ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломного проєкту

ступеня вищої освіти «Бакалавр» на тему:

Обґрунтування конструкції сушильної установки для підготовки лушпиння соняшника до енергетичного використання

Виконав: здобувач 4 курсу групи АІ-1-22

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

Погорілий Максим Романович _____

Керівник: _____ Золотовська Олена Володимирівна

Рецензент: _____ _____

Дніпро – 2026

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

ТСГМ

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

_____

(підпис) (прізвище, ініціали)

«____» _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ

Погорілий Максим Романович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування конструкції сушильної установки для підготовки лушпиння соняшника до енергетичного використання

Керівник роботи Золотовська Олена Володимирівна, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

« 5 » травня 2026 року № 912

2. Строк подання студентом роботи 07.06.2026р.

3. Вихідні дані до проєкту Аналіз виробничої діяльності підприємства. Аналіз літературних джерел та обгрунтування актуальності дипломного проєкту. Аналіз конструктивно-режимних параметрів сушильної установки для підготовки лушпиння соняшнка до енергетичного використання.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). 1. Обґрунтування існуючих технологій, конструкцій та обґрунтування теми дипломного проекту 2. Обґрунтування способів сушіння. 3 Конструкторська проробка проєкту.

4. Охорона праці та захист навколишнього середовища. 5. Техніко-економічна оцінка проєктих рішень. Висновки. Бібліографічний список.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)1. Характеристика господарства (А1). 2. Схеми способів сушіння (А1). 3. Шнекова сушільна установка. Складальне креслення. (А1). 4. Вал шнека (А3). Виток шнека. (А3). Кришка торцева(А3). Завантажувальний бункер (А3). 5. Корпус приймальної камери (А2). Патрубок повітропровідний (А3). Вихідна камера шнекового транспортера (А3) 6. Економічна оцінка проєкту.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1,2,3,4,5	Золотовська О.В., доцент		
Нормо-контроль	Бойко В.Б., доцент		

7. Дата видачі завдання: 09.03.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика господарства	11.03.26-11.04.26	
2	Аналіз актуальності проєкту	13.03.26-13.05.26	
3	Технологічно-конструктивний	14.04.26-21.05.26	
4	Охорона праці	15.04.26-20.05.26	
5	Економічний	19.04.26-7.06.26	
6	Графічна частина	10.05.65-7.06.65	

Здобувач _____ Погорілий М.Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Золотовська О.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

№строк	Формат	Позначення	Найменування	Кільк.	Номер	Примітка
			Документація			
1	*А4*	*52.ДП.108.000.000.ПЗ*	*Розрахунково -*			
			пояснювальна записка	*67*		
2	*А1*	*52.ДП.108.000.001ТБ*	*Характеристика господарства*	*1*	*1*	
3	*А1*	*52.ДП.108.000.002ТХ*	*Схеми способів сушіння*	*1*	*2*	
			Складальне креслення			
4	*А1*	*52.ДП.108.000.003СК*	*Шнекова сушильна установка*	*1*	*3*	
5	*А3*	*52.ДП.108.000.004.СК*	*Вал шнека*	*1*	*4*	
	А3	*52.ДП.108.000.005.СК*	*Виток шнека*	*1*	*4*	
	А3	*52.ДП.108.000.006.СК*	*Кришка торцева*	*1*	*4*	
6	*А2*	*52.ДП.108.000.008.СК*	*Корпус приймальної камери*	*1*	*5*	
	А3	*52.ДП.108.000.009.СК*	*Патрубок повітропровідний*	*1*	*5*	
	А3	*52.ДП.108.000.010.СК*	*Вихідна камера шнекового*	*1*	*5*	
			транспортера			
7	*А1*	*52.ДП.108.000.000.ТБ*	*Економічна ефективність*	*1*	*6*	

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата	*52.ДП.108.000.000.ПЗ*		
Розроб.		*Погорілий М.Р.*			*Відомості дипломного проекту*	*Літ*	*Лист* / *Листів*
Перев.		*Золотовська О.В.*					*67*
						ДДАЕУ Група АІ-1-22	
Н.Контр		*Бойко В.Б.*					
Затв.		*Теслюк Г.В..*					

АНОТАЦІЯ

Погорілий М.Р. Обґрунтування конструкції сушильної установки для підготовки лушпиння соняшника до енергетичного використання/ Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026

У першому розділі виконано аналіз виробничої діяльності господарства, його посівних площ, урожайності основних культур, матеріально-технічної бази та теплових потреб. Встановлено, що значні площі під соняшником і наявність часткової переробки насіння створюють достатню сировинну базу для отримання лушпиння, яке може бути використане як тверде біопаливо.

У другому розділі проаналізовано властивості лушпиння соняшника як об’єкта сушіння та енергетичного використання. Розглянуто існуючі способи сушіння сипких рослинних матеріалів і обґрунтовано доцільність застосування шнекової сушильної установки контактно-конвективного типу.

У конструкторській частині виконано розрахунок основних параметрів установки. Визначено продуктивність, кількість вологи, що видаляється, теплову потужність, витрату повітря, параметри сушильної камери, шнека, приводу та вентилятора. Запропоновано конструкцію установки і виконано деталювання основних елементів.

У розділі з охорони праці запропоновано заходи для безпечної роботи обладнання.

Техніко-економічне обґрунтування показало, що впровадження сушильної установки дозволяє підготувати лушпиння соняшника до ефективного спалювання, зменшити витрати на традиційне паливо та підвищити енергетичну самостійність господарства.

Ключові слова: лушпиння соняшника, сушильна установка, шнекова сушарка, біопаливо, шнековий робочий орган, енергоефективність.

ЗМІСТ

Анотація 5
Вступ 7
1 АНАЛІЗ ВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ГОСПОДАРСТВА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ ПРОЄКТУВАННЯ 10
1.1 Загальна характеристика господарства 10
1.2 Аналіз структури посівних площ 11
1.3 Урожайність основних культур і валовий збір продукції 13
1.4 Значення соняшнику в господарстві та можливості використання лушпиння 15
1.5 Матеріально-технічна база та стан машинно-тракторного парку 17
1.6 Післязбиральна доробка, переробка соняшнику та енергетичні потреби господарства 19
1.7 Обґрунтування необхідності сушильної установки для підготовки лушпиння соняшника 21
2 ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЛУШПИННЯ СОНЯШНИКА ТА ВИБІР КОНСТРУКЦІЇ УСТАНОВКИ 23
2.1. Лушпиння соняшника як об’єкт сушіння та енергетичного використання 23
2.2 Аналіз способів сушіння сипких рослинних матеріалів та обґрунтування вибору сушильної установки 25
2.3 Обґрунтування вибору установки для сушіння лушпиння соняшника 33
3 КОНСТРУКТИВНЕ ОБГРУНТУВАННЯ УСТАНОВКИ 37
3.1 Принцип роботи запропонованої установки 37
3.2 Методика розрахунку шнекової установки 39
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА 51
4.1 Загальна характеристика умов праці під час експлуатації сушильної установки 51
4.2 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори 52
4.3 Основні вимоги безпеки до конструкції установки 53
4.4 Організація безпечної роботи на сушильній установці 54
4.5 Заходи для поліпшення умов праці 56
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ 58
ВИСНОВКИ 64

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 66
ДОДАТКИ 68

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку аграрного виробництва та переробної галузі все більшої уваги набуває питання ефективного використання побічної рослинної сировини. Це пов’язано не лише зі зростанням цін на традиційні енергоносії, а й із необхідністю переходу до більш економних і екологічно доцільних підходів у забезпеченні підприємств тепловою енергією. У цих умовах особливий інтерес становлять місцеві відновлювані ресурси, які можуть бути використані як паливо без значних витрат на їх придбання та доставку.

Одним із таких ресурсів є лушпиння соняшника, що утворюється у великих обсягах під час переробки насіння соняшнику на олійноекстракційних, пресових та інших переробних підприємствах. У більшості випадків цей матеріал розглядається як побічний продукт, проте за своїми властивостями він має достатній потенціал для використання в енергетичних цілях. За умови належної підготовки лушпиння може бути застосоване як паливо для теплогенераторів, котлів, сушильних агрегатів, а також як сировина для виготовлення твердого біопалива у вигляді гранул або брикетів.

Разом із тим безпосереднє використання лушпиння соняшника як енергоносія часто ускладнюється його початковим станом. Одним із головних факторів, що погіршує паливні характеристики цього матеріалу, є підвищена вологість. Надлишок вологи зменшує теплотворну здатність сировини, ускладнює її зберігання та транспортування, негативно впливає на стабільність горіння, а в окремих випадках погіршує й умови подальшого пресування чи гранулювання. Крім того, вологе лушпиння може злежуватися, втрачати сипкість, піддаватися мікробіологічним змінам і створювати додаткові труднощі під час подачі до енергетичного обладнання. Саме тому

попереднє сушіння є необхідною технологічною операцією у підготовці такого виду біомаси.

Особливість лушпиння соняшника полягає в тому, що воно є легким, малощільним, неоднорідним за фракційним складом матеріалом, який схильний до запилення та нерівномірного переміщення в робочому просторі машин. У зв'язку з цим до сушильного обладнання висуваються підвищені вимоги щодо рівномірності теплової обробки, стабільності транспортування матеріалу, зниження втрат теплоти та безпечності експлуатації. Застосування типових сушильних рішень без урахування цих особливостей не завжди забезпечує потрібний технологічний результат. Тому виникає потреба в обґрунтуванні такої конструкції сушильної установки, яка була б пристосована саме до властивостей соняшникового лушпиння та умов його подальшого енергетичного використання.

Отже, тема дипломного проєкту є актуальною як з технічної, так і з економічної точки зору. Розроблення раціональної сушильної установки дає можливість підвищити якість підготовки біомаси, покращити її паливні характеристики, зменшити енерговитрати на подальше використання та підвищити загальну ефективність застосування відходів переробки соняшнику в енергетичних цілях.

Метою дипломного проєкту є обґрунтування конструкції сушильної установки, призначеної для зниження вологості лушпиння соняшника до рівня, необхідного для його ефективного використання як біопалива.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: дослідити властивості лушпиння соняшника як сировини для енергетичного використання; виконати аналіз існуючих способів сушіння рослинних сипких матеріалів; вибрати найбільш доцільну конструктивну схему сушильної установки; визначити основні параметри процесу сушіння; виконати конструктивний і теплотехнічний розрахунок основних елементів установки; оцінити доцільність використання запропонованого технічного рішення в умовах підприємства.

У роботі використано загальнонаукові та інженерні методи дослідження, зокрема аналіз і узагальнення літературних джерел, порівняння конструктивних рішень, розрахунок теплових і технологічних параметрів, а також оцінку технічної доцільності запропонованої конструкції.

Практичне значення роботи полягає в розробленні конструкції сушильної установки, яка може бути використана для підготовки лушпиння соняшника до подальшого енергетичного застосування. Реалізація такого рішення сприятиме більш повному використанню побічної продукції переробки соняшнику, зменшенню енергетичних витрат підприємства та підвищенню ефективності використання місцевих паливних ресурсів.

1 АНАЛІЗ ВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ГОСПОДАРСТВА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ ПРОЄКТУВАННЯ

1.1 Загальна характеристика господарства

Базовим об’єктом для виконання дипломного проєкту прийнято сільськогосподарське підприємство, розташоване у степовій зоні Дніпропетровської області. Виробничий напрям господарства – рослинництво з розвиненою структурою польових культур. Основу товарної продукції становлять озима пшениця, кукурудза на зерно, ярий ячмінь, ріпак та соняшник. Серед перелічених культур саме соняшник посідає особливе місце, оскільки є однією з найбільш рентабельних технічних культур у структурі посівів, а також створює сировинну базу для одержання побічного продукту – лушпиння, яке може використовуватись як паливо.

Підприємство має достатньо розвинену матеріально-технічну базу. На його території розміщені машинний двір, ремонтна майстерня, паливно-мастильний склад, криті складські приміщення, пункт очищення та тимчасового зберігання зерна, вагова, трансформаторна підстанція, а також невелика дільниця первинної переробки насіння соняшнику. Наявність такої інфраструктури важлива для теми дипломного проєкту, оскільки створює передумови для організації внутрішнього енергетичного циклу: вирощене насіння соняшнику після доробки і часткової переробки дає змогу отримувати лушпиння, яке за належної підготовки може використовуватися як альтернативне паливо для власних потреб господарства.

Загальна земельна площа досліджуваного господарства становить 2850 га. Основну частину земельного фонду займає рілля, що відповідає рослинницькій спеціалізації підприємства. Структура земельних угідь наведена в таблиці 1.1.

Наведені дані показують, що господарство має чітко виражену орієнтацію на польове виробництво. Частка ріллі перевищує 95 %, а це означає, що

підприємство максимально використовує земельний ресурс для вирощування товарних культур.

Таблиця 1.1

Структура земельних угідь господарства

Показник	Площа, га	Частка, %
Загальна земельна площа	2850	100,0
Рілля	2720	95,4
Багаторічні насадження	20	0,7
Сіножаті	30	1,1
Пасовища	20	0,7
Землі під господарськими будівлями і дворами	25	0,9
Лісосмуги та захисні насадження	15	0,5
Інші землі	20	0,7

За такої структури земельної площі основні виробничі результати залежать від раціональності сівозміни, рівня технічного забезпечення, своєчасності виконання агротехнічних операцій та ефективності післязбиральної доробки продукції.

Важливо також відзначити, що для господарства характерний поступовий перехід від простого виробництва сировини до елементів її внутрішньої переробки. Саме це створює передумови для більш повного використання отриманої продукції та побічних ресурсів. Якщо раніше соняшник розглядався переважно як товарне насіння для продажу, то в сучасних умовах доцільним стає його часткове перероблення з одержанням олії, макухи та лушпиння. За такого підходу підприємство отримує не лише додатковий продукт, а й потенційне місцеве паливо, яке можна залучити до покриття власних теплових потреб.

Отже, вже на етапі загальної характеристики господарства можна зробити висновок, що виробничі умови підприємства є сприятливими для реалізації технічного рішення, пов’язаного з підготовкою та використанням лушпиння соняшника як енергетичної сировини. Подальший аналіз посівних площ, урожайності та виробничої структури дозволить більш детально обґрунтувати цей напрям.

1.2 Аналіз структури посівних площ

Структура посівних площ є одним із найбільш показових критеріїв, що характеризують виробничий профіль господарства. Вона відображає як спеціалізацію підприємства, так і його адаптацію до природно-кліматичних умов, наявного машинно-тракторного парку, системи збуту та потреб у сировині. Для досліджуваного господарства характерним є поєднання зернових і технічних культур, серед яких помітну частку займає соняшник. Це цілком закономірно, оскільки соняшник є традиційною культурою для степової зони й добре вписується у виробничу модель рослинницького господарства.

Структуру посівних площ за останні три роки наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Структура посівних площ господарства

Культура	2023 р., га	2024 р., га	2025 р., га	Частка у структурі посівів у 2025 р., %
Озима пшениця	760	780	790	29,0
Ярий ячмінь	260	250	240	8,8
Кукурудза на зерно	520	530	540	19,9
Соняшник	610	620	630	23,2
Ріпак озимий	220	210	200	7,4
Горох	140	130	120	4,4
Інші культури та пари	210	200	200	7,3
Разом	2720	2720	2720	100,0

Аналізуючи наведені показники, можна зробити висновок, що структура посівних площ упродовж трьох років залишалася відносно стабільною. Найбільшу частку займає озима пшениця, яка традиційно є базовою зерновою культурою для більшості господарств степової зони. Друге місце за питомою вагою посідає соняшник, на який у 2025 році припадало понад 23 % усієї ріллі. Саме такий показник свідчить про важливу роль цієї культури у виробничій системі підприємства.

Площа під соняшником має тенденцію до незначного збільшення: з 610 га у 2023 році до 630 га у 2025 році. Це пояснюється як стабільним попитом на насіння соняшнику, так і високою технологічною гнучкістю культури. Соняшник відносно стійкий до посушливих умов, добре механізується на всіх етапах виробництва та забезпечує прийнятний економічний результат навіть у роки зі складними погодними умовами.

