 (NUTMEC5, СКК200), які забезпечують механічний вплив із мінімальним пошкодженням ядра.

Після розколювання здійснюється сепарація ядра від шкаралупи за допомогою повітряних потоків або вібраційних систем.

Таблиця 2.5 – Обладнання для луцення шкаралупи

Машина	Призначення	Потужність
СКК200	Розколювання	3–5 кВт
BOOST100Z	Сепарація ядра	повітряний потік
KB150 conveyor	Транспортування	0.75 кВт

Ефективність цього етапу безпосередньо впливає на вихід цільного ядра, що є основним товарним продуктом.

Оптичне сортування та контроль якості. Сучасні технології передбачають використання автоматичних оптичних сортувальників, які дозволяють виявляти дефекти ядра з високою точністю. Вони оснащені камерами високої роздільної здатності та системами штучного інтелекту.

Основною метою є відокремлення: потемнілих ядер; пошкоджених фрагментів; сторонніх домішок.

Пакування та зберігання готової продукції. Готове ядро транспортується до пакувальних зон, де здійснюється фасування у вакуумні або герметичні упаковки. Це забезпечує тривале зберігання та захист від окиснення.

Зберігання здійснюється у контрольованих умовах температури та вологості.

Таблиця 2.6 – Умови зберігання волоських горіхів

Показник	Значення
Температура	0–10°C
Вологість	$\leq 65\%$
Термін зберігання	6–12 місяців

2.3 Впровадження нової системи відбору проб волоських горіхів і швидкого методу визначення вологості

Для ефективного контролю процесу сушіння важливим є точне визначення вологості. На підприємствах використовуються електронні датчики, встановлені в бункерах, які вимірюють електропровідність горіхів: чим вища вологість, тим вища провідність. Дані передаються до централізованої системи управління.

У наукових дослідженнях вологість зазвичай визначають гравіметричним методом шляхом сушіння зразків при температурі 100–105 °C протягом 7–24 годин або до сталої маси. Іноді подрібнені зразки сушать до двох діб. Це робить процес досліджень тривалим, тому актуальним є створення швидких методів вимірювання.

Аналіз літератури показує відсутність ефективних систем відбору проб із різних зон сушильних бункерів, що ускладнює оцінку нерівномірності вологості. Також бракує швидких методів визначення вологості для прискорення досліджень.

Промисловий сушильний бункер (типу «стадіон») для волоських горіхів має місткість приблизно 5 тонн продукції. Для ефективного контролю змін вологості горіхів протягом типового циклу сушіння тривалістю 18–24 години необхідно

відбирати репрезентативні зразки з різних глибин і зон бункера. Метою було створення системи відбору проб, здатної забезпечити отримання близько тридцяти горіхів із центру дванадцяти окремих зон у кожному бункері, розташованих на чотирьох вертикальних рівнях і у трьох горизонтальних позиціях. Це передбачало відбір зразків із глибини від 0,3 до 2,1 м, оскільки сушильні бункери підприємства мали глибину 2,4 м і довжину 3,2 м.

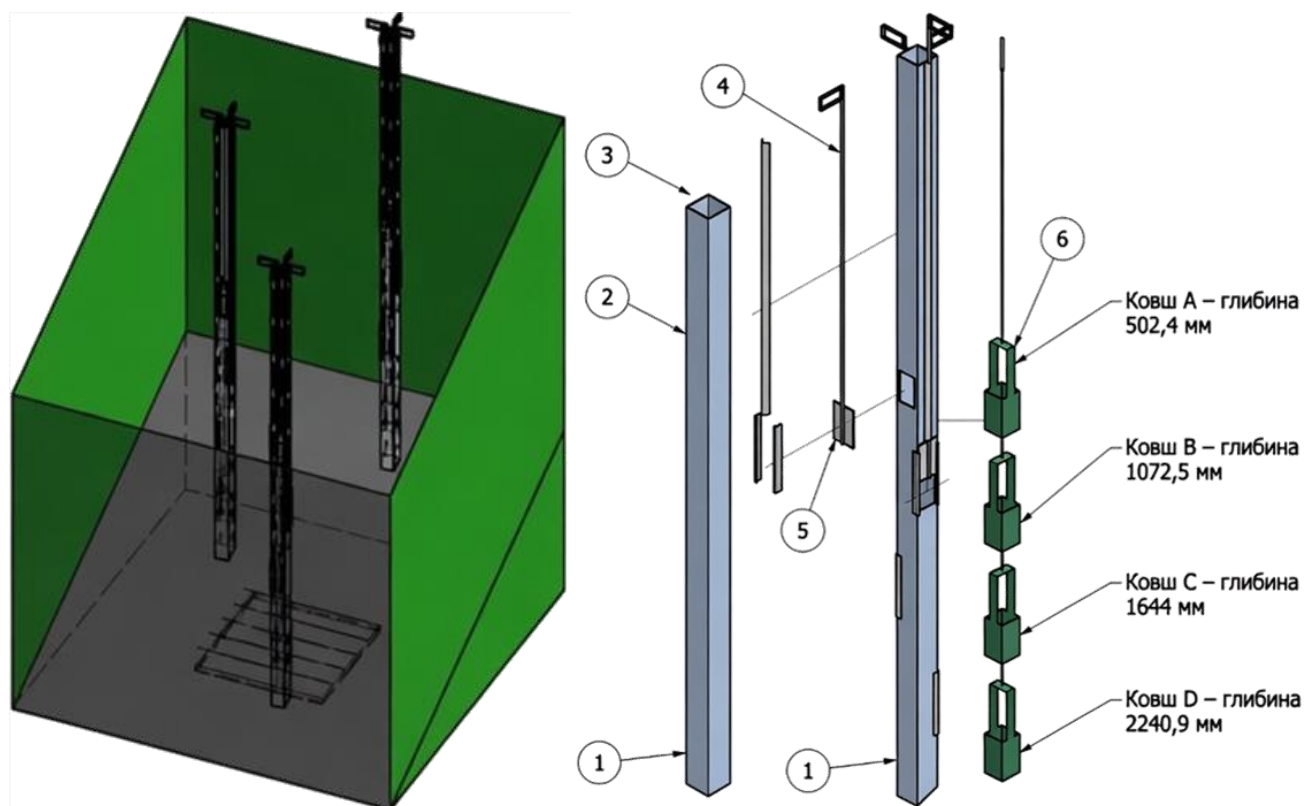
Для відбору проб використовували сітчасті мішки, які розміщували у масиві горіхів і витягували на різних етапах сушіння. Однак аналіз показав, що сила, необхідна для підйому такого мішка з 30 горіхами через шар вологих горіхів товщиною 2 м, перевищує 227 кг, що є практично нереалізованим. У зв'язку з цим було розроблено новий пристрій, який забезпечує швидкий і точний відбір великої кількості зразків з високою просторовою та часовою роздільною здатністю, необхідною для аналізу нерівномірності вологості під час сушіння (рис. 2.3).

Розроблена система відбору проб передбачає встановлення трьох спеціальних колон у кожному сушильному бункері. Колони закріплюються за допомогою помостів і сходів, що забезпечують безпечний доступ обслуговуючого персоналу. Кожен відбірник складається з чотирьох прямокутних контейнерів (кошиків), розрахованих приблизно на 30 горіхів, які розташовані на різних глибинах усередині вертикальної труби висотою 3657,6 мм із квадратним перерізом $101,6 \times 101,6$ мм. Контейнери з'єднані між собою тросами з рівномірним кроком.

На кожній із чотирьох висот труби встановлено засувки (клапани), які відкриваються за допомогою ручки зверху, дозволяючи горіхам потрапляти всередину відповідного контейнера. Характерна глибина відбору визначається положенням середини отвору клапана. Зокрема, для контейнера А глибина становить 502 мм, для В – 1072,5 мм, для С – 1644 мм, а для D – 2240,9 мм.

За допомогою цієї системи проводився відбір проб під час сушіння для дослідження зміни вологості. У 2021 році з кожного бункера відбирали 96 зразків за один 24-годинний цикл сушіння. У 2022 році, на основі попередніх результатів,

кількість зразків було оптимізовано до 60, що дозволило отримати репрезентативні дані при зменшенні трудомісткості досліджень.



