

**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 видобування
олії з насіння кунжуту**

Виконав: здобувач вищої освіти 3 курсу,
групи ХТС-1-23 освітньо-професійної програми
«Харчові технології» зі спеціальності
181 «Харчові технології»

_____ Володимир КВАС

Керівник: _____ Ігор КУДРЯВЦЕВ

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**

Квасу Володимиру Вікторовичу

1. Тема роботи: «Удосконалення технологічної лінії видобування олії з насіння кунжуту».

Керівник роботи: Кудрявцев Ігор Миколайович, доктор філософії, асистент, 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 Проєктна 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	Асистент КУДРЯВЦЕВ Ігор	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 _____ **Володимир КВАС**
(підпис)

Керівник роботи _____ **Ігор КУДРЯВЦЕВ**
(підпис)

РЕФЕРАТ

Тема: «Удосконалення технологічної лінії видобування олії з насіння кунжуту»

Кваліфікаційна робота: 72 сторінки, 12 рисунків, 5 таблиць, 38 літературних джерел.

Об'єкт дослідження – технологічний процес видобування олії з насіння кунжуту.

Предмет дослідження – режими роботи технологічної лінії видобування кунжутної олії (очищення, подрібнення, теплової обробки, пресування та фільтрації).

Метою роботи є підвищення ефективності технологічної лінії видобування олії з насіння кунжуту шляхом оптимізації режимів переробки сировини для забезпечення максимального виходу олії, зниження енергозатрат і покращення якості готової продукції.

У роботі досліджено сучасні напрями використання кунжуту та технології отримання кунжутної олії. Проаналізовано хімічний склад насіння і його харчову та біологічну цінність. Розглянуто основні методи переробки – кам'яний помел, механічне пресування та рафінування, з визначенням їх ефективності. Розроблено технологічну схему виробництва кунжутної олії з використанням гідравлічного преса, обґрунтовано вибір обладнання та режими роботи. Запропоновано раціональне розміщення технологічної лінії. Оцінено питання охорони праці, екологічної безпеки та економічної доцільності виробництва.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: КУНЖУТ, КУНЖУТНА ОЛІЯ, ПЕРЕРОБКА НАСІННЯ, МЕХАНІЧНЕ ПРЕСУВАННЯ, ГІДРАВЛІЧНИЙ ПРЕС, ЕКСТРАКЦІЯ ОЛІЇ, ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА, ХАРЧОВА ЦІННІСТЬ, ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ, ПРОЄКТУВАННЯ ВИРОБНИЦТВА.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	9
1.1 Аналіз світового ринку та напрямів використання кунжуту	9
1.2 Хімічний склад та поживна цінність насіння кунжуту	11
1.3 Лікувально-профілактичні властивості кунжуту та продуктів його переробки.....	14
1.4 Технології переробки насіння кунжуту.....	18
1.5 Використання кунжуту в харчовій промисловості	21
Висновки за розділом	23
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	24
2.1 Технологія отримання кунжутної олії методом кам'яного помелу	24
2.2 Технологія отримання кунжутної олії методом механічного пресування	28
2.3 Звичайне (рафіноване) отримання кунжутної олії	32
Висновки за розділом.....	36
3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	38
3.1 Вихідні дані для проєктування	38
3.2 Технологічний розрахунок виробництва кунжутної олії	42
3.3 Оптимізація параметрів преса для отримання кунжутної олії з розрахунком режимів роботи.....	45
3.4 Розміщення обладнання	49
Висновки за розділом.....	53
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	54
4.1 Охорона праці та питання безпеки	54
4.2 Захист навколишнього середовища	56
Висновки за розділом.....	58
5 ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ НАССР	59
5.1 Впровадження елементів системи НАССР при видобування олії з насіння кунжуту	59

Висновки за розділом.....	61
6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	62
6.1 Розрахунок економічних показників цеху з виробництва кунжутної олії	62
Висновки за розділом.....	64
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	65
БІБЛІОГРАФІЯ	68

ВСТУП

В умовах сучасного розвитку агропромислового комплексу України особливого значення набуває підвищення ефективності переробки сільськогосподарської сировини, зокрема насіння олійних культур. Виробництво рослинних олій є однією з провідних галузей харчової промисловості, що забезпечує населення цінними продуктами харчування, а також формує значну частину експортного потенціалу держави. У зв'язку з цим актуальним є пошук шляхів удосконалення технологічних процесів та обладнання для підвищення виходу готової продукції, зниження енерговитрат і забезпечення високої якості олії.

Однією з перспективних олійних культур є кунжут (*Sesamum indicum* L.), насіння якого характеризується високим вмістом олії (до 50–60 %), значною кількістю біологічно активних речовин, антиоксидантів (сезамін, сезамолін), а також приємними смаковими властивостями. Кунжутна олія широко використовується у харчовій, фармацевтичній та косметичній промисловості, що обумовлює зростання попиту на неї як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках.

Разом з тим, існуючі технологічні лінії видобування олії з насіння кунжуту не завжди забезпечують повне використання потенціалу сировини. Це пов'язано з недосконалістю окремих технологічних операцій, зокрема очищення, подрібнення, теплової обробки та пресування, а також із невідповідністю режимів роботи обладнання фізико-механічним властивостям насіння. У результаті спостерігаються втрати олії у жмиху, підвищене енергоспоживання та зниження якості кінцевого продукту.

Удосконалення технологічної лінії видобування олії з насіння кунжуту передбачає комплексний підхід, що включає оптимізацію технологічних параметрів, модернізацію конструкції обладнання та впровадження енергоефективних рішень. Особливої уваги потребує узгодження режимів роботи обладнання з фізико-механічними характеристиками сировини, що дозволяє

підвищити інтенсивність процесу видобування олії та зменшити технологічні втрати.

Таким чином, тема дипломної роботи, присвячена удосконаленню технологічної лінії видобування олії з насіння кунжуту, є актуальною та має важливе практичне значення для розвитку олійно-жирової галузі.

Метою роботи є підвищення ефективності технологічної лінії видобування олії з насіння кунжуту шляхом оптимізації режимів переробки сировини для забезпечення максимального виходу олії, зниження енергозатрат і покращення якості готової продукції.

Завдання дослідження:

- проаналізувати світовий ринок кунжуту та напрями його використання;
- дослідити хімічний склад і харчову цінність насіння кунжуту;
- проаналізувати сучасні технології отримання кунжутної олії;
- обґрунтувати вибір та розробити технологію виробництва кунжутної олії з використанням гідравлічного преса;
- оцінити техніко-економічну ефективність і безпечність виробництва.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Аналіз світового ринку та напрямів використання кунжуту

Кунжут (*Sesamum indicum* L.) належить до родини Pedaliaceae та вважається однією з найдавніших і найцінніших олійних культур. Завдяки високій якості олії та значному вмісту мікронутрієнтів він поступається за харчовою цінністю лише оливковій олії. Назва «кунжут» походить від грецького *sesamon* і латинського *sesamum*, що історично пов'язано з поняттями «олія» або «рідкий жир». Тривала історія його вирощування, яка налічує понад 3000 років до н.е., зумовила появу символічної назви – «насіння безсмертя». У різних країнах світу кунжут відомий під різними назвами, що відображає його широке географічне поширення та культурну значущість.

Кунжут є однорічною трав'янистою рослиною, яка добре пристосовується до різноманітних кліматичних умов – від тропічних до помірних, характеризується посухостійкістю та невибагливістю до умов вирощування. Основними країнами-виробниками є Індія, Китай, М'янма, Судан та інші держави, що розвиваються. Завдяки своїй адаптивності та відносній простоті агротехнології кунжут є перспективною культурою для диверсифікації сільськогосподарського виробництва.

Світове виробництво кунжуту демонструє стійку тенденцію до зростання. Посівні площі та валові збори культури щороку збільшуються, що обумовлено зростанням попиту на рослинні олії та продукти здорового харчування. Близько 70% світового врожаю кунжуту використовується для виробництва олії та шроту, тоді як решта споживається безпосередньо в харчовій промисловості, кондитерському виробництві та напоях. Провідними виробниками кунжуту залишаються Судан, Індія, М'янма, Танзанія, Нігерія та Китай. За прогнозами, світовий ринок кунжуту й надалі зростатиме, що свідчить про його значний економічний потенціал.

Кунжут справедливо називають «королевою олійних культур», що зумовлено високим вмістом олії (45–65%), її відмінними органолептичними властивостями та значною біологічною цінністю. Кунжутна олія містить велику кількість ненасичених жирних кислот, зокрема олеїнову та лінолеву, а також біологічно активні речовини – токофероли, фітостероли та лігнани (сезамін, сезамолін), які обумовлюють її антиоксидантні, протизапальні та інші корисні властивості.

Останнім часом спостерігається зростання інтересу до використання кунжуту у харчовій, фармацевтичній та косметичній галузях. Насіння кунжуту активно застосовується як інгредієнт функціональних продуктів харчування, а також як сировина для отримання борошна та білкових концентратів. Водночас використання кунжутного білка обмежується його низькою розчинністю у воді та чутливістю до змін рН і сольового середовища, що ускладнює його застосування як емульгатора.

Перспективним напрямом є використання гідролізатів білка кунжуту, які проявляють широкий спектр біологічної активності, зокрема імуномодулюючу, антигіпертензивну, антимікробну та антиоксидантну дію. Це відкриває можливості для їх застосування у виробництві функціональних продуктів, харчових добавок, фармацевтичних препаратів і косметичних засобів.

Незважаючи на значний потенціал кунжуту, існують певні обмеження щодо його ефективного використання. Зокрема, біодоступність біоактивних сполук є недостатньо високою, а взаємодія білків і фенольних сполук потребує подальшого вивчення. Крім того, у процесі переробки утворюється значна кількість побічних продуктів, які часто недостатньо ефективно використовуються, що створює додаткове економічне та екологічне навантаження.

У зв'язку з цим актуальним є пошук нових підходів до підвищення ефективності переробки кунжуту, зокрема шляхом удосконалення технологічних процесів, підвищення біодоступності цінних компонентів та комплексного використання побічної продукції. Це сприятиме розвитку сталих технологій виробництва та підвищенню якості харчових продуктів.

1.2 Хімічний склад та поживна цінність насіння кунжуту

Насіння кунжуту характеризується багатим і різноманітним хімічним складом, що включає вуглеводи, білки, жири, вітаміни, мінеральні речовини, незамінні амінокислоти, жирні кислоти, фітостероли та інші біологічно активні сполуки. Серед фенольних компонентів переважають кверцетин, кемпферол, нарингенін, каваова кислота та лютеїн. Високий вміст фенольних кислот і флавоноїдів, таких як рутин, кверцетин та інші фітосполуки, обумовлює значну антиоксидантну активність кунжуту.

Насіння кунжуту іноді називають «універсальним джерелом поживних речовин», оскільки воно містить значні кількості жиру, білка, клітковини, мінералів і біологічно активних речовин. До складу входять також терпеноїди, сапоніни, алкалоїди, стероїди, дубильні речовини та флавоноїди. Окрім цього, насіння містить специфічні антиоксиданти — сезамін, сезамол, сезамолін, γ -токоферол, а також фосфоліпіди (лецитин, цефалін) і вільні фенольні сполуки.

Оболонка насіння, яка становить близько 17% його маси, багата на клітковину та кальцій (у формі оксалатів). Видалення оболонки призводить до зниження вмісту клітковини та мінеральних речовин, але водночас підвищує частку білка та жиру. Характерний аромат кунжуту обумовлений ефірними оліями, які містять ефіри жирних кислот та антиоксидантні компоненти.

Таблиця 1.1 – Харчовий склад насіння кунжуту (на 100 г продукту)

Складова	Показник	Вміст (на 100 г)
Білки та вуглеводи	Загальний білок	17,1–17,7 г
	Сирий білок (N×6,25)	14,02–27,47 г
	Вуглеводи	8,35–24,17 г
Жири та жирні кислоти	Насичені жирні кислоти	6–8 г
	Мононенасичені жирні кислоти	17,8–18,8 г
	Поліненасичені жирні кислоти	19,7–21,8 г
	Миристинова кислота (14:0)	0,047–0,086 г
	Пальмітинова кислота (16:0)	4,22–4,58 г
	Стеаринова кислота (18:0)	2,08–2,77 г

Складова	Показник	Вміст (на 100 г)
	Олеїнова кислота (18:1, n-9)	18,4–18,6 г
	Лінолева кислота (18:2, n-6)	20,8–21,3 г
	α-ліноленова кислота (18:3, n-3)	0,13–0,25 г
Харчові компоненти	Цукри	3–5 г
	Крохмаль	0,5–4,1 г
	Клітковина	11,7–14,8 г
	Зола	4,46–4,51 г
Мінеральні речовини	Мідь	0,3–0,6 г
	Залізо	0,19–0,22 г
	Магній	0,32–0,33 г
	Марганець	0,32–0,421 г
	Фосфор	0,52–0,71 г
	Калій	0,25–0,26 г
	Натрій	0,11–0,16 г
	Цинк	0,08–0,12 г
Вітаміни	Вітамін E	0,3–0,6 г
	Вітамін B1 (тіамін)	0,2–0,3 г
	Вітамін B2 (рибофлавін)	0,2–0,4 г
	Вітамін B3 (ніацин)	0,4–0,6 г
	Вітамін B5 (пантотенова кислота)	0,2–0,3 г
	Вітамін B6	0,2–0,6 г
	Вітамін B9 (фолати)	0,000085– 0,000092 г

Білки. Білок кунжуту має амінокислотний склад, близький до потреб організму людини. Основними фракціями білків є альбуміни, глобуліни, проламіни та глютеліни, причому найбільшу частку становлять глобуліни. Побічний продукт переробки – кунжутний шрот – містить до 50% білка.

Дослідження показують високу перетравність білка кунжуту (близько 89%), що свідчить про його значну харчову цінність. Це робить його перспективним джерелом білка для збагачення продуктів харчування, особливо в умовах дефіциту білкової їжі.

У складі кунжуту ідентифіковано 19 амінокислот, серед яких: лізин, метіонін, лейцин, валін, триптофан, гліцин, серин та інші, включаючи γ-аміномасляну кислоту (GABA). Встановлено, що темне насіння (зокрема чорне) містить більше білка, ніж світле.

Ліпіди. Кунжут належить до культур із найвищим вмістом олії серед олійних рослин (45–57%). Близько 80% жирів становлять ненасичені жирні кислоти, зокрема олеїнова (18:1) та лінолева (18:2), які є незамінними для організму людини.