Разом із тим збільшення площ під соняшником має і зворотний бік. Чим більшою є частка цієї культури в сівозміні, тим важливішими стають питання ефективного використання всієї продукції та побічних ресурсів, пов'язаних із її вирощуванням і переробкою. Для досліджуваного господарства це особливо актуально, оскільки частина насіння спрямовується на переробку, а отже, зростає й обсяг лушпиння, яке потрібно або реалізовувати, або використовувати на місці. Найбільш раціональним рішенням у такому випадку є організація власного енергетичного використання цієї сировини.

Водночас структура посівів свідчить, що господарство не є вузькоспеціалізованим. Крім соняшнику, значну частку займають зернові культури, що дає можливість рівномірно завантажувати техніку, виробничі площі та персонал упродовж року. Таке поєднання культур позитивно впливає на загальну стійкість господарства, але саме соняшник створює найбільш очевидний ресурс для реалізації теми даного дипломного проєкту.

1.3 Урожайність основних культур і валовий збір продукції

Для оцінки виробничого потенціалу господарства недостатньо лише структури посівних площ. Не менш важливим є аналіз урожайності культур, оскільки саме цей показник визначає фактичний вихід продукції та рівень завантаження післязбиральної інфраструктури. Урожайність значною мірою залежить від погодних умов року, технології вирощування, забезпеченості технікою, якості насіннєвого матеріалу, стану ґрунтів та рівня мінерального живлення.

Дані щодо урожайності основних культур у господарстві наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

Урожайність основних культур у господарстві

Культура	2023 р., т/га	2024 р., т/га	2025 р., т/га
Озима пшениця	4,60	4,40	4,80
Ярий ячмінь	3,90	3,70	4,00
Кукурудза на зерно	6,80	6,30	7,00
Соняшник	2,35	2,18	2,42
Ріпак озимий	2,40	2,20	2,50
Горох	2,70	2,40	2,80

Із таблиці видно, що 2024 рік був дещо слабшим за попередній та наступний, що можна пов’язати з менш сприятливими погодними умовами, насамперед із дефіцитом продуктивної вологи. У 2025 році спостерігається відновлення врожайності по всіх основних культурах. Соняшник у цей рік забезпечив урожайність 2,42 т/га, що для умов степової зони можна вважати добрим результатом.

Валовий збір продукції наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4

Валовий збір основних культур у господарстві

Культура	2023 р., т	2024 р., т	2025 р., т
Озима пшениця	3496,0	3432,0	3792,0
Ярий ячмінь	1014,0	925,0	960,0
Кукурудза на зерно	3536,0	3339,0	3780,0
Соняшник	1433,5	1351,6	1524,6
Ріпак озимий	528,0	462,0	500,0
Горох	378,0	312,0	336,0
Разом	10385,5	9821,6	10892,6

Наведені показники свідчать про досить високий виробничий потенціал підприємства. У структурі валового збору основними культурами є озима пшениця, кукурудза на зерно та соняшник. При цьому соняшник стабільно формує понад 1,3–1,5 тис. тонн товарного насіння щороку. Саме така кількість сировини є достатньою для того, щоб розглядати її не лише як товарну

продукцію, а й як основу для внутрішньої переробки з одержанням власного паливного ресурсу.

Важливо наголосити, що зростання валового збору соняшнику автоматично підвищує потенційний вихід побічної продукції його переробки. Це означає, що підприємство отримує не просто товарне насіння, а фактично формує власну сировинну базу для виробництва енергетичних матеріалів. У сучасних умовах таке поєднання рослинництва та внутрішнього енергозабезпечення є особливо перспективним.

1.4 Значення соняшнику в господарстві та можливості використання лушпиння

Соняшник у досліджуваному господарстві є не лише товарною культурою, а й стратегічним джерелом біоенергетичної сировини. Частина вирощеного насіння реалізується у вигляді товарного зерна, однак певний обсяг спрямовується на первинну переробку. У результаті такої переробки отримують олію, макуху та лушпиння. Якщо олія і макуха традиційно мають чітко визначені напрями використання, то лушпиння нерідко залишається недооціненим ресурсом. Насправді ж за умови правильної підготовки воно може замінити частину традиційного палива, яке господарство змушене закуповувати для опалення та технологічних потреб.

Для більш чіткого обґрунтування теми дипломного проєкту доцільно проаналізувати обсяг потенційного утворення лушпиння. Для розрахунків прийнято, що дільниця первинної переробки щороку спрямовує на обробку частину зібраного насіння соняшнику, а середній вихід лушпиння становить близько 15 % від маси переробленого насіння. Результати наведено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5

Показники виробництва соняшнику та утворення лушпиння

Показник	2023 р.	2024 р.	2025 р.
Площа посіву соняшнику, га	610	620	630
Урожайність, т/га	2,35	2,18	2,42
Валовий збір насіння, т	1433,5	1351,6	1524,6

Насіння, спрямоване на внутрішню переробку, т	780	760	860
Орієнтовний вихід лушпиння (15 %), т	117,0	114,0	129,0
Потенційний вихід лушпиння при переробці всього врожаю, т	215,0	202,7	228,7

Як видно з наведених даних, навіть за часткової переробки насіння господарство щороку може отримувати понад 110–129 т лушпиння. Якщо ж у перспективі збільшити рівень внутрішньої переробки, то річний обсяг цього виду сировини може перевищувати 200 т. Це вже є достатньо значним ресурсом, щоб розглядати його як реальне паливо для покриття частини теплових потреб підприємства.

Однак ефективність використання лушпиння як палива істотно залежить від його фізичного стану. У природному стані або після зберігання в неідеальних умовах лушпиння може мати підвищену вологість, нерівномірний гранулометричний склад, нестійку сипкість та схильність до ущільнення. За таких умов його спалювання проходить нестабільно, знижується температура горіння, збільшується витрата палива і виникають труднощі з подачею матеріалу в топковий пристрій. Саме тому сушіння лушпиння перед енергетичним використанням є не другорядною, а ключовою операцією.

Для теми дипломного проєкту важливо врахувати основні властивості лушпиння соняшника, які безпосередньо впливають на вибір сушильної установки та режимів її роботи. Орієнтовні значення таких показників наведено в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6

Основні властивості лушпиння соняшника, важливі для енергетичного використання

Показник	Характеристика / значення
Насипна густина	90–130 кг/м³
Природна вологість після зберігання	16–20 %
Бажана вологість перед спалюванням або гранулюванням	10–12 %
Нижча теплота згоряння при підвищеній вологості	11,5–13,5 МДж/кг
Нижча теплота згоряння після сушіння	15,5–17,0 МДж/кг

Сипкість	Задовільна, але знижується при зволоженні
Схильність до пиловиділення	Підвищена
Поведінка при зберіганні	Можливе злежування і повторне зволоження

Наведені характеристики пояснюють, чому для даного виду сировини не можна обмежуватися лише механічним транспортуванням або зберіганням. Якщо лушпиння використовується без попередньої підготовки, то його енергетичні переваги реалізуються не повністю. Після сушіння паливна цінність матеріалу відчутно зростає, стабілізується процес згоряння, полегшується дозування, а також зменшуються непродуктивні втрати теплоти на випаровування зайвої вологи безпосередньо в топці.

Таким чином, для досліджуваного господарства соняшник є не лише важливою товарною культурою, а й джерелом місцевого альтернативного палива. Це напряму обґрунтовує актуальність дипломного проєкту, присвяченого розробці сушильної установки для підготовки лушпиння соняшника до енергетичного використання.

1.5 Матеріально-технічна база та стан машинно-тракторного парку

Рівень технічного оснащення господарства є одним із головних факторів, що визначають своєчасність виконання польових робіт, якість технологічних операцій та загальну ефективність виробництва. Для рослинницького підприємства, яке вирощує значні площі соняшнику, особливо важливими є трактори різних тягових класів, сівалки точного висіву, ґрунтообробні агрегати, обприскувачі, зернозбиральні комбайни, транспортні засоби та обладнання для післязбиральної доробки.

У досліджуваному господарстві машинно-тракторний парк загалом забезпечує виконання основних сезонних робіт у потрібні агротехнічні строки. Водночас частина техніки вже має значний строк експлуатації, що впливає на надійність її роботи, збільшує витрати на ремонт і підвищує собівартість виробництва. Особливо це стосується допоміжної техніки та транспортних засобів.

Склад основних машин і агрегатів наведено в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7

Склад машинно-тракторного парку господарства

Найменування техніки	Кількість, шт.	Основне призначення
Трактор МТЗ-82.1	3	Транспортні та допоміжні роботи
Трактор Belarus 1221.2	2	Передпосівний обробіток, агрегатування з сівалками
Трактор John Deere 8430	1	Важкі польові роботи
Трактор Case Magnum 340	1	Основний ґрунтообробіток
Комбайн Case IH 2388	1	Збирання зернових і соняшнику
Комбайн New Holland CX 8.80	1	Збирання зернових і соняшнику
Сівалка Horsch Pronto 6 DC	1	Сівба зернових культур
Сівалка СЗ-5,4	2	Сівба зернових
Сівалка УПС-8	2	Точний висів соняшнику та кукурудзи
Культиватор КПС-4	3	Передпосівний і міжрядний обробіток
Дискова борона Lemken Rubin 9	1	Лущення і дискування
Лущильник ЛДГ-10	1	Поверхневий обробіток ґрунту
Плуг оборотний	2	Основний обробіток ґрунту
Обприскувач ОПШ-2000	1	Захист рослин
Причепи тракторні	4	Внутрішньогосподарські перевезення
Автомобілі КамАЗ-55102	3	Перевезення зерна та насіння
Завантажувач фронтальний	1	Навантажувальні роботи

Наведений склад техніки свідчить, що господарство має необхідний мінімум машин для ведення сучасного рослинництва. Особливо важливо, що на підприємстві є сівалки точного висіву для соняшнику, комбайни, пристосовані для збирання технічних культур, та достатня кількість транспортних засобів для вивезення врожаю з поля. Це дозволяє своєчасно

проводити основні технологічні операції та формувати стабільну сировинну базу для подальшої переробки.

Разом із тим машинно-тракторний парк орієнтований переважно на вирощування і збирання продукції, а не на глибоку підготовку побічної сировини до енергетичного використання. У господарстві відсутнє спеціалізоване обладнання для сушіння лушпиння соняшника, через що цей ресурс або використовується не повною мірою, або зберігається у вологому стані, що знижує його паливну цінність. Таким чином, наявна технічна база дозволяє забезпечити виробництво соняшнику, але потребує доповнення у вигляді спеціальної сушильної установки для підготовки лушпиння.

Слід також відзначити, що наявність ремонтної майстерні, енергопостачання, транспортних засобів і виробничих приміщень полегшує впровадження нового обладнання. Монтаж сушильної установки не потребуватиме створення абсолютно нової інфраструктури, оскільки більшість допоміжних елементів виробничого середовища вже існує. Це позитивно впливає на перспективи практичного впровадження розроблюваної конструкції.

1.6 Післязбиральна доробка, переробка соняшнику та енергетичні потреби господарства

Після збирання врожаю господарство виконує очищення, тимчасове зберігання та відвантаження основної продукції. Частина соняшнику, окрім реалізації, спрямовується на первинну переробку. Наявність навіть невеликої дільниці переробки є суттєвою перевагою, оскільки вона дозволяє отримувати не тільки продукцію з більшою доданою вартістю, а й побічні ресурси, що можуть бути залучені до внутрішніх потреб підприємства.

На практиці найбільш відчутні витрати господарства на енергозабезпечення припадають на опалення адміністративних та виробничих приміщень, забезпечення гарячою водою, сушіння і підігрів повітря у технологічних процесах, а також на роботу ремонтної майстерні та допоміжних дільниць. Традиційно для цих потреб використовують природний

газ, тверде паливо або покупні паливні матеріали. Проте в умовах зростання вартості енергоносіїв усе більш доцільним стає використання власної біомаси.

Орієнтовну структуру теплових потреб господарства наведено в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8

Основні споживачі теплової енергії в господарстві

Об’єкт споживання	Орієнтовна річна потреба в теплоті, ГДж	Поточне джерело енергії
Адміністративно-побутові приміщення	110	природний газ / тверде паливо
Ремонтна майстерня	165	тверде паливо
Складські приміщення і пункти обслуговування	130	тверде паливо
Пункт очищення та доробки зерна	95	електроенергія, допоміжний підігрів
Дільниця переробки соняшнику та гаряче водопостачання	140	газ / електроенергія
Допоміжні теплотехнічні потреби	210	різні джерела
Разом	**850**	—

За загальної потреби близько 850 ГДж на рік підприємство може досить ефективно використовувати власне паливо з біомаси. Якщо прийняти, що корисний тепловий еквівалент добре висушеного лушпиння становить приблизно 12,5–13,0 МДж/кг з урахуванням коефіцієнта корисної дії теплогенератора або котла, то для покриття вказаних теплових потреб необхідно близько 65–70 т підготовленого палива на рік. Це менше від того обсягу лушпиння, який господарство потенційно отримує навіть при частковій переробці насіння соняшнику.

Отже, підприємство реально має змогу забезпечувати значну частину власних теплових потреб за рахунок побічної продукції переробки соняшнику. Проблема полягає не у відсутності сировини, а в тому, що ця сировина потребує попередньої підготовки. Вологе лушпиння зменшує ефективність

спалювання, гірше транспортується та зберігається, а також може спричиняти нестійку роботу топкового обладнання. Саме тому розроблення сушильної установки для підготовки лушпиння є не просто бажаним, а технологічно обґрунтованим кроком.

З огляду на наявну виробничу базу, господарство є зручним об’єктом для впровадження такого рішення. У ньому є стабільне джерело сировини, потреба в тепловій енергії, мінімально необхідна інфраструктура та розумні економічні передумови для переходу на часткове використання альтернативного місцевого палива.

1.7 Обґрунтування необхідності сушильної установки для підготовки лушпиння соняшника

Проведений аналіз господарства показав, що тема дипломного проєкту тісно пов’язана з реальними виробничими умовами підприємства. Спеціалізація на рослинництві, значні площі під соняшником і наявність дільниці первинної переробки насіння створюють сировинну основу для отримання лушпиння. У свою чергу наявність теплових потреб у господарстві формує запит на місцеве паливо, яке могло б частково замістити покупні енергоносії.

Однак повноцінне використання лушпиння стримується низкою факторів. По-перше, цей матеріал має низьку насипну густину, тому потребує правильної організації переміщення й зберігання. По-друге, він може повторно зволожуватися під час зберігання, особливо в осінньо-зимовий період. По-третє, підвищена вологість негативно впливає на нижчу теплоту згоряння, тобто фактично знижує паливну цінність матеріалу. По-четверте, вологе лушпиння менш стабільно подається у зону спалювання та гірше піддається подальшій грануляції чи брикетуванню.

За таких умов впровадження сушильної установки слід розглядати як технічний засіб, що забезпечує перехід від простого накопичення побічної сировини до її цілеспрямованої енергетичної підготовки. Сушіння дає змогу знизити вологість лушпиння до раціонального рівня, підвищити його

енергетичні характеристики, покращити сипкість, зменшити схильність до злежування та забезпечити більш стабільну роботу енергетичного обладнання.

Для досліджуваного господарства така установка має ще одну важливу перевагу: вона дозволяє замкнути локальний виробничо-енергетичний цикл. Рослинницьке підприємство вирощує соняшник, після переробки насіння отримує лушпиння, далі підсушує його та використовує для виробництва теплової енергії, яка знову повертається у виробничу систему господарства. Саме такий підхід найбільш повно відповідає сучасним вимогам ресурсозбереження та підвищення енергетичної автономності аграрних підприємств.

З огляду на наведене, розробка сушильної установки для підготовки лушпиння соняшника до енергетичного використання є цілком обґрунтованою для даного господарства. Вона спирається на існуючу структуру виробництва, пов'язана з реальною сировинною базою, відповідає тепловим потребам підприємства і має практичне значення для зниження витрат на енергозабезпечення.

Висновки

У результаті аналізу господарства встановлено, що воно має виражену рослинницьку спеціалізацію, а однією з основних культур є соняшник, частка якого в структурі посівів є досить значною. Це забезпечує стабільне отримання насіння та створює сировинну базу для утворення лушпиння як побічного продукту переробки.

