

**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:

**Підвищення енергоефективності процесу сушіння насіння
соняшника з використанням побічної продукції соняшника як палива**

Виконав: здобувачка групи АІС-1-23

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

Іванова Галина Віталіївна _____

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)

Теслюк Г.В

(підпис) (прізвище, ініціали)

« ____ » _____ 2026 р.

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

Іванова Галина Віталіївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення енергоефективності процесу сушіння насіння соняшника з використанням побічної продукції соняшника як палива

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 _____ 09.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту Аналіз виробничої діяльності підприємства.

Аналіз літературних джерел та обґрунтування актуальності дипломного проєкту. Аналіз конструктивно-режимних параметрів теплообмінників в процесі сушіння насіння соняшника

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). 1. Обґрунтування існуючих технологій, конструкцій та обґрунтування теми дипломного проєкту 2. Обґрунтування процесів сушіння насіння соняшника та консттрукцій

теплообмінників. 3 Конструкторська проробка проєкту. 4. Охорона праці та захист навколишнього середовища. 5. Техніко-економічна оцінка проєктних рішень. Висновки. Бібліографічний список.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Аналіз господарства (A1). 2. Технологічна схема сушіння (A1). 3. Аналіз конструкцій теплообмінників (A1). 4. Теплообмінник (A1). 5. Передня газова камера теплообмінника (A2). Труба теплообмінника (A3). Трубна решітка (A4). Перегородка трубного пучка (A4). 5. Вузол в розворотному потоку (A2). Патрубок входу димових газів (A3). Опора теплообмінника (A3) 5. 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 проєкту	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	

Здобувачка

_____ Іванова Г.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

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

№строку	Формат	Позначення	Найменування	Кільк.	Номер листа	Примітка
			Документація			
1	A4	52.ДП.107.000.000.ПЗ	Розрахунково -			
			пояснювальна записка	66		
2	A1	52.ДП.107.000.001.ТБ	Аналіз господарства	1	1	
3	A1	52.ДП.107.000.002.ТХ	Технологічна схема			
			сушіння	1	2	
4	A1	52.ДП.107.000.003.ТХ	Аналіз конструкцій	1	3	
			теплообмінників			
5	A1	52.ДП.107.000.004.СК	Теплообмінник	1	4	
6	A2	52.ДП.107.000.005.СК	Передня газова камера	1	5	
			теплообмінника	1		
	A3	52.ДП.107.000.006.СК	Труба теплообмінника	1	5	
	A4	52.ДП.107.000.007.СК	Трубна решітка	1	5	
	A4	52.ДП.107.000.008.СК	Перегородка трубного		5	
			пучка	1		
7	A2	52.ДП.107.000.009.СК	Вузол з розворотом потоку		6	
	A3	52.ДП.107.000.010.СК	Патрубок входу димових		6	
			газів			
	A3	52.ДП.107.000.010.СК	Опора теплообмінника		6	
8	A1	52.ДП.107.000.000.ТБ	Економічна ефективність	1	7	
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата	52.ДП.107.000.000.ПЗ	
Розроб.	Іванова Г.В.					
Перев.	Золотовська О.В.					
Н.Контр	Бойко В.Б.				Відомості дипломного проекту	
					Літ	Лист
						Листів
						66
					ДДАЕУ	

Затв.	Теслюк Г.В..				Група АІС-1-23
-------	--------------	--	--	--	----------------

Анотація

Іванова Г.В. Підвищення енергоефективності процесу сушіння насіння соняшника з використанням побічної продукції соняшника як палива/ Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026

У дипломній роботі розглянуто питання підвищення енергоефективності процесу сушіння насіння соняшника в умовах фермерського господарства. Проведено аналіз виробничих умов господарства, структури посівних площ, обсягів вирощування соняшника та кількості побічної продукції, що може бути використана як місцевий енергетичний ресурс. Обґрунтовано доцільність використання побічної продукції соняшника як палива для теплогенератора сушильного агрегату.