1 – труба для відбору проб; 2 – напрямна дверцят; 3 – кутник дверцят; 4 – шток дверцят; 5 – панель дверцят; 6 – ланцюг ковшів

Рисунок 2.3 – Схема контейнера для горіхів та розташування колон для відбору проб

Процес відбору проб волоських горіхів. Різні дослідники вивчали вплив місця та обсягу відбору проб на результати визначення вологості. Розміри вибірок варіювалися: від 7 горіхів (подрібнених у блендері) до приблизно 50 горіхів (близько 600 г), які розміщувалися в сітчастих мішках і вилучалися кожні дві години. В інших дослідженнях мішки з 30 горіхами розміщували у верхній і нижній частинах бункера та вилучали після завершення сушіння. Проте такі підходи не забезпечували безперервного контролю процесу.

У даному дослідженні фахівці співпрацювали з промисловим підприємством у Каліфорнії для організації безперервного відбору проб протягом усього процесу сушіння. Це дозволило кількісно оцінити ефективність сушильної системи та сформувати базу даних для аналізу процесу видалення вологи, який зазвичай триває 18–24 години. Отримані дані також були використані для розробки чисельних моделей сушіння у промислових бункерах.

Важливим аспектом дослідження була не лише точність, а й швидкість обробки даних, що дозволило забезпечити високу продуктивність аналізу вологості. Подальші роботи спрямовані на створення нових систем, які дозволять скоротити тривалість сушіння, підвищити енергоефективність і зменшити експлуатаційні витрати.

У процесі відбору проб використовувалися спеціально обладнані сушильні бункери з тимчасовими сходами та помостами. Під час кожного відбору один оператор відкриває і закриває засувки, після чого піднімає ланцюг контейнерів, тоді як інший оператор пересипає горіхи з кожного контейнера у попередньо підписані пакети. Відбір 12 зразків з одного бункера займає близько 15 хвилин проти 45 хв при традиційному способі.

Висновки за розділом

У результаті проведеного аналізу встановлено, що сучасні технологічні лінії переробки волоських горіхів є високоефективними автоматизованими комплексами, які забезпечують повний цикл післязбиральної обробки сировини – від приймання до отримання готового продукту. Запропонована структура технологічної лінії характеризується логічною послідовністю операцій, високим рівнем механізації та можливістю адаптації до різних масштабів виробництва. Використання сучасного обладнання дозволяє зменшити втрати сировини, підвищити якість ядра та забезпечити стабільність технологічного процесу.

Детальний розгляд окремих етапів показав, що найбільш критичним з точки зору якості продукції є процес сушіння, який безпосередньо впливає на

збереження фізико-хімічних властивостей ядра. Ефективність сушіння визначається рівномірністю розподілу теплового агента, тривалістю процесу та точністю контролю вологості.

У зв'язку з цим обґрунтовано необхідність удосконалення методів контролю вологості в процесі сушіння. Запропонована нова система відбору проб із різних зон сушильного бункера дозволяє отримувати репрезентативні дані про розподіл вологи в об'ємі продукту. На відміну від традиційних методів, вона забезпечує безперервний контроль процесу, високу просторову та часову роздільну здатність, а також суттєве зниження трудомісткості відбору проб.

Практичні результати використання системи показали можливість скорочення часу відбору проб утричі при одночасному підвищенні точності оцінки вологості. Це створює передумови для оптимізації режимів сушіння, зменшення енерговитрат і підвищення ефективності роботи сушильного обладнання.

Таким чином, удосконалення технологічної лінії шляхом впровадження сучасних систем контролю та нових методів вимірювання вологості є перспективним напрямом підвищення ефективності переробки волоських горіхів, що має важливе практичне значення для агропромислового виробництва.

3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

3.1 Вихідні дані для проєктування

Вихідні дані для проєктування технологічної лінії переробки волоських горіхів формуються на основі аналізу виробничих умов, характеристик сировини, вимог до якості готової продукції, а також технічних параметрів сучасного обладнання. У даному проєкті розглядається механізована лінія середньої продуктивності, орієнтована на переробку волоських горіхів із забезпеченням високого виходу ядра та мінімізації втрат.

Основними вихідними параметрами є продуктивність лінії, фізико-механічні властивості сировини, режими роботи обладнання та кліматичні умови експлуатації. Враховуючи сучасні тенденції розвитку галузі, приймаємо номінальну продуктивність лінії на рівні 1000 кг/год по сирій сировині, що відповідає середнім показникам промислових підприємств.

Волоські горіхи як об'єкт переробки характеризуються значною варіацією розмірів, вологості та міцності шкаралупи. Початкова вологість свіжозібраних горіхів становить 20–35%, що обумовлює необхідність сушіння до рівня 6–8% для забезпечення тривалого зберігання.

Таблиця 3.1 – Основні вихідні параметри сировини

Показник	Значення
Продуктивність лінії	1000 кг/год
Початкова вологість	20–35 %
Кінцева вологість	6–8 %
Середній діаметр горіха	28–40 мм
Маса 1000 горіхів	10–14 кг
Вміст ядра	45–55 %
Температура сушіння	35–45 °C

Важливим параметром є вихід ядра, який визначає економічну ефективність виробництва. Для якісної сировини він становить у середньому 50%, однак залежить від сорту та умов вирощування.

Кількість сировини, що надходить на переробку за зміну, визначається за формулою:

$$Q_{зм} = Q_{год} \cdot t_{зм}$$

де $Q_{зм}$ – продуктивність за зміну, кг; $Q_{год}$ – годинна продуктивність, кг/год; $t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

Приймаючи тривалість зміни 8 год, отримаємо: $Q_{зм} = 1000 \cdot 8 = 8000$ кг/зміну.

Таким чином, добова продуктивність при двозмінній роботі становитиме 16000 кг.

Крім кількісних показників, враховуються втрати сировини на кожному етапі обробки. Загальні технологічні втрати включають втрати при очищенні, сушінні, калібруванні та розколюванні. Орієнтовно вони становлять 8–12%.

Таблиця 3.2 – Орієнтовні втрати на етапах переробки

Етап	Втрати, %
Очищення	2–3
Сушіння	1–2
Калібрування	1–2
Розколювання	3–5
Загальні втрати	8–12

Також враховується коефіцієнт нерівномірності подачі сировини, який приймається на рівні 1,1–1,2. Це дозволяє уникнути перевантаження обладнання.

Необхідна продуктивність окремих машин визначається з урахуванням цього коефіцієнта:

$$Q_{маш} = Q_{ном} \cdot k_n$$

де $k_n = 1,1 - 1,2$.

Крім того, важливими є параметри сушильного процесу. Кількість вологи, яку необхідно видалити, визначається з матеріального балансу:

$$W = G \cdot (\omega_1 - \omega_2) / (100 - \omega_2)$$

де W – маса видаленої вологи, кг; G – маса сирової сировини, кг; ω_1 – початкова вологість, %; ω_2 – кінцева вологість, %.

Ці дані є базовими для подальшого технологічного розрахунку.

3.2 Технологічний розрахунок переробки волоських горіхів

Технологічний розрахунок лінії переробки волоських горіхів базується на послідовному аналізі всіх етапів виробництва та визначенні матеріальних і енергетичних потоків. Основою розрахунку є баланс маси, який дозволяє визначити кількість продукції після кожного етапу.

Матеріальний баланс процесу. Загальна маса продукції після кожного етапу визначається:

$$G_{i+1} = G_i \cdot (1 - \alpha_i)$$

де α_i – частка втрат на i -му етапі.

Для початкової маси 1000 кг:

1. Після очищення:

$$G_1 = 1000 \cdot (1 - 0,03) = 970 \text{ кг}$$

2. Після сушіння:

$$G_2 = 970 \cdot (1 - 0,02) = 950,6 \text{ кг}$$

3. Після калібрування:

$$G_3 = 950,6 \cdot (1 - 0,02) = 931,6 \text{ кг}$$

4. Після розколювання:

$$G_4 = 931,6 \cdot (1 - 0,05) = 885 \text{ кг}$$

Вихід ядра (50%):

$$G_{\text{ядра}} = 885 \cdot 0,5 = 442,5 \text{ кг}$$

Таким чином, із 1000 кг сирих горіхів отримуємо приблизно 440–450 кг ядра.