Визначено, що наявні обсяги вирощування та часткової переробки соняшнику дають змогу щорічно отримувати достатню кількість лушпиння для його використання як місцевого енергетичного ресурсу. Разом із тим ефективне застосування цієї сировини потребує попереднього зниження вологості.

Аналіз матеріально-технічної бази показав, що господарство має необхідну інфраструктуру для вирощування, збирання та первинної доробки

продукції, але не оснащене спеціальним обладнанням для підготовки лушпиння до енергетичного використання.

2 ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЛУШПИННЯ СОНЯШНИКА ТА ВИБІР КОНСТРУКЦІЇ УСТАНОВКИ

2.1. Лушпиння соняшника як об'єкт сушіння та енергетичного використання

Лушпиння соняшника як рослинна біомаса характеризується сукупністю властивостей, які безпосередньо впливають на перебіг процесу сушіння та визначають вимоги до конструкції сушильної установки. На відміну від щільних зернових матеріалів, воно має малу насипну густину, пористу будову, розвинену зовнішню поверхню та незначну теплопровідність шару. У зв'язку з цим передача теплоти в масі лушпиння відбувається нерівномірно, а інтенсивність видалення вологи значною мірою залежить не тільки від температури сушильного агента, але й від характеру переміщення матеріалу в робочій камері.

Як видно з наведених у таблиці 2.1 даних, насипна густина лушпиння соняшника є невисокою, а його робоча вологість може змінюватися в досить широких межах.

Таблиця 2.1

Теплофізичні властивості лушпиння соняшника

Показник	Позначення	Значення
Вологість у робочому стані	W, %	6,9–9,5
Вологість, прийнята для сушіння в дипломі	W_0, %	16–20
Бажана вологість після сушіння	W_1,%	10–12
Насипна густина пухкого лушпиння	$\rho_н$, кг/м³	207 ± 19
Зольність	A, %	2,0–2,1
Нижча теплота згоряння при робочій вологості	Qi, МДж/кг	14,5–20,5
Нижча теплота згоряння при вологості 9 %	Qi, МДж/кг	18,09
Нижча теплота згоряння при вологості 16 %	Qi, МДж/кг	16,28
Нижча теплота згоряння при вологості 32 %	Qi, МДж/кг	13,16

Питома теплоємність сухої органічної маси, прийнята для розрахунку	C, кДж/(кг·К)	1,3–2,0
Теплопровідність пухкого шару, прийнята для розрахунку	λ, Вт/(м·К)	0,05–0,08
Температуропровідність пухкого шару, розрахунково	a, м²/с	$(1{,}5–2{,}5)\cdot10^{-7}$

Це свідчить про те, що навіть за відносно невеликої маси матеріалу його об’єм є значним, тому сушильна установка повинна забезпечувати ефективний контакт усього шару з нагрітим повітрям. За підвищеної вологості лушпиння втрачає сипкість, може ущільнюватися та нерівномірно переміщуватися, що негативно позначається на стабільності сушіння. Саме тому при виборі конструкції необхідно передбачити не лише підведення теплоти, а й безперервне розпушування та перемішування матеріалу.

Важливим показником для теплотехнічного аналізу є питома теплоємність лушпиння. Вона характеризує кількість теплоти, необхідної для нагрівання одиниці маси матеріалу на один градус, а отже впливає на загальне теплове навантаження сушильної установки. Чим вищою є початкова вологість сировини, тим більша кількість теплоти витрачається не лише на підвищення температури самого матеріалу, а й на нагрівання і випаровування наявної в ньому вологи. У практичному відношенні це означає, що енерговитрати на сушіння прямо залежать від початкового стану лушпиння і повинні враховуватися при визначенні продуктивності установки.

Не менш важливою є теплопровідність шару лушпиння. Для пухкої рослинної маси вона є низькою, через що теплота повільно передається від нагрітих поверхонь або гарячого повітря у внутрішні зони шару. За таких умов сушіння в нерухомому стані проходить менш інтенсивно і може призводити до того, що зовнішні частинки вже пересушуються, тоді як внутрішні ще залишаються вологими. Для усунення цього недоліку доцільно організовувати сушіння з переміщенням матеріалу, щоб постійно оновлювати поверхню контакту та вирівнювати температурне поле в робочому об’ємі.

Певне значення має і температуропровідність лушпиння, яка характеризує швидкість поширення температурних змін у матеріалі. Невеликі

значення цього показника підтверджують, що для лушпиння соняшника характерне відносно повільне прогрівання. Це ще раз вказує на необхідність забезпечення достатнього часу перебування матеріалу в сушильній камері. Отже, вибір габаритів робочої частини установки, швидкості переміщення матеріалу та режиму подачі сушильного агента повинен здійснюватися з урахуванням саме цих теплофізичних властивостей.

Окремо слід відзначити зміну паливних властивостей лушпиння залежно від його вологості. Зі зменшенням вмісту вологи помітно підвищується теплота згоряння, а отже зростає енергетична цінність матеріалу. Це означає, що сушіння є не просто операцією зневоднення, а важливим етапом підготовки біомаси до подальшого енергетичного використання. Чим ближчою є вологість висушеного лушпиння до раціонального рівня, тим стабільніше воно згоряє, тим менше енергії витрачається на випаровування вологи в топці і тим вищою є загальна ефективність використання цього виду палива.

Таким чином, наведені теплофізичні властивості показують, що лушпиння соняшника є складним об’єктом сушіння, для якого недостатньо лише подати гаряче повітря у робочу зону. Для ефективного видалення вологи необхідно забезпечити поєднання теплового впливу з механічним переміщенням і перемішуванням матеріалу, обмежити непродуктивні теплові втрати та створити умови для рівномірного прогрівання всього об’єму лушпиння. Саме ці обставини є основою для подальшого вибору типу сушильної установки та обґрунтування її конструктивно-режимних параметрів.

2.2 Аналіз способів сушіння сипких рослинних матеріалів та обґрунтування вибору сушильної установки

Для зниження вологості рослинної сировини в аграрному виробництві застосовують різні способи сушіння, що відрізняються принципом підведення теплоти, характером руху матеріалу та конструкцією робочих органів. Вибір конкретного способу визначається не тільки необхідною продуктивністю, а й властивостями самого матеріалу. Якщо для зерна або кукурудзи в качанах

можуть бути ефективними одні технічні рішення, то для лушпиння соняшника, яке має малу насипну густину, підвищену леткість і схильність до пиловиділення, потрібен інший підхід. Для зниження вологості рослинної сировини в аграрному виробництві застосовують різні способи сушіння, що відрізняються принципом підведення теплоти, характером руху матеріалу та конструкцією робочих органів. Вибір конкретного способу визначається не тільки необхідною продуктивністю, а й властивостями самого матеріалу.

Одним із відомих типів сушильного обладнання є камерні сушарки (рис.2.1). Такі установки традиційно використовують для сушіння кукурудзи в качанах та інших матеріалів, які можуть тривалий час перебувати в нерухомому шарі. Їхньою перевагою є відносна конструктивна простота, однак сам принцип роботи має суттєві технологічні обмеження. У камерній сушарці агент сушіння проходить крізь нерухомий шар матеріалу, внаслідок чого біля зони підведення теплоносія продукт часто пересушується, а у віддалених ділянках, навпаки, залишається недостатньо висушеним. Для вирівнювання процесу зазвичай доводиться знижувати температуру сушильного агента або збільшувати тривалість обробки, що супроводжується підвищенням енергетичних витрат.

Для лушпиння соняшника камерний спосіб сушіння є малопридатним. Це пояснюється тим, що такий матеріал має легку волокнисту структуру і не формує стабільного однорідного шару, як зерно. У нерухомому стані лушпиння може ущільнюватися, злежуватися та створювати ділянки з різним опором проходженню повітря. У результаті порушується рівномірність сушіння, зростає ризик місцевого перегріву або, навпаки, недосушування частини матеріалу. Крім того, камерні сушарки зазвичай мають значні габарити, велику тривалість циклу і не зовсім відповідають умовам середнього господарства, де доцільніше застосовувати компактні установки безперервної дії.

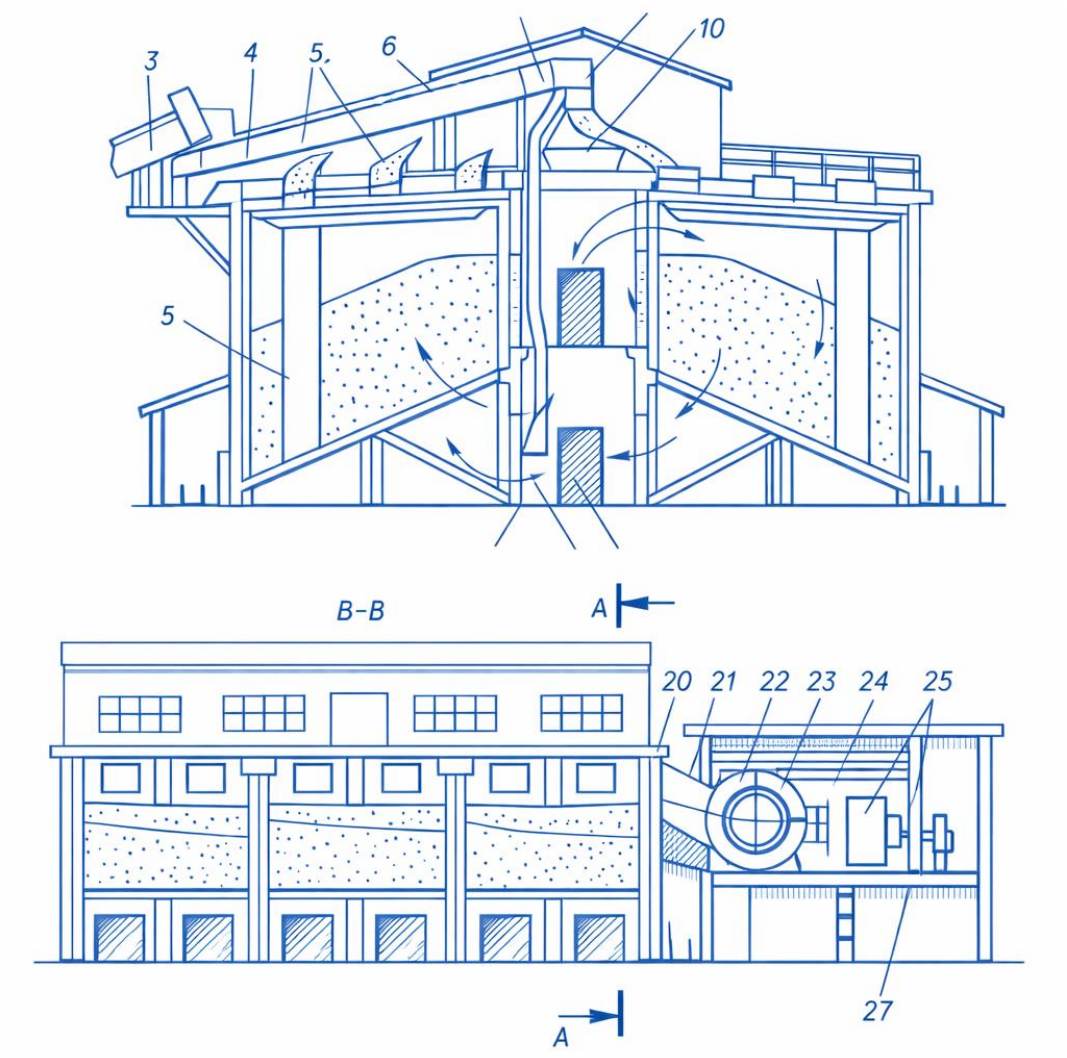


Рисунок 2.1 – Схема камерної сушарки

1 – сушильна камера; 2 – ситове днище; 3 – скребковий конвеєр; 4 – стрічковий конвеєр; 5 – люки для виходу відпрацьованого агента сушіння; 6 – завантажувальний люк; 7 – розподільник потоку висушуваного матеріалу; 8 – реверсивний конвеєр; 9 – завантажувальний лоток; 10 – люк; 11 – розвантажувальний конвеєр; 12, 13 – двері; 14 – пересувна сушарка; 15 – нижній розподільний коридор; 16 – верхній розподільний коридор; 17 – розвантажувальний люк; 18 – кришка люка; 19 – галерея; 20 – лебідка; 21 – дифузор; 22 – клапан; 23 – вентилятор низького тиску; 24 – топка; 25 – циліндри топки; 26 – жалюзійна решітка.

Інший напрям становлять сушарки контактного типу, у яких теплота до матеріалу передається від нагрітих поверхонь. Такий спосіб має певні переваги, оскільки дозволяє інтенсифікувати теплопередачу і за сприятливих

умов зменшити питомі витрати енергії. Разом із тим для традиційних контактних сушарок характерна нерівномірність нагрівання матеріалу: частинки, що безпосередньо прилягають до нагрітої поверхні, швидко втрачають вологу і можуть перегріватися, тоді як віддалені шари прогріваються повільніше. Саме тому просте контактне сушіння без перемішування не забезпечує стабільної якості кінцевого продукту.

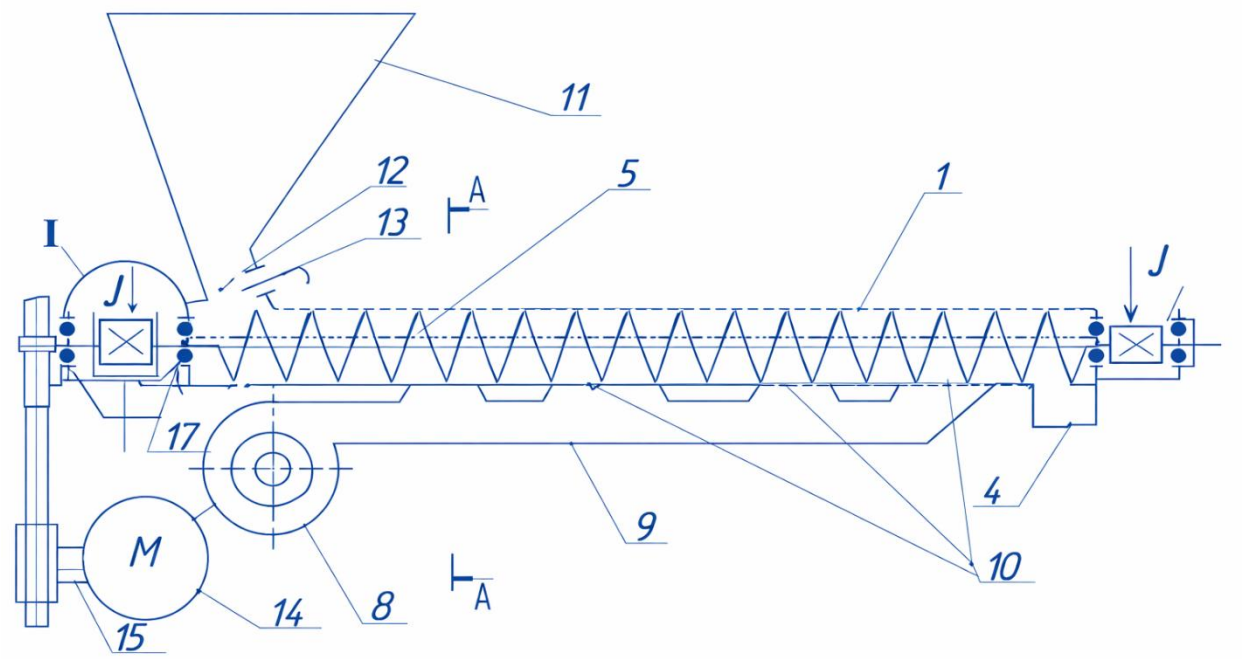


Рисунок 2.2 – Схема сушарки контактного типу

Разом з тим контактний спосіб має раціональне зерно, якщо його поєднати з механічним переміщенням матеріалу. Коли робочий орган одночасно транспортує і перемішує сировину, умови теплопередачі вирівнюються, а сушіння стає більш керованим. Саме з цієї точки зору особливий інтерес становлять установки зі шнековими або іншими транспортуючими органами. Вони не тільки переміщують матеріал уздовж робочої зони, але й постійно розпушують його, збільшуючи площу контакту з теплоносієм. Для легких сипких матеріалів, до яких належить лушпиння соняшника, така схема є значно перспективнішою, ніж перебування в нерухомому шарі (рис.2.3).