Лінолева кислота відіграє важливу роль у регуляції обміну холестерину та підтримці функціонування клітин, тоді як ліноленова кислота сприяє зміцненню імунної системи. Вміст насичених жирних кислот є відносно низьким (до 10%).

Встановлено, що між вмістом білка та олії в насінні кунжуту існує обернена залежність, яка визначається як генетичними особливостями, так і умовами вирощування.

Вітаміни. Кунжут є джерелом широкого спектра вітамінів, серед яких особливе місце займає вітамін Е (токоферол), зокрема γ -токоферол, який має виражену антиоксидантну активність. У чорному кунжуті його вміст може досягати 50 мг/100 г.

Також у насінні присутні вітаміни групи В (тіамін, рибофлавін, ніацин), аскорбінова кислота, фолієва кислота та інші біологічно активні сполуки.

Вуглеводи. Основна частина вуглеводів зосереджена в оболонці насіння і представлена полісахаридами — целюлозою, геміцелюлозою та пектиновими речовинами. Крім того, кунжут містить прості цукри та олігосахариди (глюкоза, фруктоза, рафіноза, стахіоза).

Полісахариди кунжуту мають функціональні властивості, зокрема антиоксидантну та імуномодулюючу дію, а також можуть використовуватися як стабілізатори у харчових продуктах.

Олігосахариди кунжуту проявляють пребіотичні властивості, стимулюючи розвиток корисної мікрофлори кишечника (*Lactobacillus*, *Bifidobacterium*) та пригнічуючи патогенні мікроорганізми.

Мінеральні речовини. Насіння кунжуту містить значну кількість мінералів, серед яких: кальцій, магній, фосфор, калій, залізо, цинк, марганець та натрій. Це робить його важливим компонентом раціону для забезпечення мінерального балансу організму.

Фітохімічний склад. Кунжут містить широкий спектр біологічно активних сполук, зокрема лігнани, поліфеноли, антиоксиданти, ароматичні сполуки та інші органічні речовини. Концентрація цих компонентів залежить від сорту, умов вирощування та способу переробки.

Особливо високий вміст біоактивних речовин спостерігається у гарячо пресованій олії порівняно з рафінованою.

Лігнани та їх біологічна дія. Лігнани є основними біоактивними компонентами кунжуту. До них належать сезамін, сезамол, сезамолін та їх похідні. Вони проявляють потужні антиоксидантні, антибактеріальні та протизапальні властивості.

Сезамін становить близько 50% усіх лігнанів і відіграє важливу роль у регуляції ліпідного обміну, зниженні рівня холестерину та підтримці функції печінки. Сезамол має високу антиоксидантну активність і стабілізує якість олії, тоді як сезамолін здатний перетворюватися на сезамол під час термічної обробки, підсилюючи антиоксидантні властивості продукту.

Дослідження показують, що темні сорти кунжуту (особливо чорний) містять більшу кількість лігнанів порівняно зі світлими, що підвищує їх біологічну цінність.

1.3 Лікувально-профілактичні властивості кунжуту та продуктів його переробки

Насіння кунжуту широко використовують у харчуванні та профілактичній медицині завдяки високому вмісту вітамінів, мінеральних речовин, біологічно активних сполук і поліненасичених жирних кислот. Його споживання пов'язують із численними позитивними ефектами для організму, зокрема покращенням стану серцево-судинної системи, шкіри, травлення та загального обміну речовин. Антиоксидантні компоненти кунжуту сприяють підтриманню гомеостазу та зниженню ризику розвитку хронічних захворювань.



Рисунок 1.1 – Основні лікувально-профілактичні властивості насіння кунжуту

У традиційній і сучасній медицині насіння кунжуту та кунжутну олію застосовують як допоміжний засіб при лікуванні атеросклерозу, артеріальної гіпертензії, порушень функції печінки, запальних процесів, ушкоджень шкіри, а також деяких метаболічних розладів. Кунжутна олія характеризується пом'якшувальними, обволікальними та легкими послаблювальними властивостями, тому використовується у фармацевтичній практиці. Вона також проявляє протизапальну, антибактеріальну, жарознижувальну і захисну дію.

Завдяки високому вмісту ненасичених жирних кислот, γ -токоферолу та лігнанів (сезаміну, сезамоліну, сезамолу), кунжут і продукти його переробки мають антиатерогенний, антигіпертензивний, антитромботичний та потенційно антиожирювальний ефекти. Кунжутна олія сприяє зменшенню подразнення шкіри, полегшує загоєння незначних опіків, може використовуватися як натуральний пом'якшувальний засіб і навіть як природний захист від ультрафіолетового випромінювання. Крім того, вона проявляє виражені антибактеріальні властивості щодо окремих патогенних мікроорганізмів.

Антиоксидантні властивості. Кунжут є цінним джерелом природних антиоксидантів. Основними антиоксидантними компонентами є фенольні сполуки, флавоноїди, γ -токоферол, фітостероли та лігнани. Сезамін, що міститься в насінні кунжуту, здатний знижувати утворення активних форм кисню та

посилювати активність ферментів антиоксидантного захисту, зокрема каталази і супероксиддисмутази. Це сприяє захисту клітин від оксидативного стресу.

Антиоксидантні властивості кунжуту посилюються після термічної обробки, зокрема обсмажування, оскільки при високих температурах частина сезаміну і сезамоліну перетворюється на сезамол, який є ще активнішим антиоксидантом. Завдяки цьому кунжут і кунжутна олія можуть бути перспективними у профілактиці оксидативних ушкоджень клітин і тканин.

Протипухлинні властивості. Біоактивні сполуки кунжуту, насамперед сезамін, виявляють виражені протипухлинні властивості. Їх дія пов'язана з пригніченням проліферації клітин, стимуляцією апоптозу, зменшенням запалення та пригніченням метастазування. Сезамін здатний впливати на регуляцію клітинного циклу, зупиняючи розвиток пухлинних клітин на певних фазах.

Також він може модулювати активність низки сигнальних шляхів, пов'язаних із пухлинним ростом, зменшувати експресію прозапальних цитокінів та пригнічувати ангіогенез. Важливим є й те, що сезамін знижує рівень оксидативного стресу, який розглядається як один із факторів канцерогенезу.

Антигіпертензивна дія та вплив на серцево-судинну систему. Кунжут позитивно впливає на серцево-судинну систему завдяки здатності регулювати жировий і холестериновий обмін. Сезамін сприяє зниженню рівня атерогенних ліпопротеїнів низької та дуже низької щільності, тригліцеридів, а також підвищенню рівня ліпопротеїнів високої щільності, які виконують захисну роль.

Біоактивні компоненти кунжуту можуть пригнічувати синтез жирів у печінці, посилювати їх окиснення та зменшувати інтенсивність перекисного окиснення ліпідів. Кунжутна олія також сприяє зменшенню оксидативного стресу при гіпертензії та чинить кардіопротекторну дію.

Протизапальна дія. Дослідження свідчать, що сезамін проявляє виражену протизапальну активність. Він здатний пригнічувати утворення прозапальних цитокінів, таких як фактор некрозу пухлин α , інтерлейкін-1 та інтерлейкін-6, які відіграють важливу роль у розвитку хронічних запальних процесів.

Метаболіти сезаміну також беруть участь у зниженні інтенсивності запалення, впливаючи на активність макрофагів і ферментів, пов'язаних із запальною відповіддю. Це дає підстави розглядати кунжут як перспективний природний засіб у профілактиці та комплексній терапії запальних захворювань.

Протигрибкові та антибактеріальні властивості. Кунжутна олія має антимікробні властивості, що пояснює її ефективність у лікуванні незначних ушкоджень шкіри та ран. Вона здатна пригнічувати ріст окремих бактерій і грибів, у тому числі деяких збудників шкірних інфекцій.

Встановлено, що кунжутна олія може бути ефективною проти *Staphylococcus aureus*, а також демонструє перспективу як природна основа для створення антибактеріальних і протигрибкових засобів. Це відкриває можливості для її застосування у фармацевтичній та косметичній галузях.

Противиразкові властивості. Експериментальні дослідження показують, що екстракти кунжуту можуть чинити гастропротекторну дію. Вони сприяють зменшенню ушкоджень слизової оболонки шлунка, викликаних стресом, етанолом або деякими лікарськими препаратами.

Такий ефект пояснюється здатністю біоактивних компонентів кунжуту підтримувати цілісність слизового бар'єра і зменшувати оксидативне ушкодження. У зв'язку з цим кунжутна олія може розглядатися як потенційний профілактичний засіб проти виразкових уражень.

Антидіабетичні властивості. Насіння кунжуту виявляє антидіабетичну дію завдяки високому вмісту харчових волокон і здатності впливати на активність ферментів, що беруть участь у метаболізмі вуглеводів. Біоактивні сполуки кунжуту сприяють підвищенню чутливості тканин до інсуліну, покращують засвоєння глюкози м'язовою та жировою тканиною і сповільнюють її всмоктування у кишечнику.

Крім того, кунжут може зменшувати оксидативний стрес і запалення, захищати β -клітини підшлункової залози та позитивно впливати на стан кишкової мікрофлори. У сукупності це сприяє зниженню рівня глюкози натще, глікованого гемоглобіну та покращенню ліпідного профілю у хворих на цукровий діабет.

Вплив на репродуктивну функцію. Окремі дослідження показують, що кунжут і кунжутна олія можуть позитивно впливати на репродуктивне здоров'я. У чоловіків вживання кунжуту пов'язують із покращенням якості сперми, зокрема збільшенням кількості та рухливості сперматозоїдів. Це може бути зумовлено антиоксидантною дією лігнанів, які зменшують ушкодження клітин активними формами кисню.

У жінок біоактивні компоненти кунжуту можуть впливати на гормональний баланс, зокрема на рівень естрогенів, що дає підстави розглядати його як допоміжний засіб у період менопаузи. Проте цей напрям потребує подальших досліджень.

Використання у масажній терапії. Кунжутна олія широко застосовується у масажній практиці. Клінічні спостереження свідчать, що масаж із використанням кунжутної олії може зменшувати біль, зокрема при травмах кінцівок, флебітах та інших локальних запальних станах.

Знеболювальний ефект пояснюється вмістом ненасичених жирних кислот і лігнанів, які мають протизапальну дію та сприяють зниженню інтенсивності больового синдрому.

Захист функцій печінки та нирок. Сезамін проявляє гепатопротекторні та нефропротекторні властивості. Експериментальні дослідження показали, що він знижує рівень прозапальних маркерів, посилює активність антиоксидантних ферментів і гальмує зростання показників, які свідчать про ушкодження печінки та нирок.

Завдяки здатності зменшувати оксидативний стрес, пригнічувати запальні реакції та обмежувати клітинне ушкодження, сезамін може бути ефективним природним засобом для захисту печінки і нирок від токсичних та запальних впливів.

1.4 Технології переробки насіння кунжуту

Різні методи переробки по-різному впливають на вміст і збереження біологічно активних речовин у насінні кунжуту. Дослідження показують, що

термічна обробка, зокрема обсмажування, сприяє підвищенню виходу олії та посиленню її антиоксидантних властивостей. Водночас деякі технологічні операції, такі як лущення та інтенсивне нагрівання, можуть призводити до зменшення вмісту лігнанів і фенольних сполук, які визначають біологічну цінність продукту.

Інші способи обробки – замочування, пропарювання, пророщування, витримка та обробка випромінюванням – також можуть знижувати концентрацію фенольних компонентів і танінів. Таким чином, вибір технології переробки має як позитивний, так і негативний вплив на якість кінцевого продукту. Актуальним є подальше вдосконалення технологічних процесів з метою максимального збереження біоактивних речовин.

Традиційно для переробки кунжуту застосовують механічне пресування, водну екстракцію та екстракцію розчинниками. Сучасні технології включають надкритичну CO₂-екстракцію, мікрохвильову екстракцію та ферментативні методи. Крім того, застосування високого тиску, ультразвуку, теплової обробки та опромінення дозволяє змінювати фізико-хімічні властивості білків і підвищувати ефективність вилучення олії.

Термічна обробка. У виробництві продуктів із кунжуту широко використовуються різні методи теплової обробки: бланшування, варіння, пропарювання, обсмажування та смаження. Теплова дія змінює структуру білків, викликаючи їх денатурацію, перегрупування молекул та утворення нових зв'язків із вуглеводами та ліпідами.

Ці зміни можуть впливати на алергенні властивості кунжуту. Наприклад, короткочасне кип'ятіння може підвищувати антигенність, тоді як мікрохвильова обробка або радіаційне нагрівання, навпаки, сприяють її зниженню. Вплив термічної обробки значною мірою залежить від температури, тривалості та способу нагрівання.

Механічне пресування є одним із найпоширеніших методів отримання кунжутної олії. Воно забезпечує високу якість продукту, відносну простоту технології та економічність процесу.

Оптимізація параметрів пресування (швидкість обертання шнека, діаметр матриці, вологість насіння) дозволяє досягати високого виходу олії. Крім того, олія, отримана методом пресування, характеризується високим вмістом ароматичних і біоактивних компонентів.

Метод водної екстракції дозволяє одночасно вилучати як олію, так і білкові компоненти. Ефективність процесу залежить від значень рН, температури та співвідношення твердої фази до рідини.

Оптимальні умови забезпечують високий ступінь вилучення олії (понад 80%) та отримання білкових продуктів із цінними функціональними властивостями. Додавання поверхнево-активних речовин може підвищувати ефективність екстракції.

Ферментативна екстракція є перспективним методом, що забезпечує високий вихід і якість олії. Використання ферментів (зокрема протеаз) сприяє руйнуванню клітинних структур і полегшує вивільнення олії.

Оптимальні параметри процесу включають контроль температури, рН середовища, концентрації ферментів і тривалості обробки. Даний метод дозволяє підвищити ефективність вилучення олії та зменшити втрати.

Мікрохвильова екстракція ґрунтується на дії електромагнітних хвиль, які викликають нагрівання внутрішніх структур клітин. Це призводить до підвищення тиску всередині клітини, руйнування клітинних стінок і швидкого вивільнення олії та біоактивних компонентів.

Даний метод дозволяє ефективно вилучати сезамін і фенольні сполуки, проте його ефективність залежить від параметрів процесу (потужності, часу обробки, типу розчинника).