Розрахунок сушильного процесу. Прийmemo: $\omega_1 = 25\%$, $\omega_2 = 8\%$.

Тоді кількість видаленої вологи:

$$W = 1000 \cdot (25 - 8)/(100 - 8) = 184,8 \text{ кг}$$

Отже, для кожної тонни сировини необхідно видалити приблизно 185 кг води.

Теплова енергія, необхідна для сушіння, визначається:

$$Q = W \cdot r$$

де $r = 2256 \text{ кДж/кг}$.

$$Q = 184,8 \cdot 2256 = 417000 \text{ кДж}$$

З урахуванням ККД сушарки (0,6):

$$Q_{\text{реал}} = 417000/0,6 = 695000 \text{ кДж}$$

Розрахунок продуктивності сушарки. Необхідна місткість сушарки визначається:

$$V = G \cdot t / \rho$$

де V – об'єм сушарки, м^3 ; ρ – насипна густина ($\approx 500 \text{ кг/м}^3$); t – тривалість сушіння (20 год).

$$V = (1000 \cdot 20)/500 = 40 \text{ м}^3$$

Розрахунок обладнання лінії

Таблиця 3.3 – Продуктивність основного обладнання

Обладнання	Продуктивність, кг/год	Потужність, кВт
Конвеєр	1200	1,1
Луцильна машина	1000	5
Сушарка	1000	15–25
Калібратор	1000	3
Розколювач	800	5

Кількість одиниць обладнання визначається:

$$n = Q_{\text{лінії}}/Q_{\text{машини}}$$

Для розколювача:

$$n = 1000/800 = 1,25 \text{ машини}$$

Розрахунок транспортування. Швидкість стрічкового конвеєра визначається:

$$v = Q/(\rho \cdot A)$$

де A – площа поперечного перерізу потоку.

Приймаючи $A = 0,05 \text{ м}^2$:

$$v = 1000 / (500 \cdot 0,05) = 0,04 \text{ м/с}$$

Узагальнений баланс виробництва

Таблиця 3.4 – Баланс продукції

Етап	Маса, кг
Сировина	1000
Після очищення	970
Після сушіння	950
Після калібрування	931
Після розколювання	885
Ядро	442

Проведений технологічний розрахунок показує, що при продуктивності 1000 кг/год лінія забезпечує отримання близько 440–450 кг ядра волоського горіха. Основними критичними етапами є сушіння та розколювання, які визначають енергоефективність та вихід готової продукції. Використання сучасного обладнання дозволяє знизити втрати до мінімального рівня та забезпечити високу якість продукції.

Запропоновані розрахунки можуть бути використані як основа для подальшого конструкторського проектування та оптимізації технологічної лінії.

3.3 Оптимізація процесу сушіння волоських горіхів у виробничих умовах

Сушіння волоських горіхів є одним із найбільш відповідальних і енергоємних етапів технологічного процесу їх переробки. Саме на цьому етапі формується якість кінцевого продукту, визначається тривалість зберігання, а також рівень втрат. Проведений аналіз експериментальних досліджень гарячоповітряного сушіння (HAD) дозволяє сформулювати науково обґрунтовані підходи до оптимізації цього процесу в умовах промислового виробництва.

Загальні закономірності процесу сушіння. Процес сушіння волоських горіхів характеризується зменшенням вологості матеріалу з часом під впливом теплового потоку. Основною рушійною силою є різниця парціальних тисків води між поверхнею продукту та навколишнім середовищем. Вологість у дослідженнях змінювалася в межах 0,35–0,43 г води на г сирої маси, що відповідає реальним виробничим умовам.

Зміна вологості у процесі сушіння описується рівнянням:

$$M_R = (M - M_e)/(M_0 - M_e)$$

де M – поточна вологість; M_0 – початкова вологість; M_e – рівноважна вологість.

Аналіз експериментальних даних показує, що сушіння волоських горіхів відбувається переважно в періоді спадної швидкості, що свідчить про дифузійний характер переносу води. Це означає, що швидкість процесу визначається внутрішнім масопереносом, а не лише зовнішніми умовами.

Вплив початкової вологості на процес сушіння. Початкова вологість (ІМС) має суттєвий вплив на тривалість сушіння. Зі збільшенням вологості з 0,35 до 0,43 г/г спостерігається значне збільшення тривалості процесу. Це пояснюється необхідністю видалення більшої кількості води та підвищенням теплоємності матеріалу.

Таблиця 3.5 – Вплив початкової вологості на тривалість сушіння

ІМС, г/г	Температура, °C	Час сушіння, хв
0,35	50	1300
0,39	50	1600
0,43	50	1950
0,35	80	660
0,39	80	800
0,43	80	1000

Як видно з таблиці, збільшення початкової вологості на 20–25% призводить до зростання тривалості сушіння приблизно на 30–50%. Це необхідно враховувати при плануванні режимів роботи сушильного обладнання.

Вплив температури сушіння. Температура є ключовим фактором, що визначає інтенсивність сушіння. Підвищення температури від 50 до 80 °С дозволяє скоротити тривалість процесу майже вдвічі.

Залежність часу сушіння від температури може бути описана експоненціальним законом:

$$t = t_0 \cdot e^{-kT}$$

де k – емпіричний коефіцієнт.

Збільшення температури сприяє: підвищенню кінетичної енергії молекул води; інтенсифікації дифузії; зменшенню в'язкості вологи; прискоренню теплопереносу.

Проте надмірне підвищення температури може призвести до погіршення якості ядра (потемніння, зниження харчової цінності), що вимагає оптимізації температурного режиму.

Кінетика сушіння та швидкість процесу. Швидкість сушіння визначається як зміна вологості за одиницю часу:

$$DR = dM/dt$$

Експериментальні дані показують, що максимальна швидкість сушіння зростає зі збільшенням температури та початкової вологості.

Таблиця 3.6 – Максимальна швидкість сушіння

ІМС	50°C	60°C	70°C	80°C
0,35	0,00053	0,00063	0,00073	0,00084
0,39	0,00061	0,00072	0,00091	0,00116
0,43	0,00075	0,00085	0,00107	0,00124

Найбільша швидкість сушіння досягається при поєднанні високої температури та високої початкової вологості.

Температурні режими та теплоперенос. У процесі сушіння температура горіха завжди нижча за температуру сушильного агента через випаровування вологи. Розподіл температури по об'єму горіха є нерівномірним, що обумовлює наявність температурних градієнтів.

Це явище описується рівнянням теплопровідності:

$$q = -\lambda dT/dx$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності.

Збільшення температури сушіння призводить до: зменшення часу прогріву; збільшення температурного градієнта; інтенсифікації теплопереносу.

Оптимізація режимів сушіння. На основі проведеного аналізу доцільно застосовувати комбінований режим сушіння, який включає:

1. *Початкову стадію (інтенсивне сушіння).* Температура: 70–80°C. Мета: швидке видалення поверхневої вологи.
2. *Основну стадію (дифузійне сушіння).* Температура: 60–70°C. Мета: видалення внутрішньої вологи.
3. *Завершальну стадію (доведення до кондиції).* Температура: 50–55°C. Мета: вирівнювання вологості.

Такий підхід дозволяє: скоротити тривалість сушіння на 30–40%; зменшити енергоспоживання; покращити якість продукції.

Розрахунок оптимального часу сушіння. Середній час сушіння можна оцінити як:

$$t_{\text{opt}} = (M_0 - M_k)/DR_{\text{avg}}$$

Для ІМС = 0,39 та температури 70°C:

$$t_{\text{opt}} = (0,39 - 0,065)/0,00044 = 738 \text{ хв}$$

Це добре узгоджується з експериментальними даними (≈ 950 хв), враховуючи зміну швидкості процесу.

Енергоефективність процесу. Енергетичні витрати визначаються кількістю видаленої вологи:

$$Q = m \cdot r$$

Зменшення часу сушіння на 50% дозволяє знизити витрати енергії на 20–30%.

Основні напрямки підвищення енергоефективності: рекуперація тепла; оптимізація швидкості повітря; автоматичне регулювання температури; використання багатошарових сушарок.

Впровадження у виробництво. Для промислових умов оптимізація сушіння повинна базуватися на: автоматизованих системах контролю температури і вологості; використанні датчиків у різних зонах сушарки; регулюванні швидкості повітряного потоку; зональному керуванні процесом.