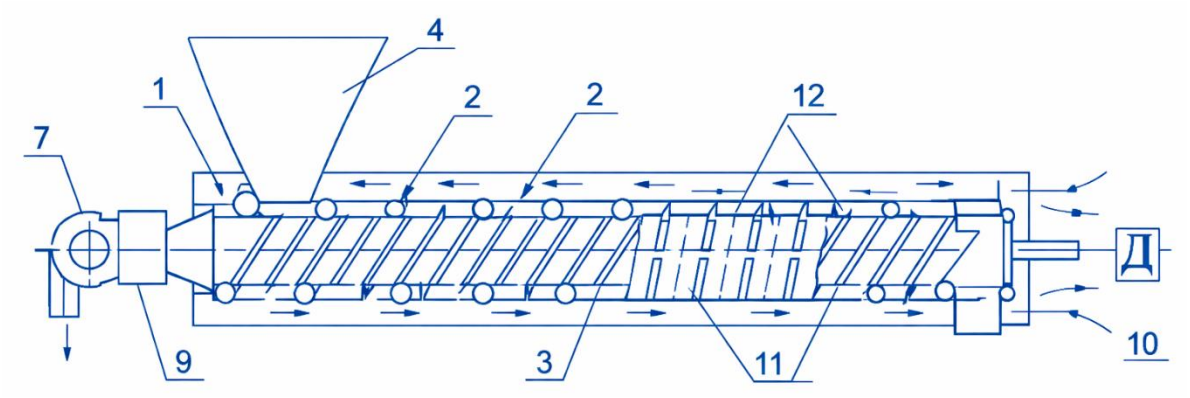


Рисунок 2.3 – Схема сушарки гвинтового типу

Окрему групу становлять сушарки, що працюють за принципом активного вентилювання (рис.2.4).

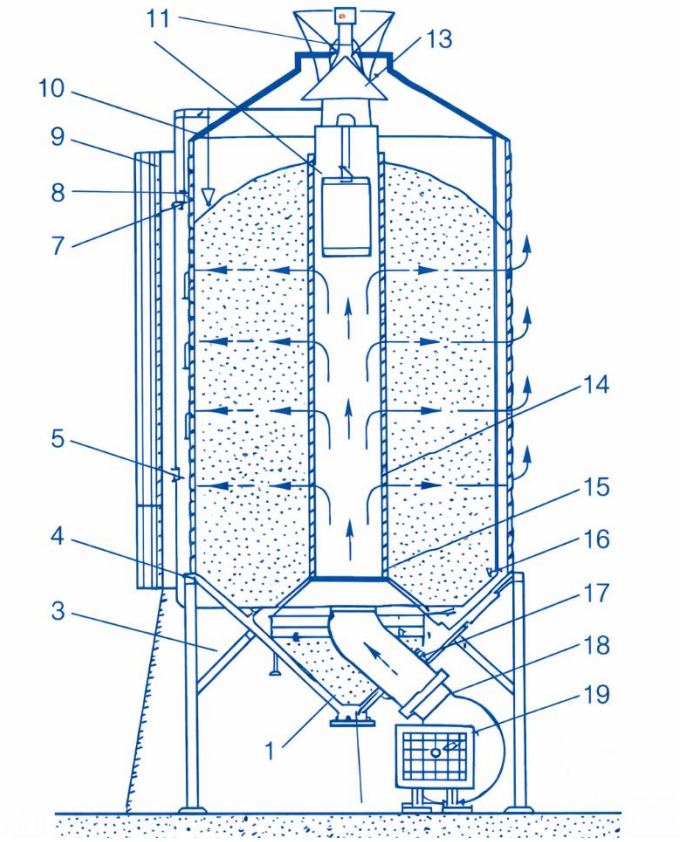


Рисунок 2.4 – Схема сушарки активного вентилювання

1 – патрубок; 2 – лебідка; 3 – основа; 4 – кільцева рама; 5 – корпус; 6 і 8 – тягарці; 7 – важіль; 9 – датчик рівня зерна; 10 – кронштейн з блоками; 11 – клапан; 12 – розподільник зерна; 13 – конус розподільний; 14 – повітророзподільна труба; 15 – обернений конус; 16 – регулювальне кільце; 17 – розвантажувальний пристрій; 18 – вентилятор; 19 – електрокалорифер

У таких установках матеріал практично не переміщується, а через його шар пропускається підігріте повітря порівняно невисокої температури. Подібні системи найчастіше використовують для підсушування і тимчасового зберігання зерна, коли необхідно м'яко знизити його вологість без різкого теплового впливу. Проте інтенсивність видалення вологи в цьому випадку невелика, а тривалість процесу є значною. Для матеріалів з малою густиною та великим питомим об'ємом, таких як лушпиння соняшника, активне вентилювання не можна вважати достатньо ефективним способом підготовки до енергетичного використання. Воно потребує значного часу, не гарантує однакової кінцевої вологості по всій масі і характеризується підвищеними питомими витратами теплоти.

Окрему групу сушильного обладнання становлять стрічкові сушарки (рис.2.5), у яких матеріал переміщується на безперервній стрічці крізь зону нагрітого повітря.

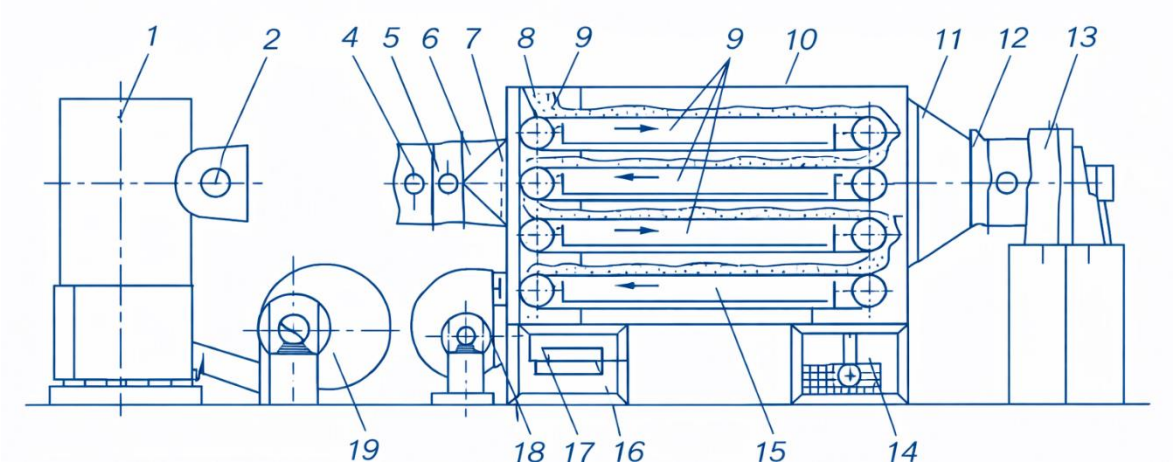


Рисунок 2.5 – Схема стрічкової сушарки

1 – топка; 2 і 5 – термометр; 3 і 11 – трубопроводи; 4, 7, 12 і 17 – дросельні заслінки; 6 – дифузор; 8 – приймальний бункер; 9, 15 – конвеєрні стрічки; 10 – сушильно-охолоджувальна камера; 13, 18 і 19 – вентилятори; 14 – редуктор; 16 – розвантажувальний конвеєр

Їх застосовують для сушіння сипких, кускових і волокнистих матеріалів, коли важливо забезпечити відносно м'який тепловий режим і безперервність процесу. До переваг стрічкових сушарок належать рівномірніші умови

сушіння порівняно з камерними установками, можливість регулювання товщини шару матеріалу, а також порівняно невисока ймовірність локального перегріву продукту. Крім того, у таких сушарках зручно організувати багатозонний режим теплової обробки, коли на окремих ділянках змінюють температуру або напрям руху повітря.

Разом з тим для сушіння лушпиння соняшника стрічкова сушарка не є найкращим рішенням. Це пояснюється тим, що лушпиння має малу насипну густину, легко підхоплюється потоком повітря і при подачі на стрічку може розподілятися нерівномірно. За малої товщини шару виникає ризик винесення легких частинок, а при збільшенні товщини шару погіршується рівномірність сушіння внутрішніх шарів. Крім того, стрічкові сушарки зазвичай мають значну довжину, потребують більшої виробничої площі, складнішої системи роликів, натягу, приводу та обслуговування самої стрічки. Для господарства середнього масштабу така конструкція виявляється більш громіздкою та дорожчою, ніж це необхідно для підготовки лушпиння до енергетичного використання.

Ще одним різновидом сушильного обладнання є сушарки карусельного типу (рис.2.6), у яких матеріал переміщується по замкненій траєкторії на обертовій платформі або в послідовно розташованих секціях

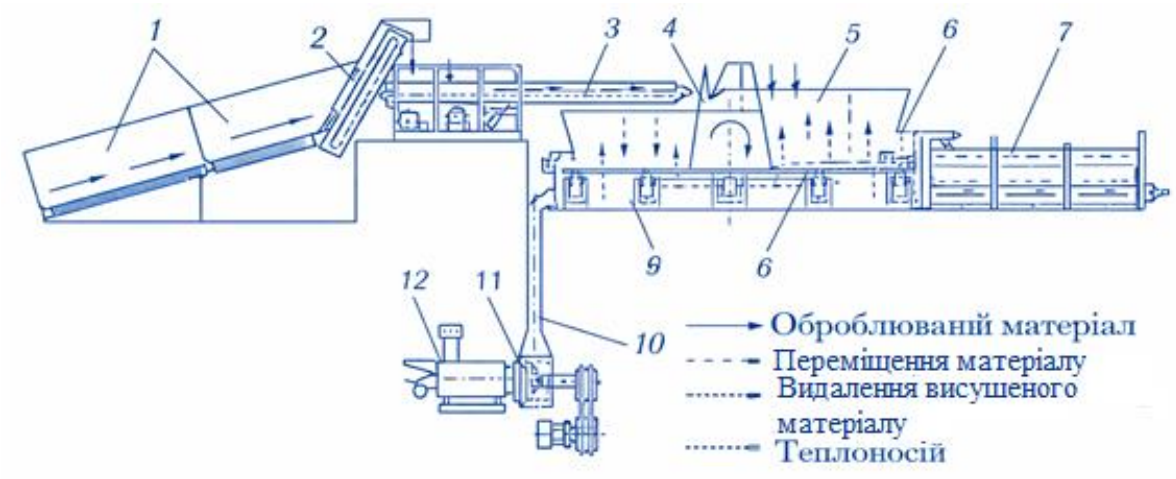


Рисунок 2.6 – Схема сушарки карусельного типу

1 і 2 – конвеєри; 3 – конвеєр-роздавальник; 4 – внутрішнє огородження; 5 – сушильна камера; 6 – зовнішнє огородження; 7 – вивантажувальний пристрій; 8 – решітчаста платформа; 9 – ролик; 10 – заслінка; 11 – вентилятор; 12 – топковий агрегат

Принцип їх роботи полягає в тому, що висушуваний матеріал поступово проходить через кілька зон теплової обробки, де на нього діє нагріте повітря. Таке конструктивне рішення дозволяє організувати досить плавний режим сушіння, а також поетапно змінювати температуру і тривалість обробки залежно від стану матеріалу.

До переваг карусельних сушарок можна віднести безперервність або напівбезперервність процесу, можливість зонального регулювання теплового режиму, а також достатньо рівномірне сушіння для матеріалів, що добре розподіляються по робочій поверхні. У певних випадках такі сушарки забезпечують прийнятну продуктивність і можуть бути ефективними для зернових матеріалів або продуктів з більш стабільною структурою та щільністю.

Разом із тим для сушіння лушпиння соняшника карусельна схема не є оптимальною. Це пояснюється насамперед фізичними властивостями самого матеріалу. Лушпиння є легким, малощільним, неоднорідним за формою частинок і схильним до пиловиділення. При переміщенні на відкритій або напіввідкритій карусельній поверхні воно може розподілятися нерівномірно, зміщуватися під дією повітряних потоків і частково виноситися із зони сушіння. Крім того, для такого матеріалу ускладнюється забезпечення однакової товщини шару по всій траєкторії руху, а це безпосередньо впливає на рівномірність кінцевої вологості.

Слід також враховувати, що сушарки карусельного типу мають більш складну конструктивну схему, яка включає обертові платформи, опорні вузли, механізми приводу, ущільнення та елементи розподілу матеріалу. Це підвищує металоємність установки, ускладнює її технічне обслуговування та ремонт. Для середнього аграрного підприємства така конструкція часто є надлишково складною, особливо коли йдеться не про універсальну сушарку великої

продуктивності, а про спеціалізовану установку для підготовки побічної біомаси до енергетичного використання.

Порівняно з карусельною сушаркою шнекова сушильна установка є краще пристосованою саме до лушпиння соняшника. Шнек не тільки переміщує матеріал, а й постійно його ворушить та розпушує, що особливо важливо для легкої волокнистої маси. У результаті зменшується нерівномірність сушіння, поліпшується контакт із теплоносієм і спрощується регулювання часу перебування матеріалу в робочій зоні. Крім того, шнекова схема компактніша, простіша за будовою та більш зручна для встановлення в умовах конкретного господарства.

Отже, незважаючи на певні технологічні переваги сушарок карусельного типу, для сушіння лушпиння соняшника вони поступаються шнековим установкам за простотою, компактністю та пристосованістю до властивостей даного матеріалу. Саме тому в даному дипломному проєкті доцільно прийняти шнекову сушильну установку безперервної дії як більш раціональне технічне рішення.

2.3 Обґрунтування вибору установки для сушіння лушпиння соняшника

Для ефективного використання лушпиння соняшника як місцевого біопалива важливе значення має його попередня підготовка, насамперед зниження вологості до рівня, за якого забезпечуються належні паливні властивості, стабільне зберігання та надійна подача в енергетичне обладнання. На відміну від зернових матеріалів, лушпиння соняшника характеризується малою насипною густиною, підвищеною пористістю, значною питомою поверхнею та схильністю до пиловиділення. Саме ці особливості суттєво впливають на вибір способу сушіння і конструкцію установки.

При підвищеній вологості лушпиння втрачає сипкість, може ущільнюватися в бункерах, нерівномірно переміщуватися по транспортуючих органах і знижувати ефективність спалювання. Значна частина теплоти при

цьому витрачається не на корисне одержання енергії, а на випаровування зайвої вологи безпосередньо в зоні горіння. Тому сушіння лушпиння соняшника слід розглядати як обов'язкову технологічну операцію, що забезпечує підвищення теплотворної здатності матеріалу, покращення його транспортно-технологічних властивостей і підготовку до подальшого енергетичного використання.

Для вирішення цього завдання запропоновано шнекову сушильну установку контактно-конвективного типу. Її конструкція передбачає поєднання механічного переміщення матеріалу з тепловим впливом нагрітої поверхні та одночасним відведенням вологи повітряним потоком. Така схема є доцільною саме для лушпиння соняшника, оскільки дає змогу уникнути тривалого перебування матеріалу в нерухомому шарі, зменшити нерівномірність сушіння і забезпечити більш повне використання підведеної теплоти.

Основними елементами запропонованої установки є теплообмінник циліндричної форми, теплоізоляційний шар, завантажувальний бункер, транспортуючий робочий орган у вигляді перфорованого шнека, привід, а також система відведення вологи, що складається з вентилятора і повітропроводу. Така конструкція дає змогу поєднати в одному агрегаті кілька процесів: подачу лушпиння, його переміщення, розпушування, нагрівання та видалення вологи.