Опромінення (зокрема γ -випромінювання) застосовується для модифікації властивостей білків і зниження алергенності продукту. Дослідження показують, що обробка в допустимих дозах незначно впливає на загальні властивості білків, але може змінювати їх імуногенність.

Обробка високим тиском є сучасною технологією, яка впливає на міжмолекулярні взаємодії в білках, спричиняючи їх денатурацію. Це призводить до зміни структури білків і зниження їх алергенності.

Такий метод дозволяє зберігати поживну цінність продукту та водночас покращувати його безпечність.

Надкритична екстракція. Надкритична CO₂-екстракція є високоефективним методом отримання олії, що дозволяє зберегти її біологічну цінність і уникнути окиснення при високих температурах.

Ця технологія забезпечує високий вихід олії (до 95%) та дозволяє отримувати продукт із покращеними фізико-хімічними та антиоксидантними властивостями. Альтернативою є використання скрапленого пропану, що може підвищувати ефективність процесу та зменшувати енергозатрати.

1.5 Використання кунжуту в харчовій промисловості

Кунжут є цінною харчовою та лікарською рослиною, яка поєднує високі смакові властивості з значною харчовою цінністю. Завдяки високому вмісту олії, приємному аромату та стійкості до окиснення, насіння кунжуту широко використовується у харчовій промисловості як інгредієнт різноманітних продуктів.

Кунжут застосовують у виробництві хлібобулочних виробів, кондитерської продукції (печиво, цукерки), соусів, закусок, бургерів, а також як джерело харчової олії. У традиційній кухні багатьох країн, зокрема Китаю, кунжут використовують для приготування паст (тахіні), солодоців, випічки та різноманітних страв із рису та локшини. Його універсальність зумовлює широке застосування у світовій кулінарії, де він покращує смак, аромат і текстуру продуктів.

Очищене (лушпиноване) насіння кунжуту використовується для виготовлення традиційних виробів, таких як халва, ладду та чиккі. Кунжутне борошно застосовується у функціональних продуктах харчування та як джерело

метіоніну для збагачення білкового складу. Білки кунжуту використовуються у виробництві напоїв, паст, соусів, десертів та інших харчових продуктів.

Основним продуктом переробки є кунжутна олія, яка містить лігнани, вітамін Е, фітостероли та незамінні жирні кислоти. Побічним продуктом є кунжутний шрот, який має високу харчову цінність і містить клітковину, амінокислоти та біологічно активні сполуки. Його використання у вигляді порошку дозволяє розширити асортимент харчових продуктів.

Сучасні дослідження спрямовані на створення комбінованих продуктів із використанням кунжуту разом із зерновими, бобовими, горіхами, фруктами та овочами. Це дозволяє підвищити харчову цінність продукції та розширити ринок функціональних продуктів. Наприклад, чорний кунжут активно використовується у виробництві напоїв у поєднанні з соєю, фініками, бататом та іншими інгредієнтами.

Кунжутна олія широко застосовується не лише у харчовій промисловості, але й у косметології та фармацевтиці. Вона використовується як сировина для виробництва мила, кремів та інших косметичних засобів завдяки своїм пом'якшувальним і захисним властивостям.

Також кунжут розглядається як перспективна сировина для виробництва біопалива. Дослідження показують, що шляхом процесу трансестерифікації кунжутна олія може бути ефективно перетворена на біодизель із високими експлуатаційними характеристиками, які відповідають міжнародним стандартам. Це відкриває можливості для використання кунжуту в енергетичному секторі як альтернативного джерела палива.

Крім того, кунжут і продукти його переробки можуть використовуватися у тваринництві як кормова добавка. Завдяки високому вмісту білка та амінокислот (зокрема метіоніну), кунжутний шрот може покращувати ріст тварин, якість продукції та продуктивність, наприклад, молочну продуктивність у кіз або приріст маси у риби.

Фітохімічні сполуки кунжуту також мають значний потенціал для використання у фармацевтичній, нутрицевтичній та косметичній галузях завдяки їх антиоксидантним, протизапальним та антимікробним властивостям.

Алергічні реакції на кунжут частіше зустрічаються у дітей і можуть проявлятися навіть при споживанні незначної кількості продукту. Основними алергенами є білкові та ліпідні компоненти насіння.

Симптоми алергії можуть включати висипання, свербіж, порушення дихання, спазми, діарею та блювання. Встановлено кілька типів алергічних реакцій на кунжут, серед яких IgE-опосередковані реакції, не-IgE реакції, а також специфічні синдроми, пов'язані з ураженням травної системи.

Таким чином, при використанні кунжуту у харчовій промисловості важливо враховувати його потенційну алергенність та забезпечувати належне маркування продукції.

Висновки за розділом

Проведений аналіз показав, що кунжут є цінною олійною культурою з високим вмістом олії, білків, біологічно активних речовин, вітамінів і мінералів, що зумовлює його значний харчовий, лікувально-профілактичний та промисловий потенціал. Встановлено, що світовий ринок кунжуту характеризується стійким зростанням, а основними напрямками його використання є виробництво олії, харчових продуктів, функціональних добавок, косметичних і фармацевтичних засобів. Аналіз сучасних технологій переробки насіння кунжуту свідчить, що найбільш поширеним і доцільним способом одержання олії залишається механічне пресування, однак ефективність процесу значною мірою залежить від параметрів підготовки сировини та режимів обробки. Отже, удосконалення технологічної лінії видобування олії з насіння кунжуту є актуальним завданням, спрямованим на підвищення виходу готової продукції, збереження її якості та раціональне використання побічних продуктів переробки.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Технологія отримання кунжутної олії методом кам'яного помелу

Технологія отримання кунжутної олії методом кам'яного помелу є однією з найдавніших і традиційних у переробці насіння кунжуту (*Sesamum indicum* L.). Вона широко застосовується в країнах Азії, зокрема в Китаї, Індії та Японії, де високо цінується за здатність забезпечувати продукт із вираженим ароматом, насиченим смаком та збереженими біологічно активними компонентами. Незважаючи на розвиток сучасних технологій екстракції та пресування, метод кам'яного помелу зберігає свою актуальність завдяки високій якості отриманої олії.

Сутність та принцип технології. Метод кам'яного помелу базується на поєднанні механічного подрібнення насіння та водної екстракції олії. Основною особливістю цієї технології є використання кам'яних жорен, які забезпечують повільне та рівномірне подрібнення насіння без значного підвищення температури. Це дозволяє мінімізувати термічне руйнування біологічно активних сполук, таких як лігнани (сезамін, сезамолін), токофероли та поліфеноли.

Процес вилучення олії включає формування кунжутної пасти, подальше додавання гарячої води та механічне перемішування, що сприяє відокремленню олійної фази від твердої. Завдяки різниці густини олія поступово відділяється і накопичується у верхньому шарі.

Технологічна схема процесу. Технологічний процес виробництва кунжутної олії методом кам'яного помелу включає такі основні стадії:

– **Очищення та підготовка сировини.** Насіння кунжуту очищають від механічних домішок (пил, каміння, рослинні рештки) за допомогою ситових та аспіраційних установок. Якість очищення є критично важливою, оскільки сторонні домішки можуть негативно впливати на смак олії та зношування обладнання.

– **Промивання насіння.** Після очищення насіння промивається водою для видалення дрібнодисперсних частинок і залишків пилу. Це також сприяє рівномірності подальшої термічної обробки.

– **Термічна обробка (обсмажування).** Обсмажування є ключовим етапом, що визначає ароматичні властивості кінцевого продукту. Процес здійснюється у кілька стадій: початкове випаровування вологи при підвищеній температурі; подальше обсмажування при помірному температурному режимі; доведення насіння до стану повної кулінарної готовності.



Рисунок 2.1 – Технологія отримання кунжутної олії методом кам'яного помелу

Температура обсмажування зазвичай досягає 200–210 °С. Важливо контролювати цей параметр, оскільки перегрів може призвести до утворення гіркого присмаку та деградації корисних компонентів.

– **Охолодження насіння.** Після обсмажування насіння швидко охолоджують шляхом додавання води або розподілу тонким шаром. Це дозволяє стабілізувати структуру та запобігти перегріву.

– **Подрібнення (кам'яний помел).** Охолоджене насіння подрібнюється в кам'яних жорнах до стану однорідної пасти. Особливістю цього процесу є низька швидкість обертання, що забезпечує: мінімальне нагрівання; збереження летких ароматичних сполук; рівномірну текстуру пасти.

– **Додавання гарячої води та перемішування.** До отриманої пасти додається гаряча вода у певному співвідношенні. Суміш інтенсивно перемішується, що сприяє руйнуванню емульсійних зв'язків і відокремленню олії.

– **Відстоювання та розділення фаз.** У процесі відстоювання відбувається розділення суміші на три фази: верхній шар – кунжутна олія; середній шар – емульсія; нижній шар – тверді залишки (шрот).



Рисунок 2.2 – Обладнання для отримання кунжутної олії методом кам'яного помелу

Олію збирають із поверхні та додатково очищають.

– **Фільтрація та очищення.** Отримана олія проходить фільтрацію для видалення механічних домішок. У більшості випадків додаткове рафінування не застосовується, що дозволяє зберегти природний склад продукту.

– **Фізико-хімічні особливості процесу.** Метод кам'яного помелу поєднує механічні та гідромеханічні процеси. Під час подрібнення відбувається руйнування клітинної структури насіння, внаслідок чого вивільняється олія. Додавання води сприяє: зменшенню в'язкості пасти; руйнуванню стабільних емульсій; підвищенню ефективності розділення фаз.

Гідрофобні властивості ліпідів забезпечують їх відокремлення у верхній шар, тоді як білково-вуглеводні комплекси залишаються в нижніх шарах.

Переваги технології. Метод кам'яного помелу має низку важливих переваг:

– **Висока якість олії.** Зберігаються природні антиоксиданти, ароматичні сполуки та вітаміни.

– **Відсутність хімічної обробки.** Не використовуються розчинники, що забезпечує екологічність продукту.

– **Насичений смак і аромат.** Завдяки контрольованій термічній обробці формується характерний горіховий аромат.

– **Низький рівень окиснення.** М'які умови обробки зменшують ризик окислювальних процесів.

Недоліки технології. Разом із перевагами метод має певні обмеження:

– **Низька продуктивність.** Процес є тривалим і трудомістким.

– **Високі витрати праці.** Потребує значної участі оператора.

– **Обмежений вихід олії.** Частина олії залишається у шроті.

– **Складність масштабування.** Технологія важко адаптується до великих промислових обсягів.

Порівняння з сучасними методами. У порівнянні з механічним пресуванням та екстракцією розчинниками, кам'яний помел забезпечує: нижчий вихід олії (на 10–20%); вищу біологічну цінність продукту; кращі органолептичні характеристики.

Сучасні методи орієнтовані на максимізацію продуктивності, тоді як традиційна технологія – на якість.

Перспективи вдосконалення. Сучасні дослідження спрямовані на модернізацію традиційної технології шляхом:

- автоматизації процесу перемішування;
- оптимізації температурних режимів;
- комбінування з м'яким пресуванням;
- використання інноваційних матеріалів для жорен.

Це дозволяє підвищити ефективність виробництва без втрати якості.

2.2 Технологія отримання кунжутної олії методом механічного пресування

Механічне пресування є одним із найпоширеніших і технологічно ефективних методів отримання кунжутної олії з насіння *Sesamum indicum* L.. Даний метод базується на фізичному вилученні олії шляхом прикладання механічного тиску до підготовленої сировини без використання органічних розчинників. Завдяки простоті, екологічності та можливості отримання продукту високої якості, механічне пресування широко застосовується як у малих виробництвах, так і на великих промислових підприємствах.

Сутність та принцип процесу. Суть механічного пресування полягає у руйнуванні клітинної структури насіння кунжуту та витисканні олії під дією тиску. В процесі пресування тверда фаза (макуха або шрот) відокремлюється від рідкої (олії), яка надалі піддається очищенню.

Процес супроводжується складними фізико-механічними явищами, зокрема:

- пластичною деформацією матеріалу;
- руйнуванням клітинних оболонок;
- капілярним переміщенням рідини;
- фільтрацією олії через пористу структуру макухи.

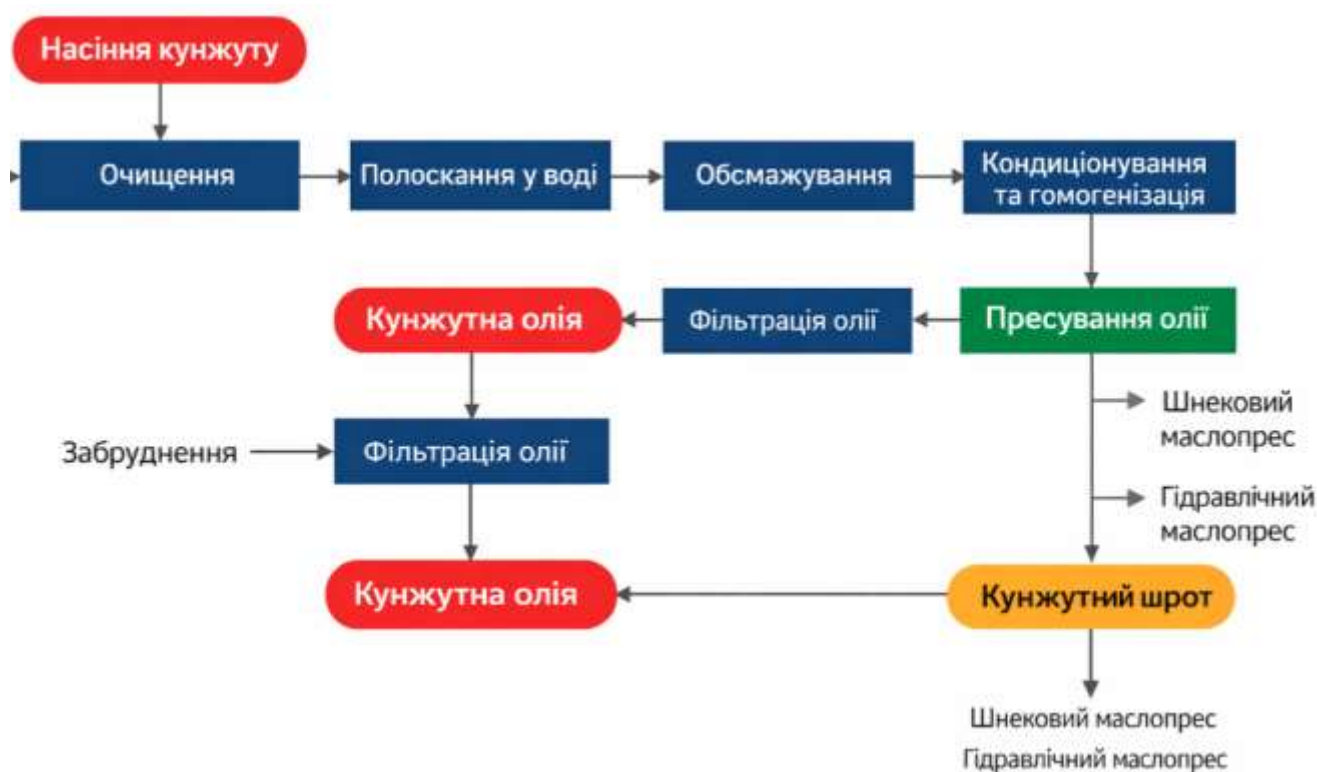


Рисунок 2.3 – Технологія отримання кунжутної олії методом механічного пресування

Ефективність процесу залежить від таких факторів, як вологість насіння, температура, розмір частинок, швидкість пресування та конструкція обладнання.