Особливо ефективним є використання систем відбору проб із різних зон сушарки, що дозволяє контролювати нерівномірність сушіння.

Узагальнені результати оптимізації

Таблиця 3.7 – Оптимальні параметри сушіння

Параметр	Значення
Початкова температура	75 °C
Основна температура	65 °C
Кінцева температура	55 °C
Тривалість	12–18 год
Кінцева вологість	6–8 %

Оптимізація процесу сушіння волоських горіхів базується на комплексному врахуванні температури, початкової вологості та кінетики процесу. Встановлено, що підвищення температури дозволяє суттєво скоротити тривалість сушіння, однак потребує обмеження для збереження якості продукції.

Найбільш ефективним є комбінований режим сушіння, який поєднує високу температуру на початковому етапі та помірну на завершальному. Використання математичних моделей і автоматизованих систем керування дозволяє досягти оптимальних результатів у виробничих умовах, забезпечуючи високу якість продукції та енергоефективність процесу.

3.4 Розміщення обладнання

Сучасний цех з переробки волоських горіхів являє собою добре організований виробничий комплекс, де все обладнання розміщене з урахуванням технологічного потоку сировини – від моменту приймання горіхів у шкаралупі до отримання готової продукції у вигляді очищених ядер. Приміщення має

прямокутну форму з чітко визначеними зонами, що дозволяють забезпечити безперервний рух матеріалу, мінімізувати перехресні потоки та створити зручні умови для обслуговування. Загальна площа цеху дозволяє розмістити потужні лінії продуктивністю від кількох тонн на добу, з урахуванням вимог санітарії, пожежної безпеки та ергономіки.

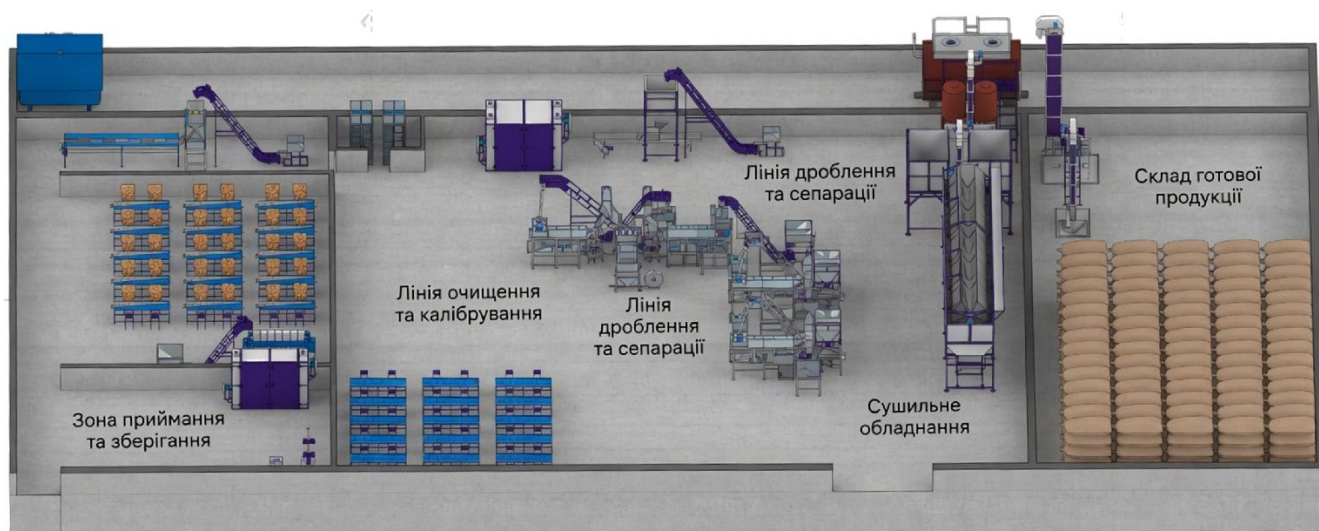


Рисунок 3.1 – Схема розміщення обладнання

У лівій частині приміщення розташована зона приймання та зберігання сировини. Тут домінують багатоярусні металеві стелажі (6–7 рівнів), призначені для тимчасового зберігання волоських горіхів у шкаралупі після збирання врожаю. Стелажі займають значну площу і дозволяють зберігати великі обсяги горіхів, забезпечуючи природну вентиляцію та запобігаючи самозігріванню продукції. У верхньому лівому куті розміщений великий синій бункер або контейнер для первинного приймання вантажівок. Він служить для розвантаження свіжозібраних або привезених горіхів і подальшої їх подачі на конвеєрну систему. Нижче стелажів розташований потужний фіолетовий агрегат – ймовірно, установка для попереднього очищення або мийки, яка видаляє залишки землі, листя та дрібне сміття. Ця зона оснащена додатковими конвеєрами та невеликим підйомником, що дозволяє оперативно подавати сировину на наступний етап обробки. Правильне розміщення зони приймання в лівій частині

цеху дає можливість зручно організовувати логістику: вантажівки під'їжджають з лівого боку, розвантажуються, а потім сировина рухається праворуч за технологічним ланцюгом.

Безпосередньо після зони зберігання, в центрально-лівій частині цеху, розміщена лінія очищення та калібрування. Це один з ключових етапів переробки, оскільки від якості очищення залежить подальша ефективність дроблення та вихід цілого ядра. Лінія включає комплекс обладнання: конвеєри подачі, сепаратори для видалення пилу та легких домішок, вібросита та калібратори різних фракцій. Горіхи проходять через кілька стадій: первинне очищення від зовнішнього сміття, миття (якщо потрібно), просушування поверхні та розділення за розмірами (калібрування). Обладнання цієї лінії переважно виконане в фіолетово-синьому кольорі, що візуально виділяє зону. Розміщення лінії компактне, але з достатніми проходами для технічного обслуговування. Важливо, що після калібрування горіхи поділяються на фракції (великі, середні, дрібні), що дозволяє оптимізувати подальше дроблення та зменшити відсоток пошкодженого ядра.

Центральна частина цеху повністю відведена під лінію дроблення та сепарації – серце всього виробництва. Саме тут відбувається основний процес перетворення цілого горіха в ядро. Лінія складається з кількох послідовно з'єднаних агрегатів: дробарок (горіхоколів), які акуратно розколюють шкаралупу, вібросит для первинного відділення ядра від шкаралупи, аспіраційних систем для видалення легкої фракції (шкаралупи та пилу) та складних сепараторів. Обладнання має багатоярусну конструкцію з численними трубопроводами, транспортерами та підйомниками, що забезпечує безперервний потік. У цій зоні особливо помітні конвеєрні стрічки, які з'єднують окремі машини, та платформи для операторів. Центральне розташування лінії дроблення дозволяє зручно подавати калібрований горіх з лівої сторони та передавати частково оброблену продукцію праворуч – до сушильного обладнання. Така організація мінімізує втрати часу та енергії.

Після дроблення та первинної сепарації матеріал надходить у зону сушильного обладнання, розташовану в право-центральної частині приміщення.

Тут встановлені великі вертикальні сушильні колони або силоси з системою примусової вентиляції та подачі теплого повітря. Сушіння є критичним етапом, оскільки вологості ядер волоського горіха має бути знижена до 6–8 %, щоб забезпечити тривалий термін зберігання та запобігти пліснявінню. Сушильне обладнання має значні габарити і займає вертикальний простір, що економить площу підлоги. Поруч розташовані допоміжні агрегати: вентилятори, калорифери та системи контролю температури й вологості. Розміщення сушарок саме після лінії дроблення логічно, адже на цьому етапі ядра ще містять підвищену вологу після миття або природної вологості.

Крайня права частина цеху відведена під склад готової продукції. Це найбільша за обсягом зона, де розміщені довгі ряди (близько 10–12 колон) бежевих мішків або спеціальних контейнерів з уже очищеними, відсортованими та висушеними ядрами волоського горіха. Склад займає значну площу, що дозволяє накопичувати готову продукцію перед відвантаженням. Поруч зі складом розташовані силоси для проміжного зберігання, обладнання для фінального сортування (в тому числі оптичні сепаратори для кольорового сортування ядер) та станції пакування. Така концентрація готової продукції в правій частині приміщення зручна для логістики: вантажівки для відвантаження можуть під'їжджати з правого боку, не заважаючи основному виробничому потоку.