Принцип роботи установки полягає в наступному. Після нагрівання робочої поверхні теплообмінника лушпиння соняшника з завантажувального бункера надходить у сушильну зону. Шнековий робочий орган захоплює матеріал і переміщує його вздовж нагрітої циліндричної поверхні до розвантажувального вікна. Під час руху шар лушпиння постійно порушується, розпушується та частково перемішується, завдяки чому покращується контакт частинок із нагрітою поверхнею. Одночасно через перфорацію шнека та внутрішній об'єм установки проходить повітряний потік, який відводить вологу, що випаровується, і перешкоджає її накопиченню в робочій камері.

Використання саме перфорованого шнека є важливим конструктивним рішенням. Для лушпиння соняшника, яке має легку структуру і низьку теплопровідність шару, недостатньо лише підвести теплоту до зовнішньої поверхні матеріалу. Необхідно також створити умови для безперервного оновлення шару та організованого відведення пари. Шнековий орган забезпечує постійне переміщення матеріалу, а перфорація сприяє проходженню повітря крізь шар лушпиння. У результаті підвищується інтенсивність масообміну, зменшується ймовірність локального зволоження та покращується рівномірність кінцевої вологості.

Для сушіння лушпиння соняшника важливими є кілька основних вимог. По-перше, теплота повинна підводитися рівномірно, без утворення зон перегріву. По-друге, потрібно забезпечити достатню площу контакту матеріалу з нагрітою поверхнею. По-третє, волога, яка виділяється у процесі сушіння, повинна безперервно видалятися з робочого об'єму. По-четверте, легкий сипкий матеріал має постійно переміщуватися, оскільки його перебування в нерухомому стані погіршує рівномірність сушіння. У запропонованій конструкції всі ці вимоги враховані завдяки поєднанню контактного нагріву, шнекового транспортування і примусового відведення вологи.

Перевагою даної установки є також те, що вона придатна для роботи з невеликими та середніми обсягами матеріалу, які характерні для умов аграрного господарства або невеликого переробного підприємства. На відміну від великогабаритних камерних, шахтних або стрічкових сушарок, шнекова сушильна установка має компактні розміри, простішу конструкцію і не потребує складної інфраструктури. Це особливо важливо в умовах господарства, де сушіння лушпиння соняшника здійснюється не як окремий промисловий цикл великої продуктивності, а як стадія підготовки місцевого палива для власних енергетичних потреб.

Ще однією важливою перевагою є можливість регулювання режиму сушіння. Зміною частоти обертання шнека можна змінювати час перебування

лушпиння в сушильній камері, а регулюванням роботи вентилятора - інтенсивність відведення вологи. Це дає змогу пристосовувати роботу установки до початкової вологості матеріалу, його фактичної подачі та необхідної кінцевої вологості. Такий підхід є особливо доцільним для лушпиння соняшника, оскільки його властивості можуть змінюватися залежно від умов зберігання, фракційного складу та ступеня повторного зволоження.

Слід зазначити, що запропонована установка працює не лише як сушильний апарат, а й як засіб підготовки біомаси до подальшого використання в енергетичних цілях. Після проходження через сушильну камеру лушпиння набуває більш стабільних властивостей: підвищується його теплота згоряння, покращується сипкість, зменшується схильність до злежування та полегшується подача в пальникові або топкові пристрої. Отже, сушильна установка є важливою ланкою між етапом отримання побічного продукту переробки соняшнику та етапом його практичного використання як біопалива.

3 КОНСТРУКТИВНЕ ОБГРУНТУВАННЯ УСТАНОВКИ

3.1 Принцип роботи запропонованої установки

Запропонована сушильна установка (рис.3.1) призначена для зниження вологості лушпиння соняшника перед його подальшим використанням як місцевого енергетичного ресурсу. Робота установки ґрунтується на поєднанні контактного підведення теплоти через нагріту поверхню теплообмінника, механічного переміщення матеріалу шнековим робочим органом та примусового відведення вологи повітряним потоком. Такий принцип дії дає можливість одночасно здійснювати нагрівання, переміщення, розпушування і сушіння лушпиння в межах одного апарата.

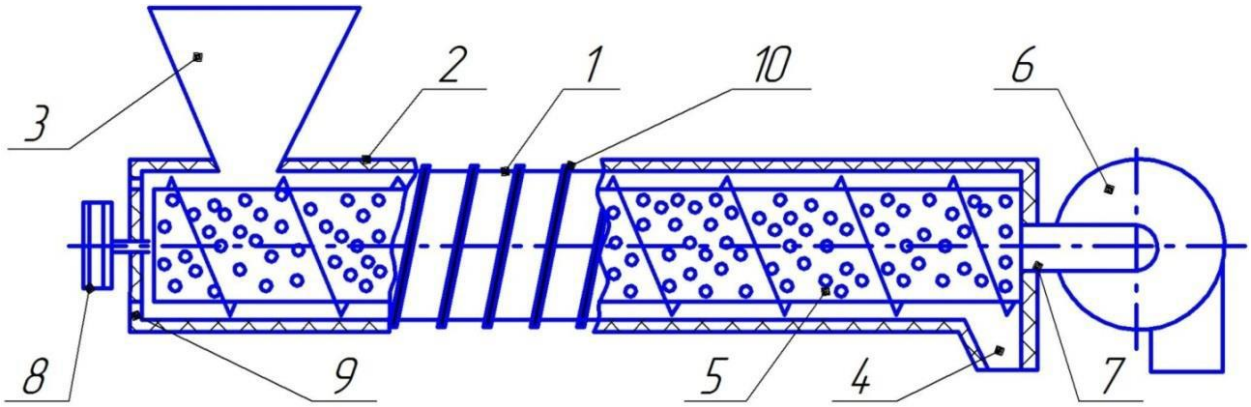


Рисунок 3.1 - Запропонована шнекова сушильна установка для підготовки лушпиння соняшника до енергетичного використання

1 – теплообмінник; 2 – теплоізоляційний матеріал; 3 – завантажувальний бункер; 4 – розвантажувальне вікно; 5 – перфорований шнек; 6 – вентилятор; 7 – повітропровід; 8 – привід транспортуючого робочого органа; 9 – отвори; 10 – електричний нагрівальний елемент

Перед початком роботи вмикається електричний нагрівальний елемент, розміщений у теплообміннику, внаслідок чого циліндрична робоча поверхня поступово нагрівається до заданої температури. Для зменшення теплових втрат зовнішня поверхня теплообмінника покрита теплоізоляційним матеріалом. Після досягнення необхідного температурного режиму

вмикаються привід шнекового робочого органа і вентилятор системи видалення вологи.

Лушпиння соняшника із завантажувального бункера надходить у внутрішню порожнину сушильної камери, де захоплюється витками шнека. Обертовий шнек переміщує матеріал уздовж нагрітої циліндричної поверхні від завантажувальної зони до розвантажувального вікна. У процесі такого переміщення лушпиння не лише транспортується, а й постійно розпушується та частково перемішується, що покращує умови його прогрівання і вирівнює вологість по всій масі матеріалу.

Під час руху в сушильній камері лушпиння контактує з нагрітою стінкою теплообмінника, від якої одержує основну частину теплоти. Одночасно волога, що міститься в матеріалі, випаровується і переходить у повітряний потік. Для безперервного видалення цієї вологи в установці передбачено вентилятор і повітропровід. Вентилятор створює розрідження або організований рух повітря, завдяки чому волога пара відводиться з робочої зони і не накопичується всередині апарата.

Важливу роль у роботі установки відіграє перфорація шнекового робочого органа. Через отвори в шнеку повітря проходить безпосередньо через шар матеріалу, що сприяє інтенсифікації масообміну та покращує видалення вологи з внутрішніх зон шару лушпиння. Така конструкція особливо доцільна для лушпиння соняшника, оскільки цей матеріал має малу насипну густину, невелику теплопровідність і потребує не тільки теплового впливу, а й активного відведення пари з робочого об’єму.

У міру просування до вихідної частини сушильної камери вологість матеріалу поступово зменшується. Висушене лушпиння через розвантажувальне вікно виводиться з установки і може надалі надходити до бункера накопичення, на лінію гранулювання або безпосередньо в систему паливоподачі теплогенератора чи котельного обладнання. Таким чином, установка забезпечує безперервний технологічний цикл підготовки біомаси до енергетичного використання.

Регулювання процесу сушіння здійснюється зміною температури нагрітої поверхні, частоти обертання шнека та інтенсивності роботи вентилятора. Підвищення температури теплообмінника збільшує інтенсивність випаровування вологи, зміна швидкості обертання шнека впливає на тривалість перебування матеріалу в сушильній камері, а регулювання роботи вентилятора дозволяє змінювати швидкість відведення вологого повітря. За рахунок цього установку можна адаптувати до різної початкової вологості лушпиння та до необхідного кінцевого ступеня його підсушування.

Отже, принцип роботи запропонованої установки полягає у послідовному виконанні трьох взаємопов'язаних процесів: нагрівання лушпиння від контактної поверхні теплообмінника, його безперервного переміщення і розпушування шнековим органом та примусового відведення вологи повітряним потоком. Саме таке поєднання робить установку придатною для сушіння лушпиння соняшника і забезпечує підготовку матеріалу до подальшого ефективного енергетичного використання.

3.2 Методика розрахунку шнекової установки

Розрахунок виконано для малогабаритної шнекової сушильної установки безперервної дії, яка використовується для зниження вологості лушпиння соняшника перед його подальшим спалюванням або подачею в енергетичне обладнання. При розрахунку прийнято, що вологість задана на вологу масу матеріалу.

Вихідні дані для:

Показник	Позначення	Одиниця	Значення
Продуктивність за вологим матеріалом	G_0	кг/год	120
Початкова вологість лушпиння	W_0	%	18
Кінцева вологість лушпиння	W_1	%	10

Початкова температура матеріалу	t_0	°С	20
Температура висушеного матеріалу	t_1	°С	60
Температура нагрітої поверхні	$t_с$	°С	100
Температура повітря на вході	$t_{п1}$	°С	80
Температура повітря на виході	$t_{п2}$	°С	45
Вологовміст повітря на вході	d_1	кг/кг сух. пов.	0,010
Вологовміст повітря на виході	d_2	кг/кг сух. пов.	0,025
Насипна густина лушпиння	$\rho_н$	кг/м³	110
Середня питома теплоємність вологого лушпиння	c_m	кДж/(кг·К)	1,8
Питома теплота випаровування вологи	r	кДж/кг	2350
Коефіцієнт теплопередачі	K	Вт/(м²·К)	45
Коефіцієнт заповнення шнека	φ	–	0,35
Коефіцієнт осьового просування матеріалу	ψ	–	0,25
ККД приводу шнека	$\eta_{пр}$	–	0,85
ККД вентилятора	$\eta_в$	–	0,65
Теплопровідність теплоізоляції	$\lambda_{із}$	Вт/(м·К)	0,045

Прийняті параметри відповідають умовам роботи господарської установки середньої продуктивності, призначеної для обробки відносно невеликих і середніх партій лушпиння.

Першим етапом є визначення маси абсолютно сухої речовини у вихідному матеріалі. Вона залишається сталою до і після сушіння.

Маса сухої речовини:

$$G_c = G_0 \cdot \frac{100 - W_0}{100}$$

$$G_c = 120 \cdot \frac{100 - 18}{100} = 98,4 \text{ кг/год}$$

Маса висушеного лушпиння на виході з установки:

$$G_1 = G_c \cdot \frac{100}{100 - W_1}$$

$$G_1 = 98,4 \cdot \frac{100}{90} = 109,33 \text{ кг/год}$$

Кількість вологи, що видаляється в процесі сушіння:

$$G_{вл} = G_0 - G_1$$

$$G_{вл} = 120 - 109,33 = 10,67 \text{ кг/год}$$

Отже, для забезпечення заданого зниження вологості необхідно випаровувати приблизно 10,67 кг води за годину.

Матеріальний баланс сушильної установки можна записати у вигляді:

$$G_0 = G_1 + G_{вл}$$

Підставляємо знайдені значення:

$$120 = 109,33 + 10,67$$

Баланс виконується, отже розрахунок проведено правильно.

Для визначення необхідної теплової потужності установки потрібно врахувати теплоту на нагрівання матеріалу, теплоту на випаровування вологи та теплові втрати.

Теплота на нагрівання лушпиння:

$$Q_1 = G_0 \cdot c_m \cdot (t_1 - t_0)$$

$$Q_1 = 120 \cdot 1,8 \cdot (60 - 20) = 8640 \text{ кДж/год}$$

Теплота на випаровування вологи:

$$Q_2 = G_{вл} \cdot r$$

$$Q_2 = 10,67 \cdot 2350 = 25066,7 \text{ кДж/год}$$

Корисна теплота процесу сушіння:

$$Q_{кор} = Q_1 + Q_2$$

$$Q_{кор} = 8640 + 25066,7 = 33706,7 \text{ кДж/год}$$

На стадії попереднього проєктного розрахунку теплові втрати через корпус, нещільності та неповне використання теплоти приймаємо в розмірі 10 % від корисної теплоти:

$$Q_{втр} = 0,1 \cdot Q_{кор}$$

$$Q_{втр} = 0,1 \cdot 33706,7 = 3370,7 \text{ кДж/год}$$

Загальна потреба в теплоті:

$$Q_{\Sigma} = Q_{кор} + Q_{втр}$$

$$Q_{\Sigma} = 33706,7 + 3370,7 = 37077,4 \text{ кДж/год}$$

Переводимо у потужність:

$$N_T = \frac{Q_{\Sigma}}{3600}$$

$$N_T = \frac{37077,4}{3600} = 10,30 \text{ кВт}$$

Отже, загальна теплова потужність сушильної установки повинна становити не менше 10,3 кВт.

Питомі витрати теплоти:

$$q_{пит} = \frac{Q_{\Sigma}}{G_{вл}}$$

$$q_{пит} = \frac{37077,4}{10,67} = 3475,9 \text{ кДж/кг}$$

або

$$q_{пит} = 3,48 \text{ МДж/кг видаленої вологи}$$

Отримане значення свідчить, що установка має прийнятний рівень енергоефективності для сушіння легкого рослинного матеріалу.

У запропонованій установці повітря використовується насамперед для відведення випареної вологи із сушильної зони. Необхідна масова витрата сухого повітря визначається з рівняння вологісного балансу:

$$G_п = \frac{G_{вл}}{d_2 - d_1}$$

$$G_п = \frac{10,67}{0,025 - 0,010} = 711,1 \text{ кг/год}$$

Для переходу до об'ємної витрати повітря приймаємо середню густину гарячого повітря у системі:

$$\rho_п = 1,06 \text{ кг/м}^3$$

Тоді об'ємна витрата повітря:

$$V_п = \frac{G_п}{\rho_п}$$

$$V_п = \frac{711,1}{1,06} = 670,9 \text{ м}^3\text{/год}$$

З урахуванням експлуатаційного запасу 10–12 % приймаємо:

$$V_п^{пр} = 750 \text{ м}^3\text{/год}$$

Отже, для роботи установки необхідно забезпечити подачу повітря приблизно 750 м³/год.

Оскільки запропонована установка працює за контактно-конвективною схемою, важливо визначити необхідну площу нагрітої поверхні, яка забезпечить підведення корисної теплоти до матеріалу.

Тепловий потік через стінку теплообмінника визначається за залежністю:

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t_{\ln}$$

де

K – коефіцієнт теплопередачі;

F – площа теплообмінної поверхні;

$\Delta t_{\ln}$ – середня логарифмічна різниця температур.

Середня логарифмічна різниця температур:

$$\Delta t_{\ln} = \frac{(t_c - t_0) - (t_c - t_1)}{\ln \frac{(t_c - t_0)}{(t_c - t_1)}}$$

$$\Delta t_{\ln} = \frac{(100 - 20) - (100 - 60)}{\ln \frac{(100 - 20)}{(100 - 60)}}$$

$$\Delta t_{\ln} = \frac{80 - 40}{\ln(80/40)} = 57,7°C$$

Для визначення площі теплообмінної поверхні використовуємо корисну теплоту $Q_{кор}$, оскільки саме вона передається матеріалу:

$$F = \frac{Q_{кор}}{K \cdot \Delta t_{\ln}}$$

$$F = \frac{33706,7/3600 \cdot 1000}{45 \cdot 57,7}$$

$$F = 3,61 \text{ м}^2$$

Приймаємо внутрішній діаметр сушильної камери:

$$D_к = 0,30 \text{ м}$$

Тоді потрібна довжина циліндричної нагрітої поверхні:

$$L = \frac{F}{\pi D_K}$$

$$L = \frac{3,61}{3,14 \cdot 0,30} = 3,83 \text{ м}$$

Приймаємо конструктивно:

$$L = 4,0 \text{ м}$$

Фактична площа теплообмінної поверхні становитиме:

$$F_{ф} = \pi D_{К} L$$

$$F_{ф} = 3,14 \cdot 0,30 \cdot 4,0 = 3,77 \text{ м}^2$$

Отже, прийняті габарити сушильної камери забезпечують потрібну площу теплообміну.