Класифікація методів механічного пресування. У промисловій практиці застосовують два основні типи пресування кунжутної олії: **шнекове (безперервне) пресування, гідравлічне (періодичне) пресування**

Кожен із методів має свої особливості, переваги та обмеження.

Підготовка сировини до пресування

Перед пресуванням насіння кунжуту проходить ряд підготовчих операцій:

– **Очищення.** Видаляються механічні домішки, пил, металеві частинки. Це запобігає пошкодженню обладнання та покращує якість олії.

– **Сушіння та кондиціонування.** Вологість насіння доводиться до оптимального рівня (зазвичай 6–8%). Надлишкова волога знижує ефективність пресування.

– **Подрібнення (за потреби).** Збільшує площу поверхні та полегшує вихід олії.

– **Термічна обробка (обсмажування).** Один із ключових етапів. Температура обробки становить 150–180 °С. Вона сприяє: руйнуванню клітинних структур; зниженню в'язкості олії; покращенню смакових властивостей.



Рисунок 2.4 – Обладнання для отримання кунжутної олії методом механічного пресування

Недотримання температурного режиму може призвести до втрати якості продукту або зниження виходу олії.

Шнекове пресування кунжутної олії. Шнекові преси є найбільш поширеним типом обладнання для механічного вилучення олії. Вони працюють у безперервному режимі та забезпечують високу продуктивність.

Принцип роботи. Основним робочим органом є шнек, який обертається в циліндричному корпусі. Насіння поступово переміщується вздовж шнека, де піддається зростаючому тиску внаслідок зменшення об'єму камери.

У процесі пресування: відбувається ущільнення матеріалу; зростає внутрішній тиск; олія витискається через щілини корпусу; тверда фаза виходить у вигляді макухи.

Переваги шнекового пресування: безперервність процесу; висока продуктивність; можливість автоматизації; відносно низькі експлуатаційні витрати.

Недоліки: часткове нагрівання продукту; дещо нижча якість олії порівняно з гідравлічним методом; залишковий вміст олії у макусі (5–8%).

Гідравлічне пресування кунжутної олії. Гідравлічне пресування здійснюється за допомогою пресів періодичної дії, де тиск створюється за рахунок гідравлічної системи.

Принцип роботи. Підготовлене та обсмажене насіння завантажується у прес-форму, після чого: створюється високий тиск (до 200 МПа); відбувається повільне витискання олії; олія збирається через спеціальні канали.

Переваги гідравлічного пресування: висока якість олії; мінімальне нагрівання; кращі органолептичні властивості; менший вміст домішок.

Недоліки: періодичний режим роботи; нижча продуктивність; вищі капітальні витрати; складність автоматизації.

Очищення та стабілізація олії. Отримана після пресування олія містить механічні домішки та частинки макухи. Для її очищення застосовують:

- **Фільтрацію** – видалення твердих частинок;
- **Відстоювання** – осадження важких домішок;
- **Центрифугування** – прискорене розділення фаз.

У більшості випадків для харчових цілей застосовується нерафінована олія, що зберігає природні біоактивні компоненти.

Побічні продукти та їх використання. Після пресування утворюється кунжутний шрот, який містить: до 40–50% білка; клітковину; мінеральні речовини. Він використовується: у комбікормовій промисловості; у виробництві харчових добавок; для отримання білкових концентратів.

Перспективи розвитку технології. Сучасні дослідження спрямовані на: підвищення виходу олії; зниження енерговитрат; автоматизацію процесів; поєднання пресування з іншими методами (наприклад, ферментативною обробкою).

Використання інноваційних технологій дозволяє підвищити ефективність виробництва та якість кінцевого продукту.

2.3 Звичайне (рафіноване) отримання кунжутної олії

Звичайна кунжутна олія є одним із найбільш поширених видів продукції переробки кунжуту, що широко використовується у харчовій промисловості, кулінарії та суміжних галузях. На відміну від традиційних способів (каменевого млина або холодного пресування), дана технологія передбачає глибоку промислову переробку насіння, яка включає екстракцію олії органічними розчинниками та подальше рафінування. Це дозволяє отримати стабільний за якістю продукт із заданими фізико-хімічними характеристиками, високим ступенем очищення та тривалим терміном зберігання.

Загальна характеристика процесу. Звичайна кунжутна олія найчастіше виробляється з використанням двох основних підходів:

- екстракція органічними розчинниками (найпоширеніший промисловий метод);
- комбінований метод (попереднє пресування + екстракція залишкової олії).

Сировиною для такого виробництва можуть бути як повноцінні, так і некондиційні насінини кунжуту (пошкоджені, дрібні або зниженої якості), що підвищує економічну ефективність процесу.

Технологічна схема включає дві ключові стадії: отримання сирової олії (екстракція); рафінування (очищення та стабілізація продукту).



Рисунок 2.5 – Звичайне (рафіноване) отримання кунжутної олії

Підготовка сировини. Першим етапом є підготовка насіння кунжуту, яка включає:

- очищення від механічних домішок (пил, каміння, рослинні залишки);
- сушіння до оптимальної вологості (6–8%);
- подрібнення або плющення для руйнування клітинної структури.

На цьому етапі важливо забезпечити максимальне відкриття клітин, що містять олію, оскільки це безпосередньо впливає на ефективність подальшої екстракції.



Рисунок 2.6 – Обладнання для звичайного (рафінованого) отримання кунжутної олії

Екстракція олії розчинниками. Основним промисловим методом отримання звичайної кунжутної олії є екстракція за допомогою органічних розчинників (найчастіше використовується гексан).

Суть процесу полягає у тому, що:

- подрібнена сировина контактує з розчинником;
- олія переходить у рідку фазу (міцела);
- відбувається відокремлення твердої фази (шроту).

Процес включає такі операції:

- екстрагування (перемішування сировини з розчинником);
- фільтрація або відстоювання;
- десольвентація (видалення розчинника шляхом нагрівання).

Перевагами цього методу є:

- високий вихід олії (до 98%);
- ефективне використання сировини; – можливість переробки великих обсягів.

Однак отримана олія містить домішки (фосфоліпіди, вільні жирні кислоти, пігменти), тому потребує подальшого очищення.

Рафінування кунжутної олії. Рафінування є обов'язковим етапом для отримання товарної звичайної кунжутної олії. Воно включає комплекс фізико-хімічних процесів, спрямованих на покращення якості продукту.

Основні стадії рафінування:

– **Гідратація (дегумінг).** На цьому етапі видаляються фосфоліпіди та слизисті речовини шляхом обробки водою або слабкими кислотами. Це покращує прозорість олії та запобігає утворенню осаду.

– **Нейтралізація.** Видалення вільних жирних кислот здійснюється за допомогою лужної обробки (найчастіше NaOH). Утворені мила відокремлюються від олії.

– **Відбілювання.** Застосовується для видалення пігментів (каротиноїдів, хлорофілу) та залишкових домішок. Використовуються адсорбенти (глини, активоване вугілля).

– **Дезодорація.** Проводиться шляхом обробки перегрітою парою під вакуумом. Видаляються леткі сполуки, що формують запах і смак.

У результаті рафінування отримують: прозору олію світло-жовтого кольору; нейтральний смак і запах; підвищену стабільність при зберіганні.

Вплив технології на якість олії. Застосування екстракційно-рафінаційної технології має як переваги, так і недоліки.

Переваги: високий вихід продукту; стабільні фізико-хімічні показники; відсутність сторонніх запахів; придатність для масового виробництва.

Недоліки: часткова втрата біологічно активних речовин (лігнанів, токоферолів); зниження антиоксидантної активності; необхідність складного обладнання.

У порівнянні з нерафінованою олією, звичайна кунжутна олія має нижчу біологічну цінність, але кращі технологічні властивості.

Використання звичайної кунжутної олії. Завдяки нейтральним органолептичним властивостям, звичайна кунжутна олія широко застосовується:

- у кулінарії (смаження, випікання, приготування соусів);
- у харчовій промисловості (маргарини, майонези, кондитерські вироби);

- як компонент сумішей рослинних олій;
- у виробництві функціональних продуктів.

Вона добре витримує термічну обробку та має високу окисну стабільність.

Побічні продукти та їх використання. У процесі виробництва утворюється кунжутний шрот, який є цінним побічним продуктом. Він містить: до 40–50% білка; клітковину; мінеральні речовини.

Шрот використовується: у кормовиробництві; для отримання білкових концентратів; у харчовій промисловості (добавки, борошно).

Це забезпечує комплексне використання сировини та підвищує економічну ефективність виробництва.

Сучасні напрями удосконалення технології. Актуальними напрямками розвитку технології звичайної кунжутної олії є:

- зниження втрат біоактивних компонентів під час рафінування;
- впровадження м'яких методів очищення;
- використання екологічно безпечних розчинників;
- комбінування з ферментативними методами.

Особлива увага приділяється розробці технологій, які дозволяють поєднати високу ефективність екстракції з максимальним збереженням корисних властивостей.

Висновки за розділом

Порівняльний аналіз технологій отримання кунжутної олії показав, що кожен метод має свої переваги та обмеження. Традиційний кам'яний помел забезпечує високу якість і збереження біологічно активних речовин, однак характеризується низькою продуктивністю та складністю масштабування. Екстракційно-рафінаційна технологія, навпаки, є високоефективною та придатною для масового виробництва, але супроводжується зниженням біологічної цінності продукту.

Найбільш оптимальним варіантом є механічне гідравлічне пресування, яке поєднує високу якість олії з відносно прийнятною продуктивністю. Цей метод забезпечує мінімальне термічне навантаження, збереження корисних компонентів, добрі органолептичні властивості та відсутність хімічної обробки.

Таким чином, механічне гідравлічне пресування є найбільш доцільним способом отримання кунжутної олії, оскільки забезпечує оптимальний баланс між якістю продукту та ефективністю виробництва.

3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

3.1 Вихідні дані для проєктування

Проєктування технологічного обладнання для отримання кунжутної олії потребує визначення комплексу вихідних даних, які охоплюють технічні, технологічні, експлуатаційні та економічні параметри. У даному розділі наведено основні положення щодо обґрунтування вибору гідравлічного преса як базового обладнання, а також сформовано сукупність вихідних параметрів для його проєктування та впровадження у виробництво.

Загальна характеристика об'єкта проєктування. Гідравлічний олійний прес є сучасною машиною для вилучення рослинної олії, яка поєднує традиційні принципи механічного віджимання з інноваційними технологічними рішеннями. Основою його роботи є створення високого тиску за допомогою гідравлічної системи, внаслідок чого відбувається ефективне відділення олії від твердої фази насіння.



Рисунок 3.1 – Гідравлічний прес для видобутку олії

Особливістю даного обладнання є відносно простий і надійний конструктивний устрій, що включає такі основні елементи: робочий циліндр, поршень, пресову камеру, гідравлічну станцію, манометр, корпус,

завантажувальний бункер та систему керування. Завдяки механіко-електричній інтеграції забезпечується високий рівень автоматизації процесу.

Процес віджимання олії здійснюється протягом 5–15 хвилин у циклічному режимі, що дозволяє отримувати продукт високої якості без використання хімічних добавок. Важливою перевагою є візуальний контроль процесу, що гарантує його прозорість і безпечність.



Рисунок 3.2 – Олія і макуха з насіння кунжута, отримана гідравлічним пресом

Сировинна база та вимоги до неї. Основною сировиною для проєктованої установки є насіння кунжуту (*Sesamum indicum* L.), яке повинно відповідати певним вимогам:

- вологість 6–8%;
- відсутність сторонніх домішок;
- однорідність за розміром;
- високий вміст олії.

Перед подачею у прес насіння проходить підготовку, яка включає очищення, сушіння та, за потреби, подрібнення. Важливим аспектом є також можливість використання різних видів олійної сировини (льон, гірчиця, мигдаль, кунжут тощо), що розширює функціональні можливості обладнання.



Попередня обробка насіння кунжуту



Завантаження насіння кунжуту в гідравлічний прес для олії



Гідравлічний прес для кунжутної олії в робочому стані



Кунжутна макуха

Рисунок 3.3 – Фото технологічного процесу виробництва кунжутної олії і макухи

Технологічні параметри процесу. Ключовими параметрами, які необхідно враховувати при проектуванні гідравлічного преса, є:

- тиск пресування: до 200–300 МПа;
- тривалість одного циклу: 5–15 хв;
- температура процесу: до 65 °С (холодне пресування);
- вихід олії: 45–47% для кунжуту;
- залишковий вміст олії у макусі: мінімальний.

Холодне пресування є принциповою особливістю процесу, оскільки дозволяє зберегти біологічно активні речовини, уникнути утворення трансжирів та забезпечити високу харчову цінність продукту.

Основні технічні характеристики обладнання. Для проектування доцільно використовувати типові моделі гідравлічних пресів, параметри яких можуть бути прийняті як базові. Зокрема:

- продуктивність за цикл: 8–20 кг;
- діаметр пресової камери: 190–270 мм;
- робочий тиск: 170–343 т;
- потужність електродвигуна: 1,5–2,2 кВт;
- габаритні розміри: близько 1000–1250 мм по довжині;
- маса: 1,0–1,7 т.