Загальне розміщення обладнання в цеху підпорядковане принципу «від сировини до готової продукції» – зліва направо. Усі технологічні лінії з'єднані системою конвеєрів і транспортерів, що забезпечує автоматизований рух матеріалу з мінімальною участю людини. Центральна частина приміщення навмисно залишена вільною для проїзду навантажувальної техніки, технічного обслуговування та евакуаційних проходів. Це підвищує безпеку та зручність роботи персоналу.

Окрім основних зон, у цеху передбачені допоміжні елементи: електрощитові, компресорні станції, системи аспірації та вентиляції, що розміщені вздовж стін або в технічних нішах, щоб не заважати основному потоку.

Освітлення, пожежна сигналізація та системи пожежогасіння інтегровані в загальну структуру приміщення.

Така схема розміщення дозволяє досягти високої продуктивності, мінімізувати втрати сировини (вихід цілого ядра може сягати 70–80 % при якісному обладнанні) та забезпечити відповідність міжнародним стандартам якості харчової продукції. Правильна організація простору також полегшує масштабування виробництва – додавання нових ліній або модернізацію існуючого обладнання.

У підсумку, представлена схема демонструє сучасний підхід до проектування горіхопереробного цеху: компактність, логічність технологічного потоку, раціональне використання площі та максимальну автоматизацію. Такий цех може ефективно переробляти десятки тонн волоських горіхів на добу, забезпечуючи високу якість кінцевої продукції – від каліброваних горіхів у шкаралупі до фасованих ядер преміум-класу.

Висновки за розділом

У результаті виконання проєктної частини було комплексно обґрунтовано технологічні, конструктивні та організаційні рішення щодо створення сучасної механізованої лінії переробки волоських горіхів. На основі аналізу вихідних даних встановлено раціональні параметри виробництва, зокрема продуктивність лінії на рівні 1000 кг/год, що забезпечує переробку до 16 т сировини на добу при двозмінному режимі роботи.

Проведений технологічний розрахунок дозволив визначити матеріальні потоки на всіх етапах виробництва та встановити, що при переробці 1000 кг сирих горіхів отримується в середньому 440–450 кг ядра. Враховано технологічні втрати, які становлять 8–12%, що відповідає сучасному рівню ефективності переробних підприємств. Розраховано основні параметри сушильного процесу, зокрема кількість видаленої вологи (близько 185 кг/т) та необхідні теплові витрати, що дало змогу оцінити енергоємність виробництва.

Особливу увагу приділено оптимізації процесу сушіння як ключового етапу, що визначає якість продукції. На основі експериментальних досліджень встановлено закономірності впливу температури та початкової вологості на тривалість і інтенсивність сушіння. Обґрунтовано доцільність використання комбінованого температурного режиму (75–65–55 °С), який дозволяє скоротити тривалість процесу на 30–40% та знизити енергетичні витрати при збереженні високої якості ядра.

У процесі проектування також визначено склад і кількість основного технологічного обладнання, розраховано параметри транспортних систем та забезпечено узгодженість продуктивності всіх машин у лінії. Встановлено, що найбільш критичними етапами є сушіння та розколювання, які безпосередньо впливають на вихід готової продукції та економічну ефективність виробництва.

Розроблена схема розміщення обладнання забезпечує раціональну організацію виробничого процесу за принципом безперервного потоку «від сировини до готової продукції». Лінійне розташування технологічних зон мінімізує транспортні операції, знижує втрати часу та підвищує рівень автоматизації. Передбачено ефективне використання виробничих площ, дотримання вимог безпеки, санітарії та можливість подальшої модернізації виробництва.

Таким чином, запропоновані у проєктній частині технічні рішення забезпечують високу продуктивність, енергоефективність і якість переробки волоських горіхів. Отримані результати можуть бути використані як основа для створення або модернізації промислових підприємств із переробки горіхової продукції та мають практичне значення для підвищення конкурентоспроможності галузі.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Охорона праці та питання безпеки

Охорона праці на підприємствах із переробки волоських горіхів є важливою складовою організації виробництва, оскільки технологічний процес включає роботу з рухомими механізмами, тепловими установками, електрообладнанням, а також передбачає виконання ручних операцій. Забезпечення безпечних умов праці спрямоване на збереження життя, здоров'я та працездатності персоналу, а також на запобігання виробничому травматизму та професійним захворюванням.

Основними небезпечними та шкідливими виробничими факторами на лініях переробки волоських горіхів є: рухомі частини машин і механізмів (конвеєри, транспортери, дробарки), підвищена температура повітря в зоні сушильного обладнання, запиленість повітря (частинки шкаралупи, пил), підвищений рівень шуму та вібрацій, електричний струм, а також ризик травмування під час обслуговування обладнання.

Для забезпечення безпечних умов праці необхідно передбачити комплекс організаційних і технічних заходів. До організаційних заходів належать проведення інструктажів з охорони праці (вступного, первинного, повторного), навчання персоналу безпечним методам роботи, контроль за дотриманням правил техніки безпеки, а також забезпечення працівників засобами індивідуального захисту. Працівники повинні бути забезпечені спецодягом, захисними рукавицями, окулярами, респіраторами та засобами захисту органів слуху.

Особливу увагу слід приділяти безпеці під час роботи з конвеєрними системами. Усі рухомі частини обладнання повинні бути огорожені захисними кожухами, а також оснащені аварійними кнопками зупинки. Забороняється проводити очищення, ремонт або регулювання обладнання під час його роботи. Конвеєри повинні мати пристрої для запобігання зісковзуванню стрічки та накопиченню матеріалу.

Сушильні установки, які працюють при підвищених температурах, становлять підвищену небезпеку опіків і пожеж. Тому необхідно забезпечити теплоізоляцію гарячих поверхонь, автоматичний контроль температури, а також наявність систем аварійного відключення. Приміщення сушильних відділень повинні бути обладнані ефективною вентиляцією для відведення надлишкового тепла та вологи.

Електробезпека є одним із ключових аспектів охорони праці. Усі електроустановки повинні відповідати вимогам нормативних документів, мати надійне заземлення та захисне відключення. Роботи з обслуговування електрообладнання повинні виконуватися лише кваліфікованим персоналом. Забороняється експлуатація несправного обладнання або використання пошкоджених кабелів.

Важливим фактором є боротьба з виробничим пилом, який може негативно впливати на органи дихання працівників. Для цього необхідно застосовувати аспіраційні системи, які забезпечують видалення пилу з робочої зони. Крім того, слід регулярно проводити прибирання виробничих приміщень.

Рівень шуму на підприємствах може перевищувати допустимі значення, особливо в зоні роботи дробильного та транспортного обладнання. Для зниження шумового навантаження застосовуються шумопоглинаючі матеріали, а працівники забезпечуються засобами індивідуального захисту слуху.

Пожежна безпека є невід'ємною частиною системи охорони праці. На підприємстві повинні бути встановлені засоби пожежогашіння (вогнегасники, пожежні крани), системи сигналізації та евакуації. Персонал повинен бути навчений діям у разі виникнення пожежі.

Таким чином, комплексний підхід до організації охорони праці дозволяє мінімізувати ризики, пов'язані з виробничим процесом, і забезпечити безпечні умови праці на підприємстві.

4.2 Захист навколишнього середовища

Діяльність підприємств із переробки волоських горіхів супроводжується впливом на навколишнє середовище, що зумовлює необхідність впровадження природоохоронних заходів. Основними джерелами негативного впливу є викиди в атмосферу, утворення відходів, споживання енергетичних ресурсів і води.

Одним із основних факторів впливу є викиди забруднюючих речовин у повітря, які виникають під час сушіння горіхів. Використання газових або твердопаливних сушарок призводить до утворення продуктів згоряння, таких як оксиди азоту, вуглекислий газ та інші сполуки. Для зменшення викидів необхідно застосовувати сучасні енергоефективні пальники, системи очищення димових газів, а також оптимізувати режими сушіння.