Шнековий робочий орган повинен забезпечувати безперервне переміщення лушпиння через сушильну камеру та його часткове розпушування.

Приймаємо:

зовнішній діаметр шнека $D_{ш} = 0,28$ м;

діаметр вала $d = 0,08$ м;

крок шнека $S = 0,24$ м.

Продуктивність шнека для сипкого матеріалу визначається за формулою:

$$G = 3600 \cdot \frac{\pi}{4}\left(D_{Ш}^2 - d^2\right) \cdot S \cdot n \cdot \varphi \cdot \rho_{н} \cdot \psi$$

де

n – частота обертання шнека, об/с.

Звідси:

$$n = \frac{G}{3600 \cdot \frac{\pi}{4}\left(D_{Ш}^2 - d^2\right) \cdot S \cdot n \cdot \varphi \cdot \rho_{н} \cdot \psi}$$

Підставляємо значення:

$$n = \frac{120}{3600 \cdot \frac{3,14}{4}\left(0,28^2 \cdot 0,08^2\right) \cdot 0,24 \cdot 0,35 \cdot 110 \cdot 0,25}$$

$$n = 0,255 \text{ об/с}$$

або

$$n = 15,3 \text{ об/хв}$$

Приймаємо робочу частоту обертання шнека:

$$n = 15 \text{ об/хв}$$

Для оцінки часу сушіння визначаємо масу матеріалу, що одночасно знаходиться у камері. Для цього використаємо внутрішній об'єм робочої частини сушильної камери:

$$V_{еф} = \frac{\pi}{4}\left(D_к^2 - d^2\right) \cdot L \cdot \varphi$$

$$V_{еф} = \frac{3,14}{4}\left(0,30^2 - 0,08^2\right) \cdot 4,0 \cdot 0,35 = 0,0919 \text{ м}^3$$

Маса матеріалу в камері:

$$m_к = V_{еф} \cdot \rho_н$$

$$m_к = 0,0919 \cdot 110 = 10,11 \text{ кг}$$

Час перебування лушпиння в сушильній камері:

$$\tau = \frac{m_к}{G_0} \cdot 3600$$

$$\tau = \frac{10,11}{120} \cdot 3600 = 303,3 \text{ с}$$

$$\tau \approx 5,1 \text{ хв}$$

Для легкого шару лушпиння за інтенсивного контакту з нагрітою поверхнею і примусового відведення вологи такий час перебування є достатнім для зниження вологості від 18 до 10 %.

Потрібна потужність нагрівача визначається за повною тепловою потребою установки:

$$N_{нагр} = \frac{Q_\Sigma}{3600 \cdot \eta_{нагр}}$$

Для електронагрівального елемента приймаємо:

$$\eta_{нагр} = 0,95$$

Тоді:

$$N_{нагр} = \frac{37077,4}{3600 \cdot 0,95} = 10,84 \text{ кВт}$$

Приймаємо стандартну встановлену потужність нагрівача:

$$N_{нагр}^{пр} = 12 \text{ кВт}$$

Отже, для стабільної роботи установки доцільно застосувати електронагрівальний елемент сумарною потужністю 12 кВт.

Аеродинамічний опір системи складається з опору шару лушпиння, перфорації шнека, повітропроводів, місцевих опорів і запасу на забруднення. Приймаємо:

$$\Delta p_1 = 250 \text{ Па}$$

опір перфорації та проходження повітря через робочий орган;

$$\Delta p_2 = 320 \text{ Па}$$

опір шару лушпиння;

$$\Delta p_3 = 180 \text{ Па}$$

опір повітропроводів та поворотів;

$$\Delta p_4 = 150 \text{ Па}$$

запас на експлуатаційні умови.

Тоді повний аеродинамічний опір:

$$\Delta p_\Sigma = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 + \Delta p_4$$

$$\Delta p_\Sigma = 250 + 320 + 180 + 150 = 900 \text{ Па}$$

Потужність вентилятора:

$$N_B = \frac{Q_B \cdot p_\Sigma}{\eta_B}$$

де

$Q_в$ – витрата повітря в м³/с.

$$Q_B = \frac{750}{3600} = 0,208 \text{ м}^3/\text{с}$$

Тоді:

$$N_B = \frac{0,208 \cdot 900}{0,65} = 288,5$$

$$N_B \approx 0,29 \text{ кВт}$$

З урахуванням запасу приймаємо електродвигун вентилятора потужністю:

$$N_в^{пр} = 0,55 \text{ кВт}$$

Для визначення потужності приводу потрібно оцінити момент опору при транспортуванні та перемішуванні лушпиння в робочій камері. Через легку та волокнисту структуру матеріалу реальний опір більший, ніж просте переміщення маси по горизонталі, тому враховуємо узагальнений коефіцієнт опору.

Приймаємо коефіцієнт тертя й внутрішнього зсуву матеріалу f = 0,6; коефіцієнт запасу на ущільнення, злипання та нерівномірність подачі $k_z = 8$

Тоді зведена сила опору:

$$F = f \cdot m_к \cdot g \cdot k_z$$

$$F = 0,6 \cdot 10,11 \cdot 9,81 \cdot 8 = 475,8 \text{ Н}$$

Крутний момент на валу шнека:

$$M = F \cdot \frac{D_ш}{2}$$

$$M = 475,8 \cdot \frac{0,28}{2} = 66,6 \text{ Н/м}$$

Потужність приводу:

$$N_ш = \frac{2\pi nM}{60 \cdot \eta_{пр}}$$

$$N_ш = \frac{2\pi \cdot 15 \cdot 66,6}{60 \cdot 0,85} = 0,123 \text{ кВт}$$

Отримане значення є теоретично мінімальним. З урахуванням пускових навантажень, можливого ущільнення матеріалу, запилення, нерівномірного завантаження та роботи в реальних умовах приймаємо запас потужності не менше 5–7 разів. Тому встановлена потужність електродвигуна шнека:

$$N_ш^{пр} = 1,1 \text{ кВт}$$

Вал шнека перевіряємо на кручення. Мінімально допустимий діаметр круглого вала визначаємо за формулою:

$$d_{\min} = \sqrt[3]{\frac{16M}{\pi[\tau]}}$$

де

$[\tau]$ – допустиме напруження кручення. Для конструкційної сталі приймаємо:

$$[\tau] = 25 \text{ МПа}$$

Переходимо до одиниць Н·мм:

$$M = 66{,}6 \text{ Н/м}$$

Тоді:

$$d_{\min} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 66600}{3{,}14 \cdot 25}} = 23{,}8 \text{ мм}$$

Прийнятий діаметр вала:

$$\text{d} = 80 \text{ мм}$$

значно перевищує мінімально необхідне значення, тому вал шнека має достатній запас міцності.

Щоб зменшити втрати теплоти в навколишнє середовище, корпус сушильної камери повинен мати теплоізоляцію. Товщину ізоляції визначаємо з умови обмеження лінійних теплових втрат до

$$q' = 90 \text{ Вт/м}$$

Для циліндричної стінки:

$$q' = \frac{2\pi\lambda_{із}\left(t_c - t_{нав}\right)}{\ln\left(d_2 / d_1\right)}$$

де

d_1 – зовнішній діаметр корпусу без ізоляції;

d_2 – зовнішній діаметр з ізоляцією;

$t_{нав} = 20°C$.

Приймаємо:

$$d_1 = 0{,}30 \text{ м}$$

Тоді:

$$\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)=\frac{2\pi\lambda_{із}\left(t_c-t_{нав}\right)}{q'}$$

$$\ln\left(\frac{d_2}{0,30}\right)=\frac{2\pi\cdot 0,045\cdot\left(100-20\right)}{90}=0,251$$

$$\frac{d_2}{0,30}=e^{0,251}=1,285$$

$$d_2=0,385 \text{ м}$$

Товщина теплоізоляції:

$$\delta_{із}=\frac{d_2-d_1}{2}$$

$$\delta_{із}=\frac{0,385-0,30}{2}=0,0425 \text{ м}$$

$$\delta_{із}\approx 40 \text{ мм}$$

Приймаємо товщину шару теплоізоляції:

$$\delta_{із}^{пр}=40 \text{ мм}$$

Така ізоляція забезпечує обмеження теплових втрат та підвищує загальну енергоефективність установки.

Висновки

Виконано конструкторський розрахунок шнекової сушильної установки контактно-конвективного типу для підготовки лушпиння соняшника до енергетичного використання. Встановлено, що при продуктивності 120 кг/год за вологим матеріалом установка повинна забезпечувати видалення 10,67 кг вологи за годину та мати теплову потужність близько 10,3 кВт.

У результаті розрахунку обґрунтовано основні конструктивні параметри установки: сушильну камеру діаметром 0,30 м і довжиною 4,0 м, шнек діаметром 0,28 м з кроком 0,24 м, робочу частоту обертання 15 об/хв, а також необхідну витрату повітря 750 м³/год. Для забезпечення надійної роботи прийнято потужність нагрівального елемента 12 кВт, вентилятора 0,55 кВт і приводу шнека 1,1 кВт.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Загальна характеристика умов праці під час експлуатації сушильної установки

Під час роботи сушильної установки для підготовки лушпиння соняшника до енергетичного використання працівник має справу одночасно з кількома джерелами небезпеки. До них належать рухомі механізми, нагріті частини обладнання, електричні елементи, пилове середовище та суха рослинна маса, яка є горючою. Саме тому питання безпечної експлуатації такої установки потрібно розглядати ще на етапі проєктування, а не лише під час подальшої роботи на підприємстві.

Запропонована сушарка працює за шнековим принципом, тобто матеріал переміщується всередині робочої камери за допомогою обертового транспортуючого органа. У процесі сушіння лушпиння контактує з нагрітою поверхнею, частково прогрівається гарячим повітрям і поступово втрачає вологу. Така схема є ефективною з технологічної точки зору, однак вона вимагає дотримання ряду вимог безпеки, оскільки при порушенні режиму можливі перегрів, заклинювання механізму, пилоутворення або аварійні ситуації, пов’язані з електроживленням.

Безпечна робота установки повинна забезпечуватися двома шляхами. Перший пов’язаний із самою конструкцією машини: необхідно передбачити огородження, теплоізоляцію, захист електричної частини, зручність обслуговування і надійність усіх з’єднань. Другий шлях -це правильна організація роботи: інструктаж працівників, контроль технічного стану обладнання, дотримання послідовності запуску й зупинки, а також систематичне очищення установки від пилу та залишків лушпиння.

Отже, для нормальної та безпечної експлуатації сушарки важливо одночасно враховувати як технічні, так і організаційні аспекти охорони праці.

4.2 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Під час роботи сушильної установки найбільшу небезпеку становлять рухомі елементи приводу та шнекового механізму. Обертовий вал, муфта, редуктор і сам шнек можуть спричинити травмування у випадку потрапляння до них рук, одягу чи сторонніх предметів. Особливо небезпечними є зони біля приводу, торців вала, завантажувального вузла та місць технічного обслуговування. Якщо працівник намагатиметься очищати або поправляти матеріал під час роботи установки, ризик травмування суттєво зростає.

Ще одним важливим фактором є підвищена температура окремих вузлів. У сушильній установці нагріваються стінки робочої камери, елементи теплопередачі та ділянки, де проходить гаряче повітря. При дотику до таких поверхонь можливі опіки. Крім того, перегріті частини обладнання за наявності рослинного пилу можуть стати джерелом займання. Тому температура зовнішніх поверхонь повинна бути обмежена, а доступ працівника до найбільш нагрітих частин -захищений конструктивно.

Особливу увагу слід приділяти пилу, що утворюється при роботі з лушпинням соняшника. Це легкий сипкий матеріал, який під час завантаження, переміщення та вивантаження здатний утворювати запилене середовище. Пил подразнює органи дихання, погіршує умови праці, осідає на обладнанні й може накопичуватись у важкодоступних місцях. За певних умов сухий органічний пил підвищує також пожежну небезпеку приміщення.

Окрему групу ризиків становить електричний струм. Для роботи сушарки використовують електродвигун, вентилятор, нагрівальні елементи, пускову апаратуру та кабельні лінії. Несправність ізоляції, порушення заземлення, потрапляння пилу в електричні шафи або робота з пошкодженими проводами можуть призвести як до ураження людини струмом, так і до аварійного займання.

Крім зазначених факторів, на працівника можуть впливати шум від роботи вентилятора і приводу, вібрація від обертання механізмів, фізичне

навантаження під час подачі сировини, а також підвищене нервове напруження при контролі температурного режиму. У звичайних умовах ці фактори не є критичними, але при тривалій роботі вони також повинні враховуватись.

Таким чином, при експлуатації сушильної установки маємо справу з комплексом небезпечних і шкідливих чинників, які вимагають технічного захисту та правильної організації праці.

4.3 Основні вимоги безпеки до конструкції установки

Щоб зменшити ризик травмування працівника, конструкція сушарки повинна виключати вільний доступ до рухомих частин під час роботи. Муфта, привід, виступні кінці валів та інші небезпечні елементи мають бути закриті захисними кожухами. Завантажувальний бункер необхідно виконати так, щоб працівник не міг випадково дістатися до шнека рукою. Якщо у конструкції передбачено оглядові люки або кришки, вони повинні надійно фіксуватися й відкриватися лише після повної зупинки установки.

Корпус сушильної камери повинен мати достатню міцність і бути герметичним, щоб запобігти викиду пилу та гарячого повітря у приміщення. Для зменшення втрат теплоти і водночас для захисту працівника від опіків зовнішню поверхню необхідно покрити теплоізоляцією. Нагріті ділянки, що залишаються доступними для людини, бажано додатково закрити кожухами або екранами.

Система відведення вологи має бути організована так, щоб у робочому об’ємі не накопичувалась пара і не створювались умови для підвищеної запиленості. Для цього патрубок відведення вологого повітря слід з’єднати з місцевою вентиляцією або аспірацією. Це дозволяє не лише покращити умови праці, а й зменшити кількість пилу в приміщенні.

У конструкції обов’язково потрібно передбачити надійне заземлення всіх металевих частин, на яких може з’явитися напруга у разі пошкодження ізоляції. Органи керування повинні бути розташовані зручно для оператора, а кнопка аварійного вимкнення -у швидкодоступному місці. Також бажано

передбачити блокування або інші засоби, що унеможливлюють випадковий запуск сушарки під час ремонту чи очищення.

Конструкція установки має бути пристосована і до технічного обслуговування. Підшипники, кріплення, привідні елементи та місця очищення повинні бути доступними, але тільки після вимкнення обладнання. Це зменшує ризик травмування при перевірках та ремонтах.

4.4 Організація безпечної роботи на сушильній установці

До обслуговування сушарки допускаються лише ті працівники, які ознайомлені з її будовою, принципом дії та правилами безпечної експлуатації. Перед початком самостійної роботи оператор повинен пройти інструктаж з охорони праці та знати порядок запуску, зупинки, очищення і дій у разі несправності.

Перед увімкненням установки необхідно перевірити цілісність огороджень, стан приводу, справність електроживлення, наявність заземлення, кріплення кришок і кожухів, а також відсутність сторонніх предметів у бункері та робочій камері. Забороняється запускати сушарку при знятому кожусі муфти, відкритих люках, несправному вентиляторі або пошкодженому кабелі.