Вибір конкретної моделі визначається необхідною продуктивністю та масштабом виробництва.

Конструктивні та експлуатаційні вимоги. При проектуванні необхідно враховувати такі вимоги:

- забезпечення рівномірного розподілу тиску в робочій камері;
- мінімізація втрат олії;
- зниження зношування деталей;
- простота обслуговування та ремонту;
- безпечність експлуатації;
- можливість автоматизації процесу.

Конструкція повинна передбачати використання зносостійких матеріалів, антикорозійного покриття та герметичних з'єднань.

Переваги гідравлічного преса як базового рішення

Вибір гідравлічного преса для проектування обґрунтовується його суттєвими перевагами:

- високий вихід олії;
- відмінна якість продукту;
- відсутність хімічної обробки;
- стабільність технологічного процесу;
- універсальність використання;
- низькі експлуатаційні витрати.

Порівняно з шнековими пресами та кам'яними жорнами, гідравлічний прес забезпечує більш рівномірний тиск, що сприяє ефективнішому вилученню олії.

Організаційно-економічні передумови. До вихідних даних також належать економічні показники:

- низькі витрати на обслуговування;
- швидка окупність обладнання;
- можливість роботи одним оператором;
- компактність виробничої лінії.

Це робить гідравлічні преси доцільними як для малих підприємств, так і для фермерських господарств.

Висновкові положення для проєктування. Таким чином, сукупність наведених вихідних даних свідчить про доцільність використання гідравлічного олійного преса як основного технологічного обладнання для отримання кунжутної олії. Його конструктивна простота, висока ефективність, універсальність та здатність забезпечувати продукцію високої якості визначають напрям подальшого проєктування та оптимізації технологічного процесу.

Отримані вихідні дані є базою для розробки конструктивної схеми обладнання, вибору параметрів робочих органів, розрахунку навантажень і обґрунтування режимів роботи преса.

3.2 Технологічний розрахунок виробництва кунжутної олії

Розрахунок матеріального балансу. Матеріальний баланс характеризує розподіл маси сировини між готовою продукцією, побічними продуктами та втратами.

1. Очищення сировини

$$G_{\text{оч}} = 1000 \cdot 0,98 = 980 \text{ кг}$$

2. Теоретичний вміст олії

$$G_{\text{ол.теор}} = 980 \cdot 0,5 = 490 \text{ кг}$$

3. Фактичний вихід олії

$$G_{\text{ол}} = 490 \cdot 0,92 = 450,8 \text{ кг}$$

4. Вихід макухи

$$G_{\text{мак}} = 980 - 450,8 = 529,2 \text{ кг}$$

Таблиця 3.1 – Матеріальний баланс виробництва

Показник	Значення, кг	Частка, %
Сировина	1000	100
Очищене насіння	980	98
Олія	450,8	45,1
Макуха	529,2	52,9
Втрати	20	2

Отримані результати підтверджують високу ефективність гідравлічного пресування.

Розрахунок продуктивності лінії. Гідравлічний прес працює у циклічному режимі, що впливає на загальну продуктивність.

Кількість циклів за годину

$$n = 60/10 = 6$$

Продуктивність одного преса

$$Q = 10 \cdot 6 = 60 \text{ кг/год}$$

Добова продуктивність одного преса

$$Q_{\text{доб}} = 60 \cdot 8 = 480 \text{ кг}$$

Кількість пресів

$$N = 1000/480 \approx 2,1$$

Приймаємо 3 преси.

Таблиця 3.2 – Розрахунок кількості пресів

Показник	Значення
Продуктивність одного преса, кг/год	60
Добова продуктивність, кг	1000
Необхідна кількість пресів	3

Розрахунок енергетичних витрат. Гідравлічні преси мають низьке енергоспоживання, що є важливою перевагою.

$$P_{\text{заг}} = 1,5 \cdot 3 = 4,5 \text{ кВт}$$

Таблиця 3.3 – Енергоспоживання

Показник	Значення
Потужність одного преса	1,5 кВт
Кількість пресів	3
Загальна потужність	4,5 кВт
Добове споживання	36 кВт·год

Розрахунок ефективності вилучення олії

$$\eta = 450,8/1000 = 45,1\%$$

Цей показник відповідає сучасним технологічним стандартам.

Опис технологічного процесу. Технологічна лінія функціонує за наступною схемою: очищення → сушіння → підготовка → пресування → фільтрація → зберігання.

Особливістю процесу є рівномірний тиск у робочій камері, що забезпечує ефективне руйнування клітинної структури насіння. Це дозволяє отримати більший вихід олії порівняно з альтернативними методами.

Відсутність високих температур сприяє збереженню біологічно активних речовин. Крім того, процес є екологічно чистим і не потребує застосування розчинників.

Розрахунок площі виробництва. Орієнтовна площа:

- 1 прес – 4 м²;
- 3 преси – 12 м²;
- допоміжне обладнання – 25–30 м²;

$$S_{\text{заг}} \approx 40\text{--}45 \text{ м}^2$$

Використання побічних продуктів. Макуха є важливим побічним продуктом і використовується:

- у кормовиробництві;

- у харчовій промисловості;
- для отримання білкових концентратів.

Це підвищує економічну ефективність виробництва.

Узагальнений аналіз технології. Гідравлічне пресування забезпечує:

- високу якість олії;
- стабільність процесу;
- низькі енерговитрати;
- простоту обслуговування.

На відміну від шнекових пресів, воно забезпечує рівномірний тиск і вищий вихід олії.

3.3 Оптимізація параметрів преса для отримання кунжутної олії з розрахунком режимів роботи

Оптимізація параметрів гідравлічного преса є одним із найважливіших етапів проєктування технологічної лінії виробництва кунжутної олії, оскільки саме від правильно підібраних режимів роботи залежить не лише вихід готового продукту, але й його якість, енергоефективність процесу та довговічність обладнання. У попередніх підрозділах було обґрунтовано доцільність використання гідравлічного преса, а також визначено вихідні параметри для розрахунку. У даному підрозділі здійснюється поглиблений аналіз та розрахунок оптимальних режимів роботи преса з урахуванням фізико-механічних властивостей сировини та особливостей процесу холодного пресування.

Процес гідравлічного пресування кунжутного насіння є складним багатофакторним процесом, який включає руйнування клітинної структури, фільтрацію рідкої фази через пористе середовище та ущільнення твердої фази. На кожному етапі на процес впливають різні фактори, що потребує комплексного підходу до оптимізації. Особливістю кунжутного насіння є високий вміст олії (до 50%), а також наявність природних антиоксидантів, які необхідно зберегти під час

обробки. Саме тому вибір параметрів повинен забезпечувати м'який режим обробки без перегріву.

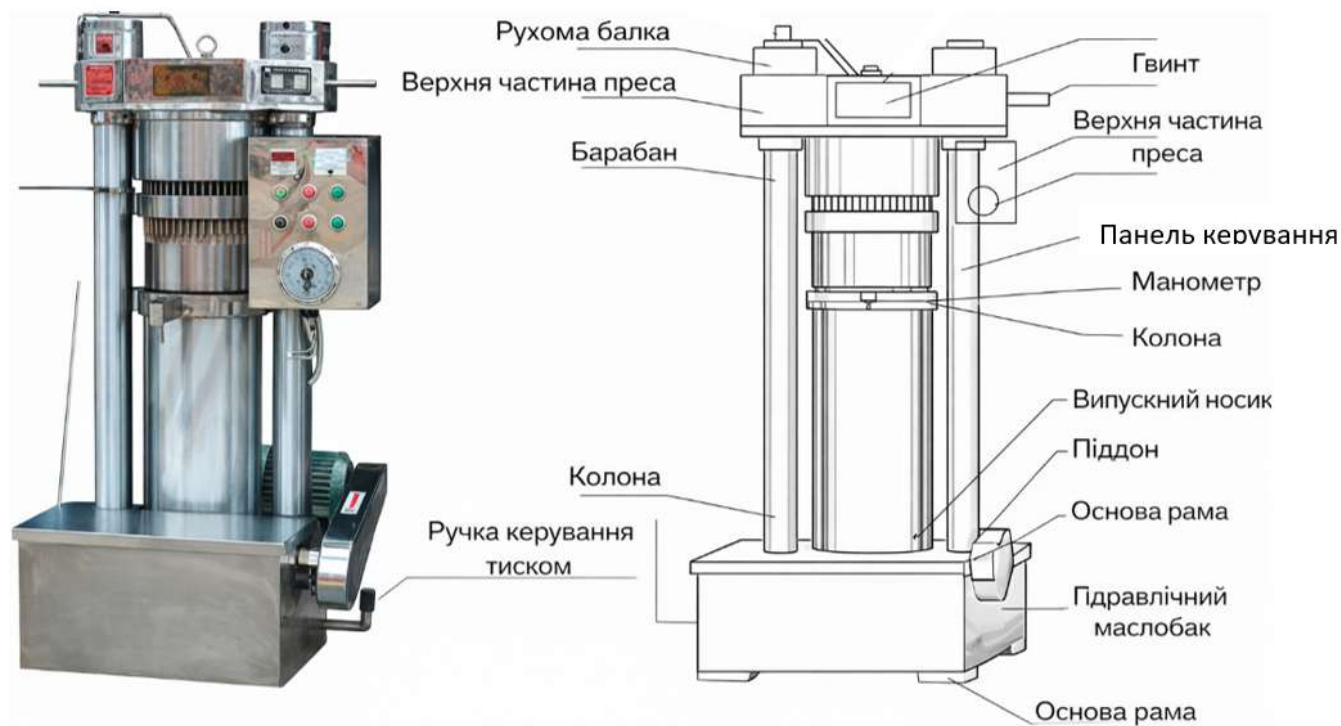


Рисунок 3.4 – Загальний вигляд і схема преса для отримання кунжутної олії

Одним із ключових параметрів є тиск пресування, який визначає інтенсивність механічного впливу на сировину. Для забезпечення ефективного вилучення олії необхідно створити достатній тиск для руйнування клітинних оболонок, але при цьому уникнути надмірного ущільнення шару, що може ускладнити відтік олії. Виходячи з конструктивних характеристик преса, розрахуємо необхідну силу пресування.

Площа поршня визначається за формулою:

$$A = \pi D^2 / 4$$

При діаметрі камери 0,22 м: $A = 0,038 \text{ м}^2$.

Для створення оптимального тиску 250 МПа сила пресування становить:

$$F = P \cdot A = 250 \cdot 10^6 \cdot 0,038 = 9,5 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Отримане значення свідчить про необхідність використання потужної гідравлічної системи, здатної забезпечити стабільний тиск у межах усього циклу пресування. Важливо зазначити, що рівномірність розподілу тиску є не менш важливою, ніж його величина, оскільки нерівномірний тиск призводить до нерівномірного вилучення олії та підвищення залишкового її вмісту у макусі.

Продуктивність преса визначається тривалістю циклу та масою завантаження. При завантаженні 10 кг і тривалості циклу 10 хвилин продуктивність становить:

$$Q = 60 \text{ кг/год.}$$

Однак важливо враховувати, що продуктивність не є сталим параметром і може змінюватися залежно від властивостей сировини та режимів роботи. Наприклад, збільшення тривалості пресування може підвищити вихід олії, але водночас знизити загальну продуктивність лінії. Тому оптимізація повинна враховувати компроміс між кількістю та якістю продукції.

Розрахунок виходу олії показує, що при вмісті олії 50% і коефіцієнті вилучення 0,92 можна отримати:

$$G_{\text{ол}} = G_{\text{сир}} \cdot \omega \cdot \eta = 1000 \cdot 0,5 \cdot 0,92 = 460 \text{ кг/добу.}$$

Це відповідає технологічним показникам гідравлічного пресування і підтверджує його ефективність у порівнянні з іншими методами. При цьому важливо мінімізувати залишковий вміст олії у макусі, що досягається шляхом оптимізації тиску та тривалості процесу.

Швидкість руху поршня є важливим параметром, що визначає динаміку процесу пресування. Вона розраховується як відношення ходу поршня до часу:

$$v = h/t = 0,3/600 = 0,0005 \text{ м/с.}$$

Низька швидкість пресування є характерною для гідравлічних пресів і забезпечує плавне ущільнення матеріалу, що сприяє кращому відділенню олії. Збільшення швидкості може призвести до нерівномірного розподілу тиску та зниження ефективності процесу.

Потужність преса визначається добутком сили та швидкості:

$$N = F \cdot v / \eta_{\text{мех}} = 9,5 \cdot 0,0005 / 0,85 = 5,6 \text{ кВт.}$$

Цей показник є важливим для оцінки енергетичних витрат процесу. Відносно невисока потужність при високій ефективності вилучення олії свідчить про енергоефективність гідравлічного пресування.

Питомі енерговитрати становлять:

$$e = N \cdot t / G = 5,6 \cdot 1 / 60 = 0,093 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{кг}.$$

Це є низьким значенням порівняно з іншими методами, що підтверджує економічну доцільність використання гідравлічних пресів.

Окрему увагу слід приділити впливу вологості сировини. Вологість визначає пластичність матеріалу та його здатність до ущільнення. При оптимальній вологості 6–8% створюються умови для ефективного пресування без утворення емульсій. Відхилення від цього діапазону призводить до зниження виходу олії та погіршення якості продукту.

Температурний режим також є важливим фактором. Підтримання температури в межах 55–60°C дозволяє знизити в'язкість олії та покращити її відтік, не порушуючи при цьому структуру біологічно активних речовин. Це особливо важливо для кунжутної олії, яка цінується саме за свої корисні властивості.

Комплексна оптимізація параметрів дозволяє сформувати раціональний режим роботи, який наведений в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Оптимальні режими роботи

Параметр	Значення
Тиск	250 МПа
Сила	9,5 МН
Час	10 хв
Температура	55–60 °C
Вологість	6–8%
Потужність	5,6 кВт
Швидкість пресування	0,0005 м/с

Застосування таких параметрів забезпечує стабільну роботу обладнання, високий вихід олії та мінімальні втрати. Крім того, оптимізація сприяє зниженню зношування обладнання, оскільки виключає перевантаження та роботу в екстремальних режимах.

Важливим аспектом є також можливість автоматизації процесу. Використання сучасних систем контролю дозволяє підтримувати параметри на заданому рівні, що забезпечує стабільність якості продукції та підвищує ефективність виробництва.