Іншим важливим аспектом є утворення твердих відходів, до яких належать шкаралупа, залишки околоплідника та пил. Раціональне використання цих відходів дозволяє зменшити їх негативний вплив на довкілля. Наприклад, шкаралупа може використовуватися як паливо або сировина для виробництва активованого вугілля, а органічні відходи можуть застосовуватися як добрива.

Водні ресурси використовуються на етапах миття та очищення горіхів. Стічні води можуть містити органічні домішки, тому перед їх скиданням необхідно забезпечити очищення за допомогою механічних і біологічних методів. Використання замкнених систем водопостачання дозволяє значно зменшити споживання води.

Енергоспоживання є важливим показником екологічної ефективності виробництва. Основна частина енергії витрачається на процес сушіння. Застосування сучасних теплообмінних систем, рекуперації тепла та альтернативних джерел енергії (сонячна енергія, біомаса) дозволяє знизити енерговитрати та зменшити викиди парникових газів.

Особливу увагу слід приділяти шумовому впливу на навколишнє середовище. Для його зниження необхідно встановлювати обладнання з низьким

рівнем шуму, використовувати шумоізоляційні матеріали та дотримуватися санітарно-захисних зон.

Важливим напрямом є впровадження систем екологічного менеджменту, які передбачають контроль за впливом підприємства на довкілля, моніторинг викидів і ресурсоспоживання, а також постійне вдосконалення природоохоронних заходів.

Висновки за розділом

Забезпечення екологічної безпеки підприємства базується на комплексному підході, що включає зменшення викидів, раціональне використання ресурсів, утилізацію відходів і впровадження сучасних технологій. Це дозволяє не лише знизити негативний вплив на навколишнє середовище, але й підвищити економічну ефективність виробництва.

5 ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ НАССР

5.1 Впровадження елементів системи НАССР при переробці горіхів

Система НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Points – аналіз небезпечних факторів і контроль у критичних точках) є міжнародно визнаним підходом до забезпечення безпечності харчової продукції. Її впровадження на підприємствах з переробки волоських горіхів є необхідною умовою для гарантування якості продукції, відповідності вимогам законодавства та підвищення конкурентоспроможності на внутрішньому і зовнішньому ринках.

Технологічний процес переробки волоських горіхів включає низку етапів, на кожному з яких можуть виникати потенційно небезпечні фактори: біологічні (мікроорганізми, пліснява), хімічні (залишки пестицидів, мийних засобів) та фізичні (сторонні домішки – каміння, металеві частки, шкаралупа). Основною метою впровадження системи НАССР є ідентифікація цих небезпек, оцінка ризиків і встановлення ефективних заходів контролю.

Першим етапом впровадження НАССР є формування групи фахівців, які мають знання у сфері технології переробки, якості та безпечності харчових продуктів. Далі проводиться опис продукту, визначення його призначення та побудова блок-схеми технологічного процесу, яка охоплює всі стадії – від приймання сировини до пакування готової продукції.

На основі аналізу технологічного процесу здійснюється ідентифікація небезпечних факторів. Наприклад, на етапі приймання сировини існує ризик надходження горіхів із підвищеною вологістю або заражених мікрофлорою. Під час очищення та лущення можливе потрапляння сторонніх предметів. На стадії сушіння важливим є запобігання розвитку пліснявих грибів, які можуть утворювати мікотоксини. На етапах розколювання та сортування можливе забруднення продукту уламками шкаралупи або металевими частинками обладнання.

Наступним кроком є визначення критичних контрольних точок (ККТ) – етапів процесу, на яких контроль є необхідним для запобігання або усунення небезпек. У технології переробки волоських горіхів до ККТ можуть належати: приймання сировини (контроль вологості та якості), процес сушіння (контроль температури і тривалості), а також етапи очищення та сортування (виявлення сторонніх домішок).

Для кожної ККТ встановлюються критичні межі – допустимі значення параметрів, які не повинні перевищуватися. Наприклад, вологість горіхів після сушіння повинна становити не більше 6–8%, температура сушіння – не перевищувати встановлені значення, щоб уникнути погіршення якості ядра. Контроль цих параметрів здійснюється за допомогою відповідних вимірювальних приладів і автоматизованих систем.

Важливою складовою системи НАССР є розробка процедур моніторингу, які дозволяють своєчасно виявляти відхилення від встановлених норм. Моніторинг може включати регулярні вимірювання вологості, температури, візуальний контроль якості продукції, а також перевірку роботи обладнання. У разі виявлення відхилень необхідно застосовувати коригувальні дії, спрямовані на усунення причин і запобігання повторному виникненню проблеми.

Не менш важливим є ведення документації, яка підтверджує функціонування системи НАССР. До неї належать записи про результати моніторингу, протоколи перевірок, інструкції для персоналу та інші документи. Документування забезпечує простежуваність продукції та дозволяє оцінити ефективність системи.

Впровадження НАССР також передбачає проведення верифікації – перевірки того, що система працює належним чином. Це може включати лабораторні дослідження продукції, аудит виробничих процесів, аналіз скарг споживачів. Регулярна верифікація дозволяє своєчасно виявляти недоліки та вдосконалювати систему.

Особливу роль у забезпеченні ефективності НАССР відіграє підготовка персоналу. Працівники повинні бути обізнані з принципами системи, розуміти

свої обов'язки та відповідальність, а також дотримуватися встановлених процедур. Підвищення кваліфікації персоналу сприяє зниженню ризику помилок і підвищенню загального рівня безпечності виробництва.

Крім того, система НАССР повинна бути інтегрована з іншими програмами передумов, такими як належна виробнича практика (GMP), належна гігієнічна практика (GHP), санітарні заходи та контроль шкідників. Лише комплексний підхід дозволяє досягти високого рівня безпечності продукції.

Висновки за розділом

Впровадження елементів системи НАССР при переробці волоських горіхів є ефективним інструментом управління ризиками, що забезпечує стабільну якість і безпечність продукції. Це сприяє підвищенню довіри споживачів, розширенню ринків збуту та відповідності міжнародним стандартам харчової безпеки.

6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

5.1 Розрахунок економічних показників лінії переробки волоських горіхів

Економічна ефективність проєктованої лінії переробки волоських горіхів визначається на основі оцінки капітальних вкладень, експлуатаційних витрат, собівартості продукції, прибутку та строку окупності. Для розрахунків використано сучасні орієнтовні ціни на енергоносії та обладнання, а також прийняті у попередніх розділах технологічні параметри (продуктивність 1000 кг/год).

Капітальні витрати включають вартість технологічного обладнання, монтажу, транспортних систем, сушильного обладнання та допоміжної інфраструктури. За даними ринку обладнання для агропереробки, вартість основних елементів становить: конвеєрні системи – 200–300 тис. грн; лушпильні машини – 400–600 тис. грн; сушильні установки – 1,2–1,8 млн грн; калібратори та сепаратори – 300–500 тис. грн; машини для розколювання – 400–700 тис. грн; допоміжне обладнання – 300–500 тис. грн.

Таким чином, загальна вартість обладнання:

$$K_{\text{обл}} \approx 3,0\text{--}4,0 \text{ млн грн}$$

З урахуванням монтажу, транспортних витрат і пусконаладжувальних робіт ($\approx 20\%$):

$$K_{\text{заг}} \approx 4,0\text{--}4,8 \text{ млн грн}$$

Отже, загальні капітальні вкладення приймаємо на рівні:

$$K = 4,5 \text{ млн грн}$$

Витрати на електроенергію. Сушіння та механічна обробка є енергоємними процесами. Сумарна встановлена потужність лінії становить приблизно 25–35 кВт.

При роботі 8 год/зміну:

$$E = 30 \cdot 8 = 240 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Вартість електроенергії для промисловості в Україні становить приблизно 4600–6900 грн/МВт·год (тобто 4,6–6,9 грн/кВт·год).

Приймаємо середнє значення 5,5 грн/кВт·год:

$$C_{\text{ел}} = 240 \cdot 5.5 = 1320 \text{ грн/змін}$$

За місяць (22 робочі дні):

$$C_{\text{ел,міс}} = 1320 \cdot 22 = 29040 \text{ грн}$$

Слід зазначити, що в умовах нестабільного енергопостачання використання генераторів може збільшувати вартість електроенергії у 2–2,5 рази, що потрібно враховувати при оцінці ризиків.