Під час роботи оператор повинен слідкувати за рівномірністю подачі лушпиння, температурним режимом, характером звуку роботи приводу, станом вентилятора та відсутністю перегріву. Якщо з’являються сторонній шум, вібрація, запах підгоряння, дим або заклинювання шнека, установку необхідно негайно зупинити та знеструмити.

Очищення сушарки, видалення завислого матеріалу, підтягування кріплень і будь-який ремонт дозволяється проводити лише після повної зупинки машини та вимкнення живлення. Перед обслуговуванням потрібно переконатися, що шнек, вентилятор і привід більше не рухаються. Категорично не допускається підштовхувати матеріал рукою або інструментом через завантажувальний бункер, коли установка працює.

Працівник повинен використовувати робочий одяг, який не має звисаючих елементів, а також при потребі -захисні окуляри та респіратор. Волосся слід прибирати під головний убір. Одяг не повинен чіплятися за рухомі частини приводу.

Отже, безпечна організація праці при роботі на сушарці передбачає чітку дисципліну, дотримання послідовності операцій та заборону на будь-яке втручання в робочий процес без зупинки обладнання.

Підготовка лушпиння соняшника до енергетичного використання пов'язана з підвищеною пожежною небезпекою, оскільки в установці поєднуються суха горюча біомаса, нагрівальні елементи, запилене повітря та електрообладнання. Через це приміщення, де розміщена сушарка, повинно відповідати вимогам пожежної безпеки.

Основними причинами можливого займання можуть бути перегрів нагрівача, коротке замикання, потрапляння стороннього предмета в шнек, підвищене тертя при заклинюванні вала, накопичення пилу біля гарячих поверхонь або порушення режиму сушіння. Щоб уникнути таких ситуацій, потрібно підтримувати установку в чистоті, регулярно перевіряти стан нагрівальних і електричних елементів, не допускати роботи без вентиляції та не перевищувати встановлену продуктивність.

У приміщенні слід заборонити куріння, використання відкритого вогню, захаращення проходів і зберігання зайвих горючих матеріалів біля сушарки. Пил і залишки лушпиння потрібно видаляти регулярно, не допускаючи їх накопичення на рамі, приводі, патрубках та електрообладнанні.

Біля установки мають бути розміщені первинні засоби пожежогасіння. Працівник повинен знати, де вони знаходяться, і розуміти порядок дій у разі займання: негайно зупинити установку, відключити живлення, повідомити відповідальну особу та вжити заходів до локалізації пожежі без ризику для власного життя.

Таким чином, пожежна безпека при роботі сушарки забезпечується не лише наявністю вогнегасників, а насамперед правильним технічним станом

обладнання, чистотою приміщення та дотриманням безпечного режиму сушіння.

У сушильній установці використовуються електродвигун, вентилятор, пускова апаратура і нагрівальні елементи, тому електробезпека є одним із головних напрямів захисту працівника. Усі металеві частини обладнання, які можуть опинитися під напругою в аварійній ситуації, повинні бути заземлені. Кабелі, з'єднувальні коробки, пускові кнопки та автоматика мають бути захищені від пилу, вологи та механічних пошкоджень.

Запуск і зупинка сушарки повинні здійснюватися за допомогою штатних органів керування. Забороняється вмикати установку при пошкодженій ізоляції проводів, відсутності заземлення, несправному вимикачі або відкритих електричних елементах. Усі роботи, пов'язані з перевіркою та ремонтом електричної частини, повинні виконуватися тільки після повного знеструмлення обладнання.

Не допускається очищення електродвигуна і пускової апаратури стислим повітрям без потреби, якщо це сприяє підняттю пилу. Найкраще застосовувати регулярне обережне очищення від відкладень і контроль температури корпусу електродвигуна. Перегрітий двигун, запах ізоляції або нестійка робота є підставою для негайної зупинки установки.

Отже, дотримання вимог електробезпеки дозволяє запобігти як ураженню людини струмом, так і виникненню аварійних або пожежонебезпечних ситуацій.

4.5 Заходи для поліпшення умов праці

Для покращення умов праці оператору необхідно забезпечити достатній простір біля сушильної установки, зручний доступ до органів керування, рівну неслизьку підлогу та нормальне освітлення. Робоче місце повинно бути організоване так, щоб працівник міг контролювати основні вузли машини без зайвого наближення до небезпечних зон.

Щоб зменшити запиленість, доцільно герметизувати місця пересипання лушпиння, організувати відведення повітря від сушильної камери та

регулярно очищати приміщення. Для цього бажано застосовувати не сухе підмітання, а способи прибирання, які не підіймають пил повторно.

З метою зниження шуму і вібрації потрібно забезпечити правильну установку мотор-редуктора, центрування вала, надійне кріплення рами і своєчасну заміну підшипників. Планове технічне обслуговування взагалі відіграє важливу роль у створенні безпечних умов праці, оскільки дозволяє своєчасно виявити несправності, які згодом можуть спричинити аварію.

Таким чином, поліпшення умов праці при роботі сушильної установки досягається комплексом заходів: зменшенням запиленості, покращенням організації робочого місця, зниженням шуму, своєчасним ремонтом та правильною експлуатацією обладнання.

Висновки

У процесі аналізу умов праці при експлуатації сушильної установки встановлено, що основними небезпечними факторами є рухомі частини шнека і приводу, нагріті поверхні, електричний струм, запиленість робочої зони та пожежна небезпека сухого лушпиння соняшника.

Для безпечної роботи установки необхідно передбачити захисні кожухи на приводі, теплоізоляцію гарячих елементів, заземлення електричної частини, організоване відведення вологого і запиленого повітря, а також можливість швидкого аварійного вимкнення обладнання.

Важливу роль відіграють і організаційні заходи: інструктаж працівників, заборона очищення машини під час роботи, систематичне технічне обслуговування, контроль температурного режиму та дотримання вимог пожежної безпеки.

Отже, безпечна експлуатація шнекової сушильної установки можлива за умови поєднання раціональних конструктивних рішень і правильної організації роботи персоналу.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ

Технічна придатність конструкції сама по собі ще не є достатньою підставою для її впровадження у виробництво. Для практичного застосування важливо показати, що використання такої установки дозволяє не лише забезпечити потрібну якість підготовки біомаси, але й зменшити витрати господарства на енергоресурси.

Економічний зміст запропонованого рішення полягає в тому, що підприємство отримує можливість використовувати власне лушпиння соняшника як місцеве паливо замість закупівлі традиційних енергоносіїв. У базовому варіанті господарство для покриття теплових потреб використовує покупний природний газ, тоді як у проєктному варіанті передбачається часткове заміщення газу висушеним лушпинням. Саме різниця між витратами у цих двох варіантах і визначає економічний ефект від впровадження сушильної установки.

Розрахунок виконано для умов середнього аграрного підприємства, яке має власну сировинну базу у вигляді лушпиння соняшника. Для оцінки прийнято, що сушильна установка працює сезонно протягом 800 годин на рік, що відповідає потребам господарства у підготовленому паливі та реальним обсягам доступної біомаси.

Вихідні дані для економічного розрахунку наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Вихідні дані для техніко-економічного розрахунку

Показник	Позначення	Одиниця	Значення
Продуктивність установки за вологим лушпинням	G_0	кг/год	120
Продуктивність за висушеним лушпинням	G_1	кг/год	109,33
Тривалість роботи за рік	T	год	800
Початкова вологість	W_0	%	18
Кінцева вологість	W_1	%	10
Нижча теплота згоряння висушеного лушпиння	$Q_{нр}$	МДж/кг	16,5

ККД теплогенератора на лушпинні	η	–	0,80
Сумарна встановлена потужність електроспоживачів	N_Σ	кВт	13,65
Вартість електроенергії	C_e	грн/кВт·год	6,5
Умовна ціна природного газу	C_g	грн/м³	20,0
Теплота згоряння природного газу	Q_g	МДж/м³	31,5
ККД газового обладнання	η_g	–	0,90

У розрахунку прийнято умовні розрахункові ціни, що дозволяє оцінити порядок економічної ефективності проєкту та показати загальну доцільність впровадження сушильної установки.

Кількість висушеного лушпиння, яку можна отримати за рік, визначається за формулою

$$G_p=G_1\cdot T$$

де G_1 – продуктивність установки за висушеним матеріалом, кг/год; T – річний фонд роботи, год.

Підставляємо прийняті значення:

$$G_p=109{,}33\cdot 800=87464 \text{ кг/рік або } G_p=87{,}46 \text{ т/рік}$$

Таким чином, за рік сушильна установка може забезпечити підготовку близько 87,5 т висушеного лушпиння соняшника.

Корисний річний енергетичний потенціал висушеного лушпиння визначаємо з урахуванням його теплоти згоряння та коефіцієнта корисної дії теплогенератора:

$$Q_{кор}=G_p\cdot Q_{нр}\cdot\eta$$

$$Q_{кор}=87464\cdot 16{,}5\cdot 0{,}80=1154524{,}8 \text{ МДж/рік}=1154{,}5 \text{ ГДж/рік}$$

Отриманий результат показує, що висушене лушпиння має достатній енергетичний потенціал для покриття значної частини теплових потреб господарства.

Для порівняння визначимо, яка кількість природного газу забезпечила б таку саму кількість корисної теплоти. Шуканий об’єм газу становить:

$$V_g = \frac{Q_{кор}}{Q_g \cdot \eta_g}$$

$$V_g = \frac{1154524,8}{31,5 \cdot 0,90} = 40723,8\, м^3 / рік$$

– річний вихід висушеного лушпиння, т 87,46

– корисна теплота від його використання, ГДж 1154,5

– еквівалентна кількість природного газу, м³ 40724

Для реалізації проєктного рішення необхідно врахувати витрати на виготовлення основних вузлів сушильної установки, придбання приводу, вентилятора, нагрівального елемента, а також витрати на монтаж і пусконалагоджувальні роботи. Розрахунок капітальних вкладень виконуємо укрупнено, за основними статтями витрат.

Виготовлення корпуса, рами, бункера, патрубків	110000 грн
Виготовлення шнекового вала і витків	45000 грн
Придбання мотор-редуктора	28000 грн
Придбання вентилятора і повітропроводів	18000 грн
Нагрівальний елемент та електрообладнання	54000 грн
Монтаж і налагодження	25000 грн
Інші витрати	20000 грн

Таким чином, загальна сума капітальних вкладень у виготовлення та впровадження установки становить K=300000 грн.

Після введення сушарки в експлуатацію господарство нестиме поточні витрати, пов’язані зі споживанням електроенергії, обслуговуванням обладнання, амортизацією та частковими витратами на працю.

Річне споживання електроенергії визначаємо за формулою

$$We = N_\Sigma \cdot T$$

$$We = 13,65 \cdot 800 = 10920 \text{ кВт}$$

Вартість електроенергії становитиме

$$C_{e\Sigma} = We \cdot Ce$$

$$C_{e\Sigma}=10920\cdot6,5=70980 \text{ грн}$$

Приймаємо, що для обслуговування установки потрібно 0,25 річної зайнятості працівника. За умовної середньомісячної оплати 12000 грн річні витрати на оплату праці становитимуть

$$Сзп=12000\cdot12\cdot0,25=36000 \text{ грн}$$

$$Сзп=12000\cdot12\cdot0,25=36000 \text{ грн}$$

Нарахування на заробітну плату приймаємо 22 %:

$$Сн=0,22\cdot36000=7920 \text{ грн}$$

Загальні витрати на оплату праці:

$$Спраця=36000+7920=43920 \text{ грн}$$

Річні витрати на ремонт і технічне обслуговування приймаємо в розмірі 5 % від капітальної вартості установки:

$$Срем=0,05\cdot300000=15000 \text{ грн}$$

Для спрощеного розрахунку амортизацію приймаємо в розмірі 10 % від вартості установки:

$$А=0,10\cdot300000=30000 \text{ грн}$$

До інших витрат віднесемо мастильні матеріали, дрібні заміни, очищення та допоміжні потреби. Приймаємо їх укрупнено:

$$Сін=8000 \text{ грн}$$

$$Секспл=СеΣ+Спраця+Срем+А+Сін$$

$$Секспл=70980+43920+15000+30000+8000=167900 \text{ грн}$$

У базовому варіанті підприємство не має сушильної установки і не використовує лушпиння соняшника як повноцінне паливо. Для отримання еквівалентної кількості теплоти воно змушене використовувати покупний природний газ.

Вартість природного газу, яка відповідає отриманому вище енергетичному еквіваленту, визначається за формулою

$$Сгаз=Vg\cdot Cg$$

$$Сгаз=40723,8\cdot20=814476 \text{ грн}$$

Таким чином, при відсутності сушарки річні витрати на покриття відповідної кількості теплової енергії становлять близько 814,5 тис. грн.

Річний економічний ефект від впровадження сушильної установки визначається як різниця між витратами у базовому та проєктному варіантах:

$$Ер=Сгаз−Секспл$$

$$Ер=814500−167900=646600 \text{ грн}$$

Отже, очікуваний річний економічний ефект становить

$$Ер=646600 \text{ грн/рік}$$

Термін окупності визначаємо як відношення капітальних вкладень до річного економічного ефекту:

$$Ток=\frac{K}{Ep}$$

$$Ток=\frac{300000}{646600}=0,46 \; року$$

Отже, витрати на виготовлення та впровадження сушильної установки можуть окупитися менш ніж за один рік роботи.

Коефіцієнт економічної ефективності:

$$E=\frac{Ep}{K}$$

$$E=\frac{646600}{300000}=2,16$$

Отримане значення свідчить про високу економічну доцільність проєкту.

Для більшої наочності результати порівняння двох варіантів подано в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5

Порівняльна економічна характеристика базового і проєктного варіантів

Показник	Базовий варіант	Проєктний варіант
Джерело теплоти	природний газ	висушене лушпиння соняшника
Річний еквівалент теплоти, ГДж	1154,5	1154,5

Річні витрати, грн	814500	167900
Собівартість 1 ГДж теплоти, грн/ГДж	705,5	145,4
Річний економічний ефект, грн	–	646600
Термін окупності, років	–	0,46

Собівартість одиниці корисної теплоти у проєктному варіанті значно нижча, ніж при використанні покупного газу. Це підтверджує, що підготовка власного лушпиння соняшника до спалювання є економічно вигідною для господарства.

Висновки

У результаті техніко-економічного обґрунтування встановлено, що впровадження шнекової сушильної установки для підготовки лушпиння соняшника до енергетичного використання є доцільним для умов господарства. За рік роботи установка може забезпечити одержання 87,46 т висушеного лушпиння, енергетичний потенціал якого становить 1154,5 ГДж корисної теплоти.

Визначено, що така кількість підготовленого біопалива дозволяє замістити близько 40,7 тис. м³ природного газу на рік. За прийнятих розрахункових цін річні витрати у базовому варіанті становлять 814,5 тис. грн, тоді як експлуатаційні витрати у проєктному варіанті дорівнюють 167,9 тис. грн.

Розрахований річний економічний ефект від впровадження сушильної установки становить 646,6 тис. грн, а строк окупності капітальних вкладень - близько 0,46 року. Це свідчить про високу економічну ефективність проєктного рішення та підтверджує доцільність використання лушпиння соняшника як місцевого енергетичного ресурсу після його попереднього сушіння.

ВИСНОВКИ

1. У результаті проведеної роботи доведено, що тема є актуальною для аграрних підприємств, які вирощують соняшник і мають можливість використовувати побічну продукцію його переробки як місцевий енергетичний ресурс.
2. Проаналізовано виробничі умови базового господарства та встановлено, що воно має виражену рослинницьку спеціалізацію, а соняшник займає значну частку в структурі посівних площ. Показано, що валовий збір насіння і його часткова переробка забезпечують стабільне утворення лушпиння, яке може бути використане як паливо. Разом із тим визначено, що для ефективного енергетичного використання цієї сировини необхідне попереднє зниження її вологості.
3. Розглянуто теплофізичні властивості лушпиння соняшника та встановлено. Проведено аналіз існуючих типів сушильного обладнання, зокрема камерних, контактних, стрічкових, карусельних сушарок та установок активного вентилювання. На основі порівняння їх конструктивно-технологічних особливостей обґрунтовано, що для підготовки лушпиння соняшника найбільш доцільною є шнекова сушильна установка безперервної дії контактно-конвективного типу.
4. Запропоновано конструкцію сушарки, в якій поєднуються механічне переміщення матеріалу перфорованим шнеком, нагрівання від теплообмінної поверхні та примусове відведення вологи повітряним потоком. Така схема дозволяє забезпечити рівномірніше сушіння лушпиння, покращити його сипкість, знизити кінцеву вологість і підвищити придатність до подальшого спалювання або іншого енергетичного використання.
5. Виконано розрахунок основних параметрів сушильної установки. Визначено, що при продуктивності 120 кг/год за вологим матеріалом установка забезпечує одержання 109,33 кг/год висушеного лушпиння та

видалення 10,67 кг вологи за годину. Розрахунком встановлено, що необхідна теплова потужність установки становить 10,3 кВт, а прийнята потужність нагрівача -12 кВт.