Таким чином, проведений розрахунок і аналіз показують, що оптимізація параметрів гідравлічного преса є ключовим фактором ефективного виробництва кунжутної олії. Раціонально підібрані режими роботи дозволяють досягти максимального виходу продукту при збереженні його високої якості та мінімальних енерговитратах, що підтверджує доцільність використання гідравлічного пресування у сучасних умовах.

3.4 Розміщення обладнання

Організація виробничого процесу отримання кунжутної олії із застосуванням гідравлічного преса передбачає не лише правильний вибір технологічного обладнання, але й його раціональне просторове розміщення, узгодження режимів роботи та забезпечення стабільності технологічних параметрів. Від цього залежить ефективність вилучення олії, якість готової продукції, енергоємність процесу та безпека виробництва.

Гідравлічне пресування належить до періодичних або напівперіодичних способів отримання олії, що обумовлює специфічні вимоги до організації робочого простору та режимів функціонування обладнання.

Загальні принципи розміщення обладнання. Розміщення обладнання здійснюється за принципом **послідовного технологічного потоку**, що забезпечує мінімальні втрати часу та ресурсів при транспортуванні сировини між

операціями. Враховуючи періодичний характер роботи гідравлічного преса, доцільно передбачати буферні зони накопичення сировини та напівфабрикатів.

Основні принципи організації:

- забезпечення прямолінійності руху сировини;
- мінімізація ручних операцій;
- поділ «чистих» і «брудних» зон;
- ергономічність обслуговування;
- можливість швидкого доступу до вузлів обладнання;
- дотримання санітарно-гігієнічних норм.

Технологічна лінія формується таким чином, щоб кожна наступна операція логічно продовжувала попередню без перехресних потоків.

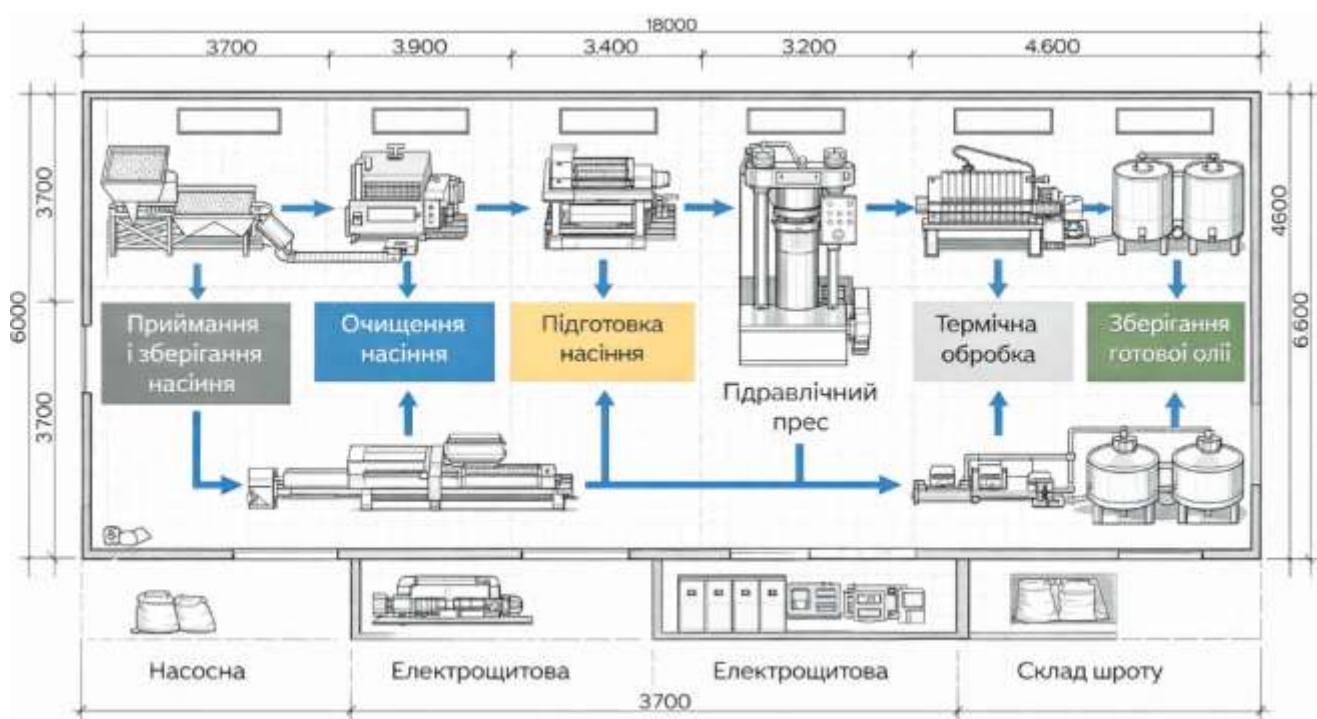


Рисунок 3.5 – Розміщення обладнання для отримання кунжутної олії

Структура виробничої дільниці. Виробнича дільниця отримання кунжутної олії з використанням гідравлічного преса включає такі функціональні зони:

- зона приймання та зберігання сировини;

- зона очищення та підготовки насіння;
- зона термічної обробки;
- пресове відділення;
- зона фільтрації та відстоювання олії;
- зона зберігання готової продукції;
- допоміжні приміщення (насосна, електрощитова, склад шроту).

Кожна зона повинна бути чітко відокремлена, але водночас інтегрована в єдину технологічну схему.

Розміщення основного обладнання. Вузол очищення. На початковому етапі встановлюється обладнання для очищення насіння: повітряно-ситові сепаратори; магнітні уловлювачі; аспіраційні системи.

Очищення розміщується на початку лінії, поблизу складу сировини, що дозволяє зменшити потрапляння домішок у подальші технологічні процеси.

Вузол підготовки насіння. До цього вузла входять: сушильні установки; плющильні вальці; дозатори.

Обладнання розташовується після очищення з урахуванням безперервної подачі сировини. Важливо забезпечити стабільність вологості та однорідність частинок.

Термічна обробка. Жаровні або обсмажувачі встановлюються перед пресом. Їх розміщення повинно забезпечувати: короткий час транспортування до преса; мінімальні втрати температури; можливість регулювання температурного режиму.

Для цього жаровню розміщують максимально близько до пресового обладнання.

Пресове відділення (гідравлічний прес). Гідравлічний прес є центральним елементом лінії. Його розміщення повинно враховувати: достатній простір для завантаження та вивантаження; доступ до системи керування; наявність зони збору олії; безпечну експлуатацію під високим тиском.

Прес встановлюється на міцній фундаментній основі, що забезпечує стійкість і гасіння вібрацій.

Поряд із пресом розміщуються: приймальні лотки для олії; ємності для збору шроту; гідравлічна станція.

Вузол фільтрації. Фільтраційне обладнання встановлюється безпосередньо після преса. Це можуть бути: фільтр-преси; відстійники; центрифуги.

Важливо забезпечити самоплив олії або мінімальну довжину трубопроводів.

Зона зберігання олії. Резервуари для зберігання олії розміщуються в окремій зоні з контролем температури та доступом до систем очищення.

Організація транспортних потоків. Для переміщення сировини та продуктів використовуються: шнекові транспортери; норії; стрічкові конвеєри; трубопроводи.

Рух матеріалів має бути: безперервним; мінімально енергоємним; без втрат якості продукту.

Узгодження режимів роботи обладнання. Для забезпечення стабільності виробництва необхідно узгодити роботу всіх вузлів:

- підготовка сировини повинна відповідати продуктивності преса;
- термічна обробка – синхронізована з циклом пресування;
- фільтрація – без затримок у відведенні олії.

Використання буферних ємностей дозволяє компенсувати нерівномірність процесів.

Енергоефективність та оптимізація роботи. Підвищення ефективності досягається за рахунок:

- теплоутилізації (використання тепла жаровні);
- оптимізації циклів пресування;
- автоматизації процесів;
- використання частотного регулювання двигунів.

Перспективи вдосконалення. Сучасні тенденції розвитку передбачають:

- автоматизацію пресових процесів;
- використання інтелектуальних систем керування;
- інтеграцію з цифровими платформами;
- підвищення екологічності виробництва.

Висновки за розділом

На основі проведеного аналізу технологічного процесу виробництва кунжутної олії встановлено, що застосування гідравлічного преса є технічно обґрунтованим і ефективним рішенням для отримання високоякісного продукту. Рациональне поєднання підготовчих операцій, оптимальних режимів пресування та продуманого розміщення обладнання забезпечує стабільність виробничого процесу, високий вихід олії та мінімальні втрати сировини. Визначені параметри роботи преса (тиск, температура, тривалість циклу та вологість насіння) дозволяють зберегти біологічно активні речовини та підвищити харчову цінність кінцевого продукту.

Організація виробничого простору за принципом безперервного технологічного потоку сприяє підвищенню продуктивності, зниженню енерговитрат і покращенню умов експлуатації обладнання. Використання побічних продуктів, зокрема макухи, додатково підвищує економічну ефективність виробництва.

Таким чином, запропонована технологічна схема та параметри роботи обладнання забезпечують комплексний підхід до виробництва кунжутної олії, поєднуючи високу якість продукції, енергоефективність і економічну доцільність, що підтверджує перспективність впровадження гідравлічного пресування у сучасних умовах.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Охорона праці та питання безпеки

Організація безпечних умов праці при виробництві кунжутної олії є одним із ключових факторів ефективного функціонування підприємства, оскільки технологічний процес включає механічні, теплові та гідравлічні операції, що можуть становити потенційну небезпеку для персоналу. Виробництво, ґрунтоване на використанні гідравлічних пресів, транспортного обладнання, систем очищення та термічної обробки насіння, потребує комплексного підходу до забезпечення охорони праці, який включає технічні, організаційні та санітарно-гігієнічні заходи.

Основними небезпечними і шкідливими виробничими факторами у процесі отримання кунжутної олії є: рухомі частини машин і механізмів, підвищений тиск у гідравлічних системах, підвищена температура обладнання, пил органічного походження, шум, вібрації, а також можливість контакту з гарячими поверхнями і продуктами переробки. Особливу увагу необхідно приділяти роботі з гідравлічним пресом, де створюється високий тиск (до сотень мегапаскалів), що при порушенні правил експлуатації може призвести до аварійних ситуацій.

З метою забезпечення безпеки виробничого процесу всі машини повинні відповідати вимогам технічних регламентів і стандартів безпеки. Конструкція обладнання має передбачати наявність захисних кожухів, блокувальних пристроїв, аварійних вимикачів та систем сигналізації. Рухомі частини транспортерів, шнеків і пресів повинні бути закриті огороженнями, що виключають можливість випадкового контакту з ними.

Важливим аспектом є правильна організація робочих місць. Вони повинні бути ергономічними, добре освітленими та забезпечувати зручний доступ до органів керування. Рівень освітлення має відповідати нормативним вимогам, що забезпечує точність виконання операцій та знижує ризик травматизму. Освітлення може бути як природним, так і штучним, із застосуванням світильників із захисними плафонами.

Особливу увагу необхідно приділяти санітарно-гігієнічним умовам праці. У виробничих приміщеннях повинні підтримуватися оптимальні параметри мікроклімату: температура, вологість і швидкість руху повітря. При роботі з термічним обладнанням можливе підвищення температури повітря, тому необхідно передбачати ефективну вентиляцію. Вентиляційні системи повинні забезпечувати видалення пилу, парів і надлишкового тепла, створюючи комфортні умови для персоналу.

Організація вентиляції передбачає застосування як загальнообмінної, так і місцевої витяжної вентиляції. Місцеві відсмоктувачі встановлюються в місцях утворення пилу (очищення насіння, транспортування) та парів (термічна обробка). Це дозволяє знизити концентрацію шкідливих речовин у повітрі робочої зони.

Шум і вібрація, що виникають під час роботи обладнання, можуть негативно впливати на здоров'я працівників. Для їх зниження застосовуються амортизаційні основи, шумоізоляційні матеріали та технічне обслуговування обладнання. Рівень шуму не повинен перевищувати допустимих норм, а у разі необхідності працівники забезпечуються засобами індивідуального захисту (навушники, вкладиші).

Електробезпека є ще одним важливим аспектом охорони праці. Усі електроустановки повинні бути заземлені, а електрощитові – обладнані захисними пристроями. Проведення профілактичних оглядів електрообладнання дозволяє запобігти аварійним ситуаціям. Доступ до електрощитових повинен мати лише кваліфікований персонал.

Для забезпечення безпеки працівників важливе значення має використання засобів індивідуального захисту. До них належать: спецодяг, захисне взуття, рукавиці, окуляри, респіратори. Використання цих засобів є обов'язковим при виконанні робіт із підвищеною небезпекою.

Організаційні заходи охорони праці включають проведення інструктажів, навчання персоналу, перевірку знань правил безпеки та медичні огляди працівників. Вступний інструктаж проводиться для всіх нових працівників, а також періодичні інструктажі – для підтримання рівня знань і навичок.

Особлива увага приділяється пожежній безпеці, оскільки насіння та продукти його переробки є горючими матеріалами. У виробничих приміщеннях повинні бути встановлені первинні засоби пожежогасіння: вогнегасники, пожежні крани, системи сигналізації. Забороняється використання відкритого вогню та куріння у виробничих зонах.

З метою запобігання аваріям розробляються плани евакуації, які повинні бути розміщені на видимих місцях. Працівники повинні бути ознайомлені з діями у разі виникнення аварійної ситуації.

Таким чином, комплекс заходів з охорони праці забезпечує безпечні умови роботи, знижує ризик виробничого травматизму та сприяє підвищенню ефективності виробництва кунжутної олії.

4.2 Захист навколишнього середовища

Виробництво кунжутної олії, незважаючи на свою відносну екологічність порівняно з хімічними методами переробки, також має певний вплив на навколишнє середовище. Тому важливим завданням є мінімізація цього впливу шляхом впровадження сучасних природоохоронних технологій і раціонального використання ресурсів.

Основними джерелами впливу на довкілля є: пилові викиди при очищенні насіння, відходи виробництва (макуха, домішки), стічні води після миття обладнання, а також теплові та шумові впливи. Комплексний підхід до екологічної безпеки передбачає зменшення викидів, утилізацію відходів і повторне використання ресурсів.

Пилові викиди утворюються під час очищення та транспортування насіння. Для їх зниження застосовуються аспіраційні системи з фільтрами, які затримують тверді частинки і очищують повітря перед його викидом у атмосферу. Це дозволяє значно зменшити забруднення повітря та покращити умови праці.