Витрати на оплату праці

Для обслуговування лінії необхідно: оператори – 2 особи; робітники – 2 особи; технічний персонал – 1 особа.

Середня заробітна плата – 15 000 грн/міс.

$$C_{\text{зп}} = 5 \cdot 15000 = 75000 \text{ грн/міс}$$

З урахуванням нарахувань ($\approx 22\%$):

$$C_{\text{зп,повн}} = 91500 \text{ грн/міс}$$

Амортизаційні відрахування

Приймаємо строк служби обладнання 10 років:

$$A = 4,5 \text{ млн} / 10 = 450000 \text{ грн/рік}$$

Місячна амортизація:

$$A_{\text{міс}} = 37500 \text{ грн}$$

Витрати на ремонт та обслуговування

Приймаємо 5% від вартості обладнання:

$$C_{\text{рем}} = 0,05 \cdot 4,5 \text{ млн} = 225000 \text{ грн/рік}$$

Місячно:

$$C_{\text{рем,міс}} = 18750 \text{ грн}$$

Загальні експлуатаційні витрати

$$C_{\text{заг}} = C_{\text{ел}} + C_{\text{зп}} + A + C_{\text{рем}}$$

$$C_{\text{заг}} = 29040 + 91500 + 37500 + 18750 = 176790 \text{ грн/міс}$$

Виробнича програма та дохід

Продуктивність:

$$Q_{\text{міс}} = 1000 \cdot 8 \cdot 22 = 176000 \text{ кг сирової сировини}$$

Вихід ядра ($\approx 44\%$):

$$Q_{\text{ядра}} = 176000 \cdot 0.44 = 77440 \text{ кг}$$

Середня ціна ядра волоського горіха (ринкова) – 180–220 грн/кг (приймаємо 200 грн/кг).

$$D = 77440 \cdot 200 = 15,49 \text{ млн грн/міс}$$

Собівартість продукції

$$S = C_{\text{заг}}/Q_{\text{ядра}} = 176790/77440 \approx 2.28 \text{ грн/кг}$$

Очевидно, що основну частину собівартості формує сировина, тому додаємо її вартість (наприклад 80 грн/кг):

$$S_{\text{повн}} = 80 + 2.28 \approx 82.3 \text{ грн/кг}$$

Прибуток

$$P = (Ц - S) \cdot Q$$

$$P = (200 - 82.3) \cdot 77440 = 9,1 \text{ млн грн/міс}$$

Рентабельність виробництва

$$R = P/C_{\text{заг}} \cdot 100\%$$

$$R = 9,1 \cdot 10^6 / 176790 = 51,40\%$$

Високе значення пояснюється тим, що основні витрати – це сировина, яка враховується окремо.

Строк окупності

$$T = K/P$$

$$T = 4,5 \cdot 10^6 / 9,1 \cdot 10^6 \approx 0.5 \text{ року}$$

Тобто строк окупності становить приблизно 6 місяців.

Отримані результати свідчать, що виробництво є високорентабельним. Основні фактори, що впливають на економіку: вартість сировини (ключовий фактор); ціна готового ядра; енергетичні витрати; стабільність електропостачання.

Висновки за розділом

Проведені розрахунки економічних показників лінії переробки волоських горіхів свідчать про доцільність її впровадження та високу ефективність функціонування. Загальні капітальні вкладення в організацію виробництва становлять близько 4,5 млн грн, що включає придбання обладнання, монтаж та пусконаладжувальні роботи.

Сумарні експлуатаційні витрати на місяць оцінюються на рівні 176,79 тис. грн без урахування вартості сировини, при цьому основними складовими витрат є оплата праці, енергоспоживання, амортизація та технічне обслуговування обладнання. Встановлено, що при продуктивності 1000 кг/год та виході ядра 44% місячний обсяг виробництва становить понад 77 т готової продукції.

За умови середньої ринкової ціни 200 грн/кг дохід від реалізації продукції може досягати близько 15,5 млн грн на місяць. Повна собівартість продукції, з урахуванням вартості сировини, становить приблизно 82,3 грн/кг, що забезпечує значний рівень прибутку – понад 9 млн грн на місяць.

Розрахований рівень рентабельності виробництва перевищує 50%, а строк окупності капітальних вкладень становить близько 0,5 року, що є дуже високим показником для агропромислових проєктів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Галузь виробництва та переробки волоських горіхів в Україні має значний потенціал розвитку, попри наявні економічні та структурні труднощі. Основний обсяг продукції формується в господарствах населення, що обмежує рівень механізації, однак зростає роль спеціалізованих підприємств із сучасними технологіями. Переробка перебуває на стадії розвитку та відкриває можливості для отримання продукції з високою доданою вартістю, особливо за рахунок впровадження автоматизованих та енергоефективних рішень. Визначальним етапом є сушіння, яке впливає на якість продукції та потребує вдосконалення через високу енергоємність. Отже, підвищення ефективності галузі пов'язане з розвитком промислового виробництва, модернізацією технологій і впровадженням інновацій, що сприятиме зростанню конкурентоспроможності продукції.

2. У результаті аналізу встановлено, що сучасні лінії переробки волоських горіхів є ефективними автоматизованими комплексами, які забезпечують повний цикл обробки та високу якість продукції при мінімальних втратах. Найбільш критичним етапом є сушіння, що визначає якість ядра та потребує точного контролю вологості. Запропонована система відбору проб із різних зон сушильного бункера забезпечує більш точний і безперервний контроль, зменшує трудомісткість і скорочує час відбору проб утричі. Впровадження вдосконалених методів контролю вологості та сучасних технологічних рішень підвищує ефективність сушіння, знижує енерговитрати та покращує загальну ефективність переробки волоських горіхів.

3. У проєктній частині обґрунтовано створення механізованої лінії переробки волоських горіхів продуктивністю 1000 кг/год (до 16 т/добу). Встановлено, що з 1000 кг сировини отримують 440–450 кг ядра при втратах 8–12%, а під час сушіння видалається близько 185 кг/т вологи. Запропонований комбінований режим 75–65–55 °С скорочує тривалість сушіння на 30–40% і знижує енерговитрати. Узгодження обладнання та потоків забезпечує

безперервність процесу, де критичними є етапи сушіння і розколювання. У результаті досягнуто високої продуктивності, енергоефективності та якості продукції з можливістю подальшої модернізації виробництва.

4. Забезпечення екологічної безпеки підприємства базується на комплексному підході, що включає зменшення викидів, раціональне використання ресурсів, утилізацію відходів і впровадження сучасних технологій. Це дозволяє не лише знизити негативний вплив на навколишнє середовище, але й підвищити економічну ефективність виробництва.

5. Впровадження елементів системи НАССР при переробці волоських горіхів є ефективним інструментом управління ризиками, що забезпечує стабільну якість і безпечність продукції. Це сприяє підвищенню довіри споживачів, розширенню ринків збуту та відповідності міжнародним стандартам харчової безпеки.