6. Також обґрунтовано основні геометричні параметри конструкції. Прийнято сушильну камеру діаметром 300 мм і довжиною 4000 мм, шнек діаметром 280 мм з кроком 240 мм, діаметр вала 80 мм і частоту обертання шнека 15 об/хв. Визначено, що необхідна витрата повітря для видалення вологи становить 750 м³/год, потужність приводу шнека -1,1 кВт, а потужність вентилятора -0,55 кВт. Прийнята товщина теплоізоляції корпуса дорівнює 40 мм.
7. Встановлено, що за рік роботи установка може забезпечити підготовку 87,46 т висушеного лушпиння соняшника. Корисний енергетичний потенціал цієї кількості біопалива становить 1154,5 ГДж, що еквівалентно заміщенню близько 40,7 тис. м³ природного газу. Річні витрати у базовому варіанті складають 814,5 тис. грн, тоді як у проєктному -167,9 тис. грн. Річний економічний ефект від впровадження сушильної установки становить 646,6 тис. грн, а строк окупності -0,46 року.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Скидан О. В., Голуб Г. А., Кухарець С. М., Ярош Я. Д., Чуба В. В. та ін. Відновлювана енергетика в аграрному виробництві : підручник / за ред. О. В. Скидана, Г. А. Голуба. Житомир ; Київ : НУБіП України, 2022. 421 с.
2. Голуб Г. А., Кухарець С. М., Марус О. А., Павленко М. Ю., Сера К. М., Чуба В. В. Біоенергетичні системи в аграрному виробництві : навч. посіб. / за ред. Г. А. Голуба. Київ : НУБіП України, 2017. 229 с.
3. Голуб Г. А., Кухарець С. М., Чуба В. В., Марус О. А. Виробництво і використання біопалив в агроекосистемах. Механіко-технологічні основи : монографія / за ред. Г. А. Голуба. Київ : НУБіП України, 2018. 254 с.
4. Гайденко О. М. Технологічний процес заготівлі та використання рослинної біомаси як твердого біопалива : монографія. Київ : Аграрна наука, 2017. 144 с.
5. Подпрятов Г. І., Бобер А. В. Післязбиральна доробка та зберігання продукції рослинництва : навч. посіб. Київ : Редакційно-видавничий відділ НУБіП України, 2019. 492 с.
6. Зубко В. М., Соколік С. П. Аналіз технологій та технічних засобів для використання відходів виробництва соняшнику в якості біопалива. Інженерія природокористування. 2017. № 1(7). С. 6–10.
7. Басок Б. І., Давиденко Б. В., Кужель Л. М., Лисенко О. М., Веремійчук Г. М. Експериментальні дослідження спалювання рослинних пелет у побутовому котлі. Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. 2021. Вип. 37. С. 13–23. DOI: 10.32347/2409-2606.2021.37.13-23.
8. Шпичак О. М., Боднар О. В., Пашко С. О. Виробництво біопалива в Україні у контексті оптимального вирішення енергетичної проблеми. Економіка АПК. 2019. № 3. С. 13–27.
9. Гелетуха Г., Олійник Є., Антоненко В., Чаплигін С., Зубенко В., Радченко С. Проведення комплексного дослідження ринку котлів, що

працюють на біомасі в Україні. Київ : Програма розвитку Організації Об'єднаних Націй, 2016. 212 с.

10. ДСТУ 7123:2009. Лушпиння соняшнику. Технічні умови. Чинний від 01.01.2012. Київ : Держспоживстандарт України, 2009.

11. ДСТУ 7124:2009. Лушпиння соняшникове пресоване гранульоване. Технічні умови. Київ : Держспоживстандарт України, 2009.

12. Horák J., Bilan Y., Dankevych A., Nitsenko V., Kucher A., Streimikiene D. Bioenergy production from sunflower husk in Ukraine: Potential and necessary investments. Journal of Business Economics and Management. 2023. Vol. 24, no. 1. P. 1–19. DOI: 10.3846/jbem.2023.17756.

13. Havrysh V., Kalinichenko A., Mentel G., Mentel U., Vasbieva D. G. Husk Energy Supply Systems for Sunflower Oil Mills. Energies. 2020. Vol. 13, no. 2. P. 361. DOI: 10.3390/en13020361.

14. Haponych L., Topal O., Holenko I., Kobzar S. Determination of the Features of Thermal Decomposition of Sunflower Husk in a Fluidized Bed. Відновлювана енергетика. 2024. № 2(77). С. 137–149. DOI: 10.36296/1819-8058.2024.2(77)137-149.

15. Turzyński T., Kluska J., Ochnio M., Kardaś D. Comparative Analysis of Pelletized and Unpelletized Sunflower Husks Combustion Process in a Batch-Type Reactor. Materials. 2021. Vol. 14, no. 10. P. 2484. DOI: 10.3390/ma14102484.

16. Islamova S., Tartygasheva A., Karaeva J., Panchenko V., Litti Y. A Comprehensive Study on the Combustion of Sunflower Husk Pellets by Thermogravimetric and Kinetic Analysis, Kriging Method. Agriculture. 2023. Vol. 13, no. 4. P. 840. DOI: 10.3390/agriculture13040840.

17. Nieder-Heitmann M., Savadkouhi S. S., Venderbosch R., Leijenhorst E., van der Pol E., Vleeming H. Technoeconomic Feasibility of a Sunflower Husk Fast Pyrolysis Value Chain for the Production of Advanced Biofuels. Energy & Fuels. 2022. Vol. 36, no. 21. P. 13084–13093. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.2c01594.

ДОДАТКИ

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ТРАКТОРІВ І СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Обґрунтування конструкції сушильної установки для підготовки лушпиння соняшника до енергетичного використання

Демонстраційний матеріал до дипломного проєкту освітнього ступеня «Бакалавр»

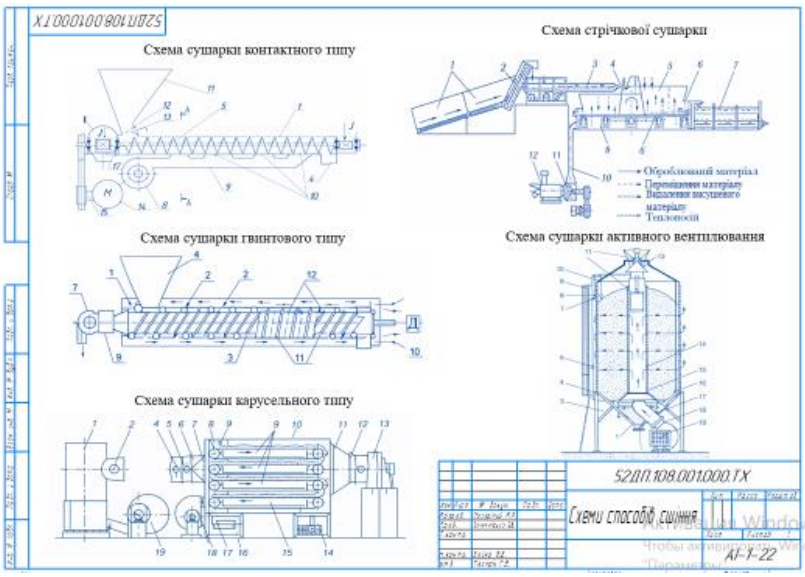
Виконав: здобувач групи АІ-1-22
Погорілий Максим Романович

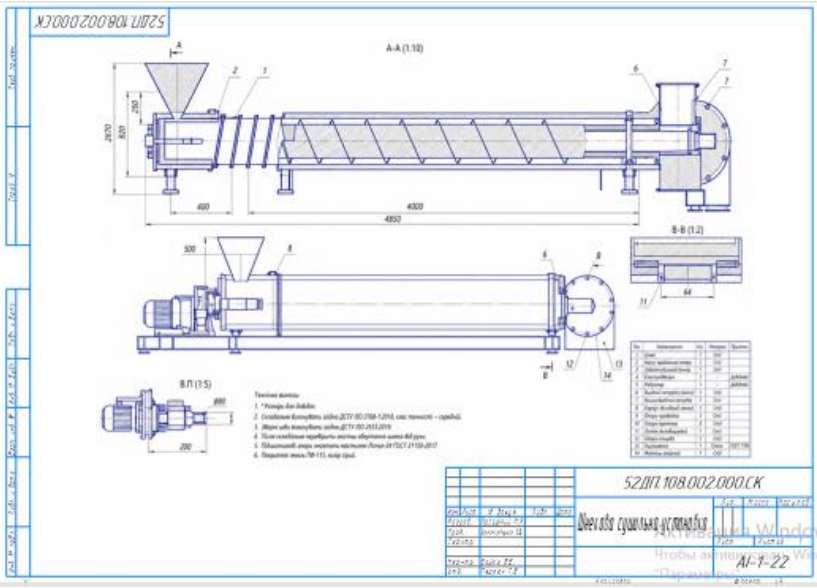
Керівник: к.т.н., доцентка
Золотовська Олена Володимирівна

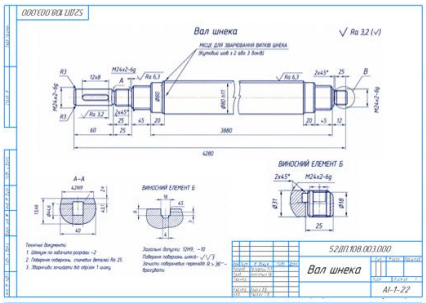
Дніпро 2026

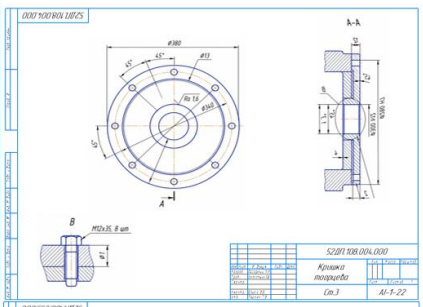
Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите в "Параметры".

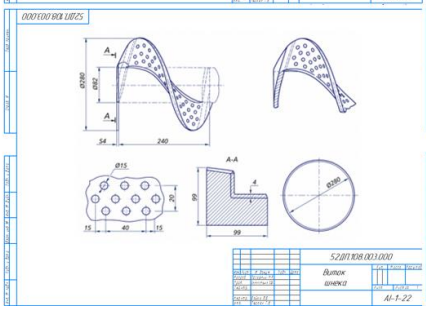


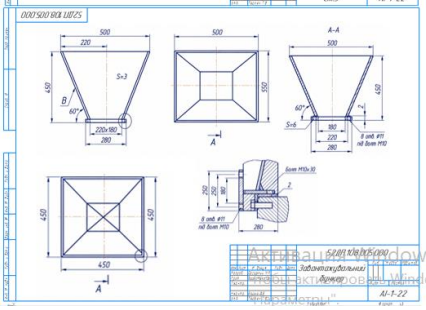


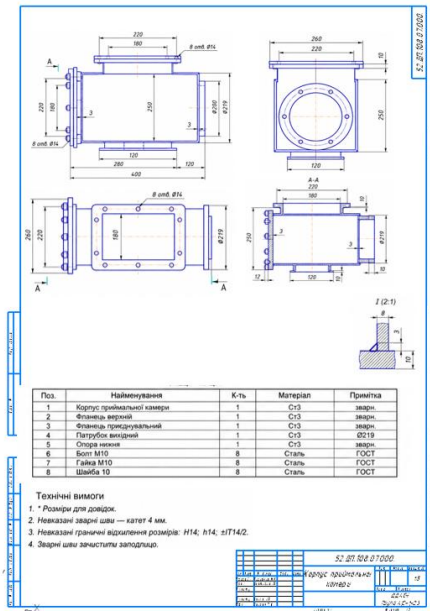

52ДП.108.002.000СК
А-А (1:10)
Б-Б (1:2)
В (1:5)
Технічні вимоги
52ДП.108.002.000СК
Лінія для сушіння установка
Аі-1-22

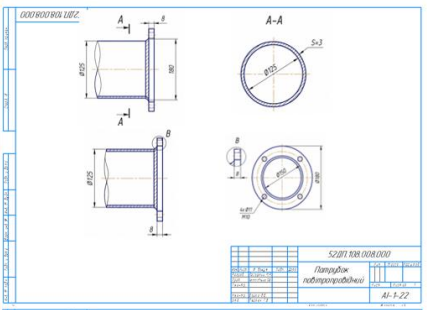

52ДП.108.003.000
Вал шнека
Ra 3,2 (√)
ВИНОСНИЙ ЕЛЕМЕНТ Б
52ДП.108.003.000
Вал шнека
Аі-1-22

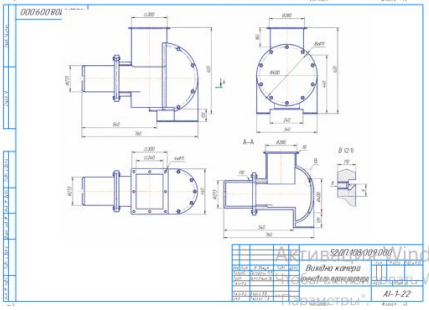

52ДП.108.004.000
Кришка
Аі-1-22


52ДП.108.003.000
Виток
шнека
Аі-1-22


52ДП.108.005.000
Аі-1-22


52.ДП.108.001.000
Поз. Найменування К-ть Матеріал Примітка
1 Корпус приймальної камери 1 Ст3 зварн.
2 Фланець верхній 1 Ст3 зварн.
3 Фланець приєднувальний 1 Ст3 зварн.
4 Патрубок вихідний 1 Ст3 Ø219
5 Опора нижня 1 Ст3 зварн.
6 Болт М10 8 Сталь ГОСТ
7 Гайка М10 8 Сталь ГОСТ
8 Шайба 10 8 Сталь ГОСТ
Технічні вимоги
1. * Розміри для довідок.
2. Невказані зварні шви — катет 4 мм.
3. Невказані граничні відхилення розмірів: H14; h14; ±IT14/2.
4. Зварні шви зачистити заподлицо.
Аі-1-22


52ДП.108.008.000
Патрубок
Аі-1-22


52ДП.108.009.000
Аі-1-22

52ДП.108.010.000.ТБ

Показник	Одиниця виміру	Базовий варіант	Проектний варіант
Джерело теплової енергії	–	природний газ	висушене лушпиння соняшника
Річна потреба в корисній теплоті	ГДж/рік	1154,5	1154,5
Еквівалентна витрата природного газу	м³/рік	40724	–
Річний обсяг висушеного лушпиння	т/рік	–	87,46
Продуктивність сушарки за вологим матеріалом	кг/год	–	120
Продуктивність за висушеним матеріалом	кг/год	–	109,33
Річний фонд роботи установки	год/рік	–	800
Сумарна встановлена потужність обладнання	кВт	–	13,65
Річне споживання електроенергії	кВт·год/рік	–	10920
Витрати на паливо / електроенергію	грн/рік	814480	70980
Заробітна плата з нарахуваннями	грн/рік	–	43920
Ремонт, амортизація та інші витрати	грн/рік	–	53000
Загальні річні витрати	грн/рік	814480	167900
Собівартість 1 ГДж теплоти	грн/ГДж	705,5	145,4
Капітальні вкладення	грн	–	300000
Річний економічний ефект	грн/рік	–	646580
Строк окупності	років	–	0,46

52ДП.108.010.000.ТБ

Економічна ефективність

АІ-1-22

Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите
"Параметры".