Важливим напрямом є раціональне використання побічних продуктів. Макуха, що утворюється після пресування, є цінним продуктом і використовується у

кормовиробництві або для отримання білкових концентратів. Це дозволяє не лише зменшити кількість відходів, але й підвищити економічну ефективність виробництва.

Стічні води, що утворюються під час миття обладнання, повинні проходити очищення перед скиданням у каналізацію. Для цього використовуються механічні, фізико-хімічні та біологічні методи очищення. Очищення води дозволяє знизити вміст органічних речовин і запобігти забрудненню водних ресурсів.

Енергозбереження є важливим елементом екологічної політики підприємства. Використання енергоефективного обладнання, оптимізація режимів роботи та впровадження систем автоматизації дозволяють зменшити споживання електроенергії. Додатково може використовуватися теплоутилізація, коли тепло від термічної обробки використовується для інших технологічних потреб.

Зниження шумового впливу на навколишнє середовище досягається шляхом використання шумоізоляційних матеріалів і правильного розміщення обладнання. Це особливо важливо при розташуванні виробництва поблизу житлових зон.

Важливим аспектом є впровадження принципів сталого розвитку, які передбачають раціональне використання природних ресурсів, мінімізацію відходів і зниження екологічного навантаження. Використання екологічно чистих технологій, таких як холодне пресування без застосування розчинників, значно знижує негативний вплив на довкілля.

Окрему увагу слід приділяти екологічному моніторингу. Регулярний контроль якості повітря, води та ґрунтів дозволяє своєчасно виявляти відхилення і вживати заходів щодо їх усунення. Це забезпечує відповідність діяльності підприємства екологічним нормам і стандартам.

Таким чином, впровадження комплексу природоохоронних заходів дозволяє мінімізувати вплив виробництва кунжутної олії на навколишнє середовище, забезпечити раціональне використання ресурсів і створити умови для сталого розвитку підприємства.

Висновки за розділом

Забезпечення належного рівня охорони праці та захисту навколишнього середовища при виробництві кунжутної олії є невід'ємною складовою ефективного та безпечного функціонування підприємства. Комплексне впровадження технічних, організаційних і санітарно-гігієнічних заходів дозволяє мінімізувати ризики виробничого травматизму, забезпечити безпечні умови праці та підвищити надійність експлуатації обладнання. Водночас застосування сучасних екологічних підходів, зокрема очищення викидів і стічних вод, раціонального використання побічних продуктів та енергозберігаючих технологій, сприяє зниженню негативного впливу на довкілля. У сукупності це забезпечує відповідність виробництва принципам сталого розвитку, підвищує його економічну доцільність і соціальну відповідальність.

5 ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ НАССР

5.1 Впровадження елементів системи НАССР при видобування олії з насіння кунжуту

Впровадження елементів системи НАССР при видобуванні олії з насіння кунжуту є необхідною умовою забезпечення стабільної якості готової продукції, її безпечності для споживача та відповідності сучасним вимогам харчової промисловості. Система НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Points) базується на принципах аналізу небезпечних факторів та контролю критичних точок у процесі виробництва, що дозволяє своєчасно виявляти, попереджати та мінімізувати ризики біологічного, хімічного і фізичного походження. Особливість виробництва кунжутної олії полягає у високій чутливості сировини до порушення умов зберігання, забруднення сторонніми домішками, розвитку мікрофлори та процесів окиснення жирів, тому застосування системи НАССР є важливим елементом організації безпечного технологічного процесу.

На початковому етапі впровадження системи НАССР проводиться детальний аналіз технологічної схеми виробництва кунжутної олії. Основними етапами технологічного процесу є приймання насіння кунжуту, очищення та сортування, сушіння, обсмажування або кондиціювання, подрібнення, пресування чи екстрагування олії, фільтрація, охолодження, фасування та зберігання готової продукції. Для кожного етапу визначаються потенційні небезпечні фактори та можливі причини їх виникнення. До біологічних небезпек належать розвиток пліснявих грибів, бактерій та утворення мікотоксинів у насінні за підвищеної вологості. Хімічні небезпеки можуть бути пов'язані із залишками пестицидів, важких металів, мастильних матеріалів або мийних засобів. До фізичних небезпек належать металеві частинки, залишки оболонок, пил, каміння чи інші сторонні домішки.

Однією з важливих критичних контрольних точок є приймання та первинний контроль насіння кунжуту. На цьому етапі здійснюється перевірка

вологості, засміченості, запаху, кольору та наявності ознак псування. Насіння, що має підвищену вологість або уражене пліснявою, може стати джерелом розвитку небезпечної мікрофлори та накопичення токсичних речовин. Тому встановлюються гранично допустимі показники якості сировини та проводиться лабораторний контроль відповідно до вимог нормативної документації. Особлива увага приділяється контролю афлатоксинів, які можуть накопичуватись у олійній сировині під час неналежного зберігання.

На етапі очищення та сортування насіння система НАССР передбачає контроль ефективності роботи сепараторів, магнітних уловлювачів та аспіраційних систем. Використання магнітних сепараторів дозволяє запобігти потраплянню металевих частинок у технологічне обладнання та готову продукцію. Регулярний контроль стану обладнання та своєчасне технічне обслуговування сприяють зниженню ризику механічного забруднення олії.

Важливим етапом є сушіння та теплова обробка насіння кунжуту. Недостатнє сушіння призводить до активізації мікробіологічних процесів, тоді як надмірне нагрівання може викликати погіршення органолептичних показників олії, руйнування біологічно активних речовин та утворення продуктів окиснення. У межах системи НАССР встановлюються контрольовані параметри температури та тривалості теплової обробки, а також проводиться постійний моніторинг вологості сировини після сушіння.

Під час пресування або екстрагування олії необхідно забезпечити дотримання санітарно-гігієнічних вимог до обладнання, оскільки залишки попередніх партій сировини, накопичення продуктів окиснення чи недостатнє очищення робочих поверхонь можуть негативно впливати на безпечність продукції. Критичними параметрами цього етапу є температура пресування, швидкість обертання робочих органів та чистота обладнання. Для запобігання перегріванню олії проводиться контроль температурного режиму, оскільки перевищення допустимих температур сприяє погіршенню її харчової цінності та прискорює процеси окиснення.

На етапі фільтрації та фасування особливу увагу приділяють запобіганню вторинному забрудненню готової продукції. Контролюється чистота тари, герметичність упаковки, санітарний стан виробничого приміщення та параметри мікроклімату. Для забезпечення простежуваності продукції кожна партія олії маркується відповідно до встановлених вимог, що дозволяє оперативно ідентифікувати джерело можливих відхилень у разі виникнення небезпечної ситуації.

Важливою складовою системи НАССР є ведення документації та проведення постійного моніторингу критичних контрольних точок. У виробничих журналах фіксуються результати контролю температури, вологості, санітарного стану обладнання, лабораторних аналізів та перевірок якості готової продукції. У разі виявлення відхилень від установлених критичних меж передбачаються коригувальні дії, спрямовані на усунення причин небезпеки та недопущення потрапляння небезпечної продукції до споживача.

Висновки за розділом

Впровадження елементів системи НАССР у процесі видобування олії з насіння кунжуту дозволяє забезпечити високий рівень безпеки та якості продукції, підвищити ефективність контролю технологічних процесів, знизити виробничі ризики та забезпечити відповідність продукції вимогам національних і міжнародних стандартів харчової безпеки.

6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

6.1 Розрахунок економічних показників цеху з виробництва кунжутної олії

Економічна ефективність виробництва кунжутної олії є визначальним критерієм доцільності впровадження технологічної лінії та вибору обладнання. Для оцінки ефективності функціонування цеху необхідно здійснити розрахунок основних економічних показників, зокрема витрат на сировину, енергоресурси, оплату праці, амортизаційні відрахування, собівартість продукції, прибуток та рентабельність виробництва. Розрахунки виконуються для умов малої виробничої ділянки з використанням гідравлічних пресів.

Вихідні дані для розрахунку приймаються на основі технологічних параметрів виробництва. Добова продуктивність цеху становить 1000 кг насіння кунжуту. Вихід олії – 45 %, що відповідає 450 кг готової продукції. Вихід макухи – 550 кг. Тривалість роботи цеху – 250 робочих днів на рік. Таким чином, річний обсяг переробки сировини становить:

$$G_{\text{річ}} = 1000 \times 250 = 250000 \text{ кг}$$

Річний обсяг виробництва олії:

$$G_{\text{ол}} = 250000 \times 0,45 = 112500 \text{ кг}$$

Річний обсяг макухи:

$$G_{\text{мак}} = 250000 \times 0,55 = 137500 \text{ кг}$$

Основною статтею витрат є витрати на сировину. Прийmemo середню ринкову ціну насіння кунжуту на рівні 45 грн/кг. Тоді річні витрати на сировину становлять:

$$C_{\text{сир}} = 250000 \times 45 = 11250000 \text{ грн}$$

Витрати на електроенергію визначаються виходячи із загальної потужності обладнання. Для трьох гідравлічних пресів сумарна потужність становить 4,5 кВт. Добове споживання електроенергії:

$$W_{\text{доб}} = 4,5 \times 8 = 36 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Річне споживання:

$$W_{\text{річ}} = 36 \times 250 = 9000 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

При тарифі 6 грн/кВт·год витрати на електроенергію:

$$C_{\text{ел}} = 9000 \times 6 = 54000 \text{ грн}$$

Витрати на оплату праці включають заробітну плату персоналу. Для обслуговування цеху достатньо 3 працівників із середньою заробітною платою 18000 грн/міс. Річний фонд оплати праці:

$$C_{\text{зп}} = 18000 \times 3 \times 12 = 648000 \text{ грн}$$

З урахуванням нарахувань (22 %):

$$C_{\text{зпзаг}} = 648000 \times 1,22 = 790560 \text{ грн}$$

Амортизаційні відрахування визначаються від вартості обладнання. Прийmemo вартість виробничої лінії на рівні 1 500 000 грн. При нормі амортизації 10 %:

$$C_{\text{ам}} = 1500000 \times 0,1 = 150000 \text{ грн}$$

Витрати на ремонт і обслуговування становлять приблизно 5 % від вартості обладнання:

$$C_{\text{рем}} = 1500000 \times 0,05 = 75000 \text{ грн}$$

Інші витрати (вода, допоміжні матеріали, транспорт, адміністративні витрати) приймаемо на рівні 10 % від суми основних витрат:

$$C_{\text{ін}} = 0,1 \times (11250000 + 54000 + 790560 + 150000 + 75000) = 1241560 \text{ грн}$$

Загальні річні витрати становлять:

$$C_{\text{заг}} = 11250000 + 54000 + 790560 + 150000 + 75000 + 1241560 = 13511120 \text{ грн}$$

Собівартість 1 кг кунжутної олії визначається як відношення загальних витрат до обсягу виробництва:

$$C_1 = 13511120 / 112500 \approx 120 \text{ грн/кг}$$

Додатковим джерелом доходу є реалізація макухи. Прийmemo ціну макухи 15 грн/кг. Річний дохід від реалізації макухи:

$$D_{\text{мак}} = 137500 \times 15 = 2062500 \text{ грн}$$

Ціна реалізації кунжутної олії на ринку становить приблизно 180 грн/кг. Річний дохід від реалізації олії:

$$D_{\text{ол}} = 112500 \times 180 = 20250000 \text{ грн}$$

Загальний дохід підприємства:

$$D_{\text{заг}} = 20250000 + 2062500 = 22312500 \text{ грн}$$

Прибуток визначається як різниця між доходами та витратами:

$$\Pi = 22312500 - 13511120 = 8811380 \text{ грн}$$

Рентабельність виробництва визначається за формулою:

$$R = (\Pi / C_{\text{зар}}) \times 100 \% = (8811380 / 13511120) \times 100 \% \approx 65,2 \%$$

Термін окупності обладнання визначається як відношення вартості обладнання до чистого прибутку:

$$T = 1500000 / 8811380 \approx 0,17 \text{ року}$$

Це свідчить про дуже високу економічну ефективність виробництва.

Висновки за розділом

Аналіз отриманих результатів показує, що найбільшу частку у структурі витрат становлять витрати на сировину (понад 80 %), що є характерним для олійно-жирової галузі. Водночас витрати на енергію та обслуговування є відносно низькими, що підтверджує переваги використання гідравлічного пресування.

Економічна ефективність виробництва значною мірою залежить від вартості сировини та ринкової ціни продукції. Зниження вартості насіння або підвищення ціни реалізації олії може суттєво збільшити прибуток підприємства. Крім того, використання макухи як побічного продукту дозволяє додатково підвищити рентабельність виробництва.

Важливим фактором є також масштаб виробництва. Зі збільшенням обсягів виробництва зменшуються питомі витрати, що сприяє підвищенню конкурентоспроможності продукції. Автоматизація процесів і оптимізація режимів роботи обладнання дозволяють знизити витрати на оплату праці та енергоресурси.

Таким чином, проведений розрахунок економічних показників показує, що організація цеху з виробництва кунжутної олії із застосуванням гідравлічного преса є економічно доцільною. Високий рівень рентабельності, короткий термін окупності та можливість комплексного використання сировини забезпечують ефективність функціонування підприємства та перспективність його розвитку.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз показав, що кунжут є цінною олійною культурою з високим вмістом олії, білків, біологічно активних речовин, вітамінів і мінералів, що зумовлює його значний харчовий, лікувально-профілактичний та промисловий потенціал. Встановлено, що світовий ринок кунжуту характеризується стійким зростанням, а основними напрямками його використання є виробництво олії, харчових продуктів, функціональних добавок, косметичних і фармацевтичних засобів. Аналіз сучасних технологій переробки насіння кунжуту свідчить, що найбільш поширеним і доцільним способом одержання олії залишається механічне пресування, однак ефективність процесу значною мірою залежить від параметрів підготовки сировини та режимів обробки. Отже, удосконалення технологічної лінії видобування олії з насіння кунжуту є актуальним завданням, спрямованим на підвищення виходу готової продукції, збереження її якості та раціональне використання побічних продуктів переробки.