У роботі проаналізовано існуючу теплову схему сушіння, визначено основні втрати теплоти та запропоновано технічне рішення щодо її вдосконалення шляхом установлення рекуперативного трубчастого теплообмінника. Виконано теплотехнічний, конструктивний і техніко-економічний розрахунки, визначено основні параметри теплообмінника, розроблено складальне креслення та деталювання основних конструктивних елементів. Також у дипломі наведено заходи з охорони праці під час експлуатації модернізованого сушильного обладнання.

Ключові слова: насіння соняшника, побічна продукція, сушіння, теплообмінник, теплогенератор, енергоефективність, біопаливо, рекуперація теплоти, сушильний агрегат, фермерське господарство.

ЗМІСТ

Анотація	5
Вступ	7
1 СТАН ТА ХАРАКТЕРСТИКА ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА	9
1.1 Стан виробництва соняшнику та формування побічної продукції	14
1.2 Оцінка потенціалу побічної продукції соняшнику в умовах господарства	16
1.2.1 Характеристика побічної продукції соняшнику як енергетичної сировини	18
1.3 Аналіз заготівлі, транспортування та підготовки побічної продукції соняшнику до енергетичного використання	22
Висновки	24
2 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ	26
2.1. Аналіз технологічної схеми підготовки побічної продукції соняшника до енергетичного використання	26
2.2 Аналіз існуючої схеми сушіння насіння соняшника	30
2.2.1 Аналіз теплових втрат схеми сушіння	32
2.3 Аналіз конструкцій теплообмінників для утилізації теплоти димових газів	33
2.3.1 Обґрунтування вибору конструкції теплообмінника	34
Висновки	40
3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ПРОРОБКА ПРОЄКТУ	41
3.1 Опис конструкції запропонованого теплообмінника	42
3.2 Методика розрахунку теплообмінника	44
Висновки	49
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	50
4.1 Загальна оцінка умов праці під час експлуатації сушильного агрегату	50
4.2 Вимоги безпеки до обладнання та організації робочого місця	52
4.3 Виробнича санітарія та захист працівників від шкідливих факторів	53
Висновки	55
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК	56
Висновки	61
ВИСНОВКИ	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	65

ВСТУП

Сучасний розвиток агропромислового комплексу України характеризується зростанням обсягів виробництва сільськогосподарської продукції та, відповідно, збільшенням кількості побічної продукції і відходів її переробки. Однією з найбільш поширених культур є соняшник, переробка якого супроводжується утворенням значних обсягів лушпиння, стебел та кошиків. Ці види біомаси мають високий енергетичний потенціал і можуть ефективно використовуватись як альтернативне паливо або сировина для подальшої переробки.

Згідно з аналітичними дослідженнями, побічна продукція соняшнику є перспективним джерелом відновлюваної енергії та може відігравати важливу роль у забезпеченні енергетичної незалежності аграрних підприємств. Використання такої біомаси дозволяє не лише зменшити витрати на традиційні енергоносії, але й вирішити проблему утилізації відходів сільськогосподарського виробництва.

Разом з тим, процеси переробки побічної продукції соняшнику, зокрема сушіння, термічна обробка, спалювання та гранулювання, характеризуються значною енергоємністю. Найбільш енерговитратним етапом є процес сушіння, який потребує значних витрат теплової енергії для зниження вологості сировини до необхідного рівня. У більшості випадків теплота для сушіння отримується шляхом спалювання палива, що призводить до додаткових витрат та зниження економічної ефективності виробництва.

Однією з основних проблем існуючих технологій є значні втрати теплоти з відхідними газами, які можуть досягати 30–40 % від загальної кількості виробленої теплової енергії. У багатьох установках ця теплота не використовується повторно, а виводиться в навколишнє середовище, що

призводить до нераціонального використання енергетичних ресурсів та зниження загального коефіцієнта корисної дії технологічного обладнання.

В умовах постійного зростання вартості енергоносіїв, а також підвищення вимог до енергоефективності та екологічності виробництва, особливої актуальності набуває впровадження енергозберігаючих технологій. Одним із найбільш ефективних напрямків підвищення енергоефективності є утилізація вторинної теплоти, яка утворюється в процесі переробки біомаси.