6. Проведені розрахунки економічних показників лінії переробки волоських горіхів свідчать про доцільність її впровадження та високу ефективність функціонування. Сумарні експлуатаційні витрати на місяць оцінюються на рівні 176,79 тис. грн без урахування вартості сировини, при цьому основними складовими витрат є оплата праці, енергоспоживання, амортизація та технічне обслуговування обладнання. Встановлено, що при продуктивності 1000 кг/год та виході ядра 44% місячний обсяг виробництва становить понад 77 т готової продукції. За умови середньої ринкової ціни 200 грн/кг дохід від реалізації продукції може досягати близько 15,5 млн грн на місяць. Повна собівартість продукції, з урахуванням вартості сировини, становить приблизно 82,3 грн/кг, що забезпечує значний рівень прибутку – понад 9 млн грн на місяць. Розрахований рівень рентабельності виробництва перевищує 50%, а строк окупності капітальних вкладень становить близько 0,5 року, що є дуже високим показником для агропромислових проєктів.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Бірта Г. О., Бургу Ю. Г., Горячова О. О., Ковальчук Х. І. Сортова ідентифікація та аналіз безпечності волоського горіха. Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. 2019. № 1 (91). С. 81–86. DOI: <http://doi.org/10.37734/2518-7171-2019-1-10>
2. ДСТУ 8900:2019 Горіхи волоські. Технічні умови. Технічний комітет стандартизації «Продукція кондитерська та харчоконцентратна» (ТК 152). Дата початку дії: 01.10.2020.
3. Залигіна Є. В., Подплетня О. А. Скринінгове дослідження противиразкової активності густих екстрактів з незрілих плодів горіха волоського. Фармакологія та лікарська токсикологія. 2016. № 6 (51). С. 47–52.
4. Меженський В. М. Волоський горіх (*Juglans regia* L.). Київ: Видавництво Ліра-К, 2020. 533 с. ISBN 978-617-520-015-5
5. Меженський В. М. Історія і перспективи районування та реєстрації сортів волоського горіха (*Juglans regia* L.). Plant Varieties Studying and Protection. 2018. Т. 14, № 12. С. 137–143. DOI: <http://doi.org/10.21498/2518-1017.14.2.2018.134759>.
6. Омельченко І. К., Гриник І. В. Садівнича наука України: Минуле, сучасність, перспективи. Київ: Преса України. 2012. 527 с.
7. Поперечний А. М., Корнійчук В. Г. Цінність горіхової сировини та передумови до процесів її переробки. Обладнання та технології харчових виробництв. Збірник наукових праць. К.: 2009. Вип. 20. 5 с.
8. Савчук Ю. Ю., Усатюк С. І. Дослідження біологічної цінності напою з ядер волоського горіха. Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького. 2017. Т. 19. № 75. С. 124–128. DOI: <http://doi.org/10.15421/nvlvet7525>
9. Сакун Л. М., Нікітенко Ю. О., Мельничук Б. І. Маркетингові дослідження світового ринку волоського горіх. Електронний науково-практичний журнал «Інфраструктура ринку». 2017. Вип. 14. С. 23–27.

10. Сало І. А. Основні тенденції розвитку ринку горіхів в Україні та світі. Проблеми економіки. 2012. № 4. С. 9–12.
11. Amaral J. S., Casal S., Pereira J. A., Seabra R. M., Oliveira B. P. P. Determination of Sterol and Fatty Acid Compositions, Oxidative Stability, and Nutritional Value of Six Walnut (*Juglans regia* L.) Cultivars Grown in Portugal. *J Agric Food Chem.* 2003. Vol. 51(26) P. 7698–7702. DOI: <http://doi.org/10.1021/jf030451d>.
12. Amaral J. S., Alves M. R., Seabra R. M., Oliveira B. P. P. Vitamin E Composition of Walnuts (*Juglans regia* L.): A 3-Year Comparative Study of Different Cultivars. *J. Agric. Food Chem.* 2005. Vol. 53, 13. P. 5467–5472. DOI: <http://doi.org/10.1021/jf050342u>.
13. Caglarirmak N. Biochemical and physical properties of some walnut genotypes (*Juglans regia* L.). *Food/Nahrung.* 2003. Vol. 47 (1). P. 28–32.
14. California Walnut Objective Measurement Report, USDA-NASS. 2019.
15. Camara C. R. S., Schlegel V. A review on the potential human health benefits of the black walnut: a comparison with the English walnuts and other tree nuts. *International Journal of Food Properties.* 2016. Vol. 19. P. 2175–2189.
16. Chen C. Characteristics and mechanisms of walnut drying under hot air and infrared heating. Dissertation doctor of philosophy in biological systems engineering. University of California. Davis. 2020. 282 p.
17. Chen C., Zhang W., Venkitasamy C., Khir R., McHugh T., Pan Z. Walnut structure and its influence on the hydration and drying characteristics. *Drying Technology.* 2019. Vol. 38:8. P. 975–986. DOI: <http://doi.org/10.1080/07373937.2019.1605610>
18. Fu M., Qu Q., Yang X., Zhang X. Effect of intermittent oven drying on lipid oxidation, fatty acids composition and antioxidant activities of walnut. *LWT Food Sci Technol.* 2016. Vol. 65. P. 1126–1132. DOI: <http://doi.org/10.1016/.2015.10.002>
19. Ghirardello D., Contessa C., Valentini N., Zeppa G., Rolle R., Gerbi V., Botta R. Effect of storage condition on chemical and physical characteristics of hazelnut (*Corylus avellana* L.). *Postharvest Biol Technol.* 2013. Vol. 81. P. 37–43. DOI: <http://doi.org/10.1016/.2013.02.014>

20. Grosso A. L., Asensio C. M., Grosso N., Nepote V. Sensory Quality Preservation of Coated Walnuts. *Journal of Food Science*. 2016. Vol. 82, № 1. P. 185–193. DOI: <http://doi.org/10.1111/1750-3841.13570>
21. Janowicz M., Lenart A. The impact of high pressure and drying processing on internal structure and quality of fruit. *Eur Food Res Technol*. 2018. Vol. 244. P. 1329–1340. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00217-018-3047-y>
22. Khir R., Pan Z., Atungulu G. G., Thompson J. F., Shao D. Size and Moisture Distribution Characteristics of Walnuts and Their Components. *Food Bioprocess Technol*. 2013. Vol. 6. P. 771–782. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11947-011-0717-1>
23. Khir R., Atungulu G. G., Pan Z., Thompson J. F., Zheng X., Moisture-Dependent Color Characteristics of Walnuts. *International Journal of Food Properties*. 2014. Vol. 17. P. 877–890. DOI: <http://doi.org/10.1080/10942912.2012.675610>
24. Kaveh M., Gilandeh Y.A., Chayjan R.A., Taghinezhad E., Mohammadigol R. Mass transfer, physical, and mechanical characteristics of terebinth fruit (*Pistacia atlantica* L.) under convective infrared microwave drying. *Heat Mass Transf*. 2018. Vol. 54. P. 1879–1899. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00231-018-2287-5>
25. Li R., Tsao R. Y., John K. G. Kramer, Marta H. F. Acid Profiles, Tocopherol Contents, and Antioxidant Activities of Heartnut (*Juglans ailanthifolia* Var. *cordiformis*) and Persian Walnut (*Juglans regia* L.). *J. Agric. Food Chem*. 2007. Vol. 55, № 4. P. 1164–1169. DOI: <http://doi.org/10.1021/jf062322d>
26. Rabadan A., Alvarez-Orti M., Pardo J. E., Alvarruiz A. Storage stability and composition changes of three cold-pressed nut oils under refrigeration and room temperature conditions. *Food Chem*. 2018. Vol. 259. P. 31–35. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.098>
27. Sanchez-Gonzalez C., Ciudad C. J., Noe V., Izquierdo-Pulido M. Health benefits of walnut polyphenols: An exploration beyond their lipid profile. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2015. Vol. 57 (16). P. 3373–3383.
28. Turan A., I'slam A. Effect of drying methods on some chemical characteristics of hazelnuts (*Corylus avellana* L.) during storage. *University Journal of*

the Institute of Science and Technology. 2018. Vol. 8, Issue 3. P. 11–19 DOI: <http://doi.org/10.21597/jist.458541>

29. United States Department of Agriculture National Agricultural Statistics Service (USDANASS). California Walnut Objective Measurement Report. 2017.

30. Wang W., Jung J., McGorin R. J., Traber M. G., Leonard G. C., Zhao Y. Investigation of drying conditions on bioactive compounds, lipid oxidation, and enzyme activity of Oregon hazelnuts (*Corylus avellana* L.). LWT Food Sci Technol. 2018. Vol. 90. P. 526–534. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.002>

31. Wongso I. (2021) Drying and quality characteristics of almonds and walnuts with different drying conditions. Thesis master of science in biological systems engineering. University of California. Davis. 112 p

32. Walnut production worldwide in 2021/22, by country <https://www.statista.com/statistics/675974/walnut-production-worldwide-by-ountry/>.

33. Zhang Z., Liao L., Moore J., Wu T., Wang Z. Antioxidant phenolic compounds from walnut kernels (*Juglans regia* L). Food Chemistry. 2009. Vol. 113. P. 160–165.

34. Zhang L., Wang Z., Shi G., Yang H., Wang X., Zhao H., Zhao S. Effects of drying methods on the nutritional aspects, flavor, and processing properties of Chinese chestnuts. J Food Sci Technol. 2018. DOI: <http://doi.org/10.1007/s13197-018-3227-6>