2. Порівняльний аналіз технологій отримання кунжутної олії показав, що кожен метод має свої переваги та обмеження. Традиційний кам'яний помел забезпечує високу якість і збереження біологічно активних речовин, однак характеризується низькою продуктивністю та складністю масштабування. Екстракційно-рафінаційна технологія, навпаки, є високоефективною та придатною для масового виробництва, але супроводжується зниженням біологічної цінності продукту. Найбільш оптимальним варіантом є механічне гідравлічне пресування, яке поєднує високу якість олії з відносно прийнятною продуктивністю. Цей метод забезпечує мінімальне термічне навантаження, збереження корисних компонентів, добрі органолептичні властивості та відсутність хімічної обробки. Таким чином, механічне гідравлічне пресування є найбільш доцільним способом отримання кунжутної олії, оскільки забезпечує оптимальний баланс між якістю продукту та ефективністю виробництва.

3. На основі проведеного аналізу технологічного процесу виробництва кунжутної олії встановлено, що застосування гідравлічного преса є технічно

обґрунтованим і ефективним рішенням для отримання високоякісного продукту. Рациональне поєднання підготовчих операцій, оптимальних режимів пресування та продуманого розміщення обладнання забезпечує стабільність виробничого процесу, високий вихід олії та мінімальні втрати сировини. Визначені параметри роботи преса (тиск, температура, тривалість циклу та вологість насіння) дозволяють зберегти біологічно активні речовини та підвищити харчову цінність кінцевого продукту. Організація виробничого простору за принципом безперервного технологічного потоку сприяє підвищенню продуктивності, зниженню енерговитрат і покращенню умов експлуатації обладнання. Використання побічних продуктів, зокрема макухи, додатково підвищує економічну ефективність виробництва. Таким чином, запропонована технологічна схема та параметри роботи обладнання забезпечують комплексний підхід до виробництва кунжутної олії, поєднуючи високу якість продукції, енергоефективність і економічну доцільність, що підтверджує перспективність впровадження гідравлічного пресування у сучасних умовах.

4. Забезпечення належного рівня охорони праці та захисту навколишнього середовища при виробництві кунжутної олії є невід'ємною складовою ефективного та безпечного функціонування підприємства. Комплексне впровадження технічних, організаційних і санітарно-гігієнічних заходів дозволяє мінімізувати ризики виробничого травматизму, забезпечити безпечні умови праці та підвищити надійність експлуатації обладнання. Водночас застосування сучасних екологічних підходів, зокрема очищення викидів і стічних вод, раціонального використання побічних продуктів та енергозберігаючих технологій, сприяє зниженню негативного впливу на довкілля. У сукупності це забезпечує відповідність виробництва принципам сталого розвитку, підвищує його економічну доцільність і соціальну відповідальність.

5. Впровадження елементів системи НАССР у процесі видобування олії з насіння кунжуту дозволяє забезпечити високий рівень безпечності та якості продукції, підвищити ефективність контролю технологічних процесів, знизити

виробничі ризики та забезпечити відповідність продукції вимогам національних і міжнародних стандартів харчової безпеки.

6. Проведений розрахунок економічних показників цеху з виробництва кунжутної олії підтверджує високу ефективність організації даного виробництва. При річному обсязі переробки 250 000 кг насіння отримують 112 500 кг олії та 137 500 кг макухи. Загальні річні витрати становлять 13 511 120 грн, при цьому основну їх частку (понад 83 %) формують витрати на сировину. Річний дохід від реалізації продукції досягає 22 312 500 грн, з яких 20 250 000 грн припадає на олію та 2 062 500 грн – на макуху. Чистий прибуток підприємства становить 8 811 380 грн, що забезпечує рівень рентабельності 65,2 %. Собівартість 1 кг кунжутної олії складає близько 120 грн при реалізаційній ціні 180 грн/кг. Термін окупності інвестицій у обладнання вартістю 1 500 000 грн становить лише 0,17 року (приблизно 2 місяці), що свідчить про швидке повернення вкладених коштів. Отримані результати підтверджують, що виробництво кунжутної олії з використанням гідравлічного преса є економічно доцільним, високорентабельним і перспективним напрямом для малого та середнього бізнесу.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Wei, P., Zhao, F., Wang, Z., Wang, Q., Chai, X., Hou, G. et al. Sesame (*Sesamum indicum* L.): a comprehensive review of nutritional value, phytochemical composition, health benefits, development of food, and industrial applications. *Nutrients*. 2022. Vol. 14, No. 19. P. 4079.
2. Chen, Y., Lin, H., Lin, M., Zheng, Y., Chen, J. Effect of roasting and in vitro digestion on phenolic profiles and antioxidant activity of water-soluble extracts from sesame. *Food Chemistry Toxicology*. 2020. Vol. 139. P. 111239.
3. Abbas, S., Sharif, M. K., Sultan, M. T., Ahmad, A. N., Anwar, M. J., Zhu, M. Development and characterization of micronutrient fortified sesame cake flour supplemented doughnuts. *Journal of Progressive Nutrition*. 2020. Vol. 22, No. 4. P. e2020062.
4. Ma, X., Wang, Z., Zheng, C., Liu, C. A comprehensive review of bioactive compounds and processing technology of sesame seed. *Oil Crop Science*. 2022. Vol. 7, No. 2. P. 88–94.
5. Chen, Y., Liao, X., Zhang, C., Kong, X., Hua, Y. Hydrolyzing behaviors of endogenous proteases on proteins in sesame milk and application for producing low-phytate sesame protein hydrolysate. *Food Chemistry*. 2022. Vol. 385. P. 132617.
6. Fasuan, T. O., Omobuwajo, T. O., Gbadamosi, S. O. Optimization of simultaneous recovery of oil and protein from sesame (*Sesamum indicum*) seed. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2018. Vol. 42, No. 1. P. e13341.
7. Li, Y. R., Xu, S., Zhang, R. Y., Yang, M. X., Liu, H. M., Wang, X. D. Structural characterization of polysaccharides in waste liquor produced by wet decortication of sesame seeds. *Frontiers in Nutrition*. 2022. Vol. 9. P. 940442.
8. Zhang, R. Y., Gao, J. H., Shi, Y. L., Lan, Y. F., Liu, H. M., Zhu, W. X. et al. Characterization of structure and antioxidant activity of polysaccharides from sesame seed hull. *Frontiers in Nutrition*. 2022. Vol. 9. P. 928972.

9. Shao, J., Zhang, G., Fu, J., Zhang, B. Advancement of the preparation methods and biological activity of peptides from sesame oil byproducts: a review. *International Journal of Food Properties*. 2020. Vol. 23, No. 1. P. 2189–2200.
10. Yin, W. T., Ma, X. T., Li, S. J., Wang, X. D., Liu, H. M., Shi, R. Comparison of key aroma-active compounds between roasted and cold-pressed sesame oils. *Food Research International*. 2021. Vol. 150. P. 110794.
11. Xu, T., Yang, R., Hua, X., Zhao, W., Tong, Y., Zhang, W. Improvement of the yield and flavour quality of sesame oil from aqueous extraction process by moisture conditioning before roasting. *International Journal of Food Science and Technology*. 2019. Vol. 54, No. 2. P. 471–479.
12. Lv, M., Wu, W. Simultaneous recovery of high quality black sesame oil and defatted meal by a new aqueous method: optimization and comparison with other methods. *Journal of Oleo Science*. 2021. Vol. 70, No. 9. P. 1211–1223.
13. Liu, M., Zhou, Q., Huang, L. Study on extraction of oil from black sesame by microwave-assisted aqueous enzymatic method. 2019. P. 95–101.
14. Martínez, M. L., Bordón, M. G., Lallana, R. L., Ribotta, P. D., Maestri, D. M. Optimization of sesame oil extraction by screw-pressing at low temperature. *Food and Bioprocess Technology*. 2017. Vol. 10, No. 6. P. 1113–1121.
15. Zoumpoulakis, P., Sinanoglou, V. J., Batrinou, A., Strati, I. F., Miniadis-Meimaroglou, S., Sflomos, K. A combined methodology to detect γ -irradiated white sesame seeds and evaluate the effects on fat content, physicochemical properties and protein allergenicity. *Food Chemistry*. 2012. Vol. 131, No. 2. P. 713–721.
16. Achouri, A., Boye, J. I. Thermal processing, salt and high pressure treatment effects on molecular structure and antigenicity of sesame protein isolate. *Food Research International*. 2013. Vol. 53, No. 1. P. 240–251.
17. Lawal, S. O., Idowu, A. O., Malomo, S. A., Badejo, A. A., Fagbemi, T. N. Effect of toasting on the chemical composition, functional and antioxidative properties of full-fat and defatted sesame (*Sesamum indicum* L.) seed flours. *Journal of Culinary Science and Technology*. 2021. Vol. 19, No. 1. P. 18–34.

18. El-Beltagi, H. S., Maraei, R. W., El-Ansary, A. E., Rezk, A. A., Mansour, A. T., Aly, A. A. Characterizing the bioactive ingredients in sesame oil affected by multiple roasting methods. *Foods*. 2022. Vol. 11, No. 15. P. 2261.
19. Gojiya, D., Davara, P., Gohil, V., Dabhi, M. Process standardization for formulating protein-augmented corn-based extrudates using defatted sesame flour (DSF): sesame oil industry waste valorization. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2022. Vol. 46, No. 12. P. e17203.
20. Quintero-Soto, M. F., Espinoza-Moreno, R. J., Félix-Medina, J. V., Salas-López, F., López-Carrera, C. F., Argüelles-López, O. D. et al. Comparison of phytochemical profile and in vitro bioactivity of beverages based on the unprocessed and extruded sesame (*Sesamum indicum* L.) seed byproduct. *Foods*. 2022. Vol. 11, No. 20. P. 3175.
21. Sheichenko, V., Petrachenko, D., Sova, N., Shevchuk, V., Marynchenko, I., Prymakov, O., Sheichenko, D. Determination of the influence of moisture of dehulled hemp seed kernels on storage quality indicators. *Technology audit and production reserves*. 2025. № 3 (83). С. 69–75. DOI: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.329880>
22. Kudriavtsev, I., Koshulko, V., Sova, N., Leusenکو, O. Results of experimental studies of a column-type aerodynamic separator. *Engineering, Energy, Transport AIC*. 2025. № 1 (128). С. 45–54. DOI: <https://doi.org/10.37128/2520-6168-2025-1-5>
23. Теслюк Ю. В., Алієв Е. Б., Акастьолов О. В. Маркетинговий аналіз вітчизняного і світового ринку продуктів переробки насіння малопоширених (нішевих) олійних культур. *Ефективна економіка*. 2025. № 6. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105.2025.6.28>
24. Aliiev, E., Lytvynov, I. Results of experimental studies of the rotary brush separator of crushed cake from niche oil crops. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2025. № 2 (129). С. 71–78. DOI: <https://doi.org/10.37128/2520-6168-2025-2-9>
25. Теслюк Ю. В., Теслюк Г. В., Пушка О. С., Сова Н. А. Економічний потенціал переробки малопоширених (нішевих) олійних культур в агросекторі

України. Ефективна економіка. 2025. № 10. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105.2025.10.46>

26. Халатур С. М., Карамушка О. М. Економіко-математична модель ринку малопоширених олійних культур. International scientific journal “Grail of Science”. 2025. № 56. С. 88–96. DOI: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.19.09.2025.009>

27. Халатур С. М., Шрамко І. І. Світовий ринок продуктів переробних олійних культур – модель для політики підтримки післявоєнної стійкості. Інвестиції: практика та досвід. 2025. № 18. С. 59–65. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2025.18.59>

28. Онопрієнко О. Д., Алієв Е. Б., Говоруха В. Б. Фізико-математична модель щільної випадкової упаковки насіння олійних культур. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2025. № 55. С. 148–162. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2025.55.148-162>

29. Тертишна О. В., Сова Н. А., Алієв Е. Б., Тертишний О. О. Обґрунтування температурного режиму процесу механічного видобування олії з насіння розторопші. Вісник Львівського торговельно-економічного університету. Серія: Технічні науки. 2025. № 43. С. 12–19. DOI: <https://doi.org/10.32782/2522-1221-2025-43-02>

30. Алієв Е. Б. Обґрунтування складу техніко-технологічного забезпечення процесів переробки нішевих олійних культур. Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН. 2025. № 39. С. 199–215. DOI: <https://doi.org/10.36710/IOC-2025-39-17>

31. Алієв Е. Б., Кудрявцев І. М., Кудрявцев М. І., Алієва О. Ю. Оптимізація конструктивних і режимних параметрів аеродинамічного сепаратора насіння олійних культур із вертикальним повітряним потоком. Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН. 2025. № 39. С. 216–228. DOI: <https://doi.org/10.36710/IOC-2025-39-18>

32. Алієв Е. Б. Аналіз обладнання попередньої підготовки, виробництва і зберігання продуктів переробки малопоширених (нішевих) олійних культур.

Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі». 03–28 листопада 2025 р.

33. Алієв Е. Б. Симуляція деформації зернової суміші при стиску. Матеріали I Всеукраїнської науково-практичної конференції «Здобутки та перспективи розвитку харчової галузі». 30 травня 2025 р. С. 21–23.

34. Алієв Е. Б. Чисельне моделювання сепарації насіння. Збірник тез IV Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених «Інжиніринг технологій і технічних систем агропромислового комплексу». Ч. 1. Дніпро: ДДАЕУ, 2025. С. 3–5.

35. Алієв Е. Б., Пацула О. М., Гриценко В. Т. Технологія комплексної безвідхідної переробки макухи з насіння олійних культур з одержанням високоякісних протеїнових добавок у вигляді пелет та твердого біопалива: науково-методичні рекомендації. Запоріжжя: СТАТУС, 2017. ISBN 978-617-7353-59-0

36. Алієв Е. Б. Фізико-математичні моделі процесів прецизійної сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику: монографія. Запоріжжя: СТАТУС, 2019. 196 с. ISBN 978-617-7759-32-3

37. Алієв Е. Б., Миколенко С. Ю., Сова Н. А. та ін. Техніко-технологічне забезпечення безвідходної переробки зернової сировини у харчові продукти і корми: колективна монографія / за ред. Е. Б. Алієва. Дніпро: ЛІРА, 2022. 192 с. ISBN 978-966-981-687-0

38. Шевченко І. А., Поляков О. І., Ведмедєва К. В., Комарова І. Б. Рижій, сафлор, кунжут. Стратегія виробництва олійної сировини в Україні (малопоширені культури). Запоріжжя: СТАТУС, 2017. 40 с. ISBN 978-617-7353-53-VIII