Перспективним технічним рішенням у цьому напрямку є застосування теплообмінників, які дозволяють передавати теплоту відхідних газів для підігріву повітря або сировини, що надходить у технологічний процес. Використання теплообмінників дає змогу зменшити витрати палива, підвищити коефіцієнт корисної дії установок та забезпечити більш раціональне використання енергетичних ресурсів.

Таким чином, підвищення енергоефективності переробки побічної продукції соняшнику шляхом застосування теплообмінників є актуальним науково-технічним завданням, вирішення якого сприятиме зниженню енергетичних витрат, підвищенню економічної ефективності виробництва та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

Метою даної роботи є підвищення енергоефективності процесу переробки побічної продукції соняшнику шляхом обґрунтування конструкції та параметрів теплообмінника для утилізації вторинної теплоти.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання: проаналізувати сучасні способи переробки побічної продукції соняшнику; дослідити енергетичні витрати технологічних процесів; визначити основні джерела втрат теплоти; обґрунтувати доцільність застосування теплообмінника; розробити конструкцію теплообмінника; виконати теплотехнічний розрахунок; оцінити економічну ефективність запропонованого рішення; розробити заходи з охорони праці та захисту навколишнього середовища.

1 СТАН ТА ХАРАКТЕРСТИКА ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

Для обґрунтування доцільності впровадження заходів щодо підвищення енергоефективності переробки побічної продукції соняшнику в дипломній роботі розглядається сільськогосподарське підприємство фермерське господарство «Сонячне-Агро», яке спеціалізується на вирощуванні зернових і технічних культур.

Господарство розташоване в зоні сприятливих ґрунтово-кліматичних умов для вирощування соняшнику, пшениці, ячменю та кукурудзи. Основним напрямом діяльності підприємства є рослинництво. Виробнича база господарства включає орні землі, машинно-тракторний парк, зерноскладські приміщення, транспортні засоби, майданчики для тимчасового зберігання рослинної маси та допоміжне енергетичне обладнання.

Загальна площа сільськогосподарських угідь господарства становить 1680 га, з яких 1540 га припадає на ріллю. У структурі посівних площ вагоме місце займають зернові культури та соняшник. Вирощування соняшнику є одним із найбільш економічно доцільних напрямів діяльності господарства, оскільки ця культура забезпечує стабільний попит на ринку та формує значний обсяг як основної, так і побічної продукції.

Підприємство має у своєму розпорядженні трактори тягового класу 1,4–3,0, зернозбиральні комбайни, причепи, ґрунтообробну та посівну техніку, а також обладнання для післязбиральної доробки продукції. У господарстві наявні складські приміщення для зберігання зерна та відкриті майданчики для накопичення рослинної сировини. Це створює передумови для організації збирання, підготовки та використання побічної продукції соняшнику як додаткового енергетичного ресурсу.

Основними культурами, що вирощуються в господарстві, є озима пшениця, ячмінь, кукурудза на зерно, соняшник та ріпак. Структура посівних площ сформована з урахуванням агротехнічних вимог сівозміни, економічної доцільності та наявних виробничих ресурсів.

Таблиця 1.1

Загальна характеристика господарства

Показник	Значення
Напрямок діяльності	рослинництво
Загальна площа с.-г. угідь, га	1680
Рілля, га	1540
Кількість працівників, осіб	29
Кількість тракторів, од.	11
Кількість зернозбиральних комбайнів, од.	3
Наявність зерноскладів	є
Наявність майданчика для рослинної сировини	є
Наявність сушильного обладнання	є
Наявність теплогенератора	є

У структурі посівних площ господарства соняшник займає важливе місце як одна з основних технічних культур. Для подальших розрахунків приймається, що площа його вирощування становить 260 га, що відповідає типовим показникам середнього фермерського господарства.

Таблиця 1.2

Структура посівних площ господарства

Культура	Площа, га	Частка, %
Озима пшениця	420	27,3
Ячмінь	180	11,7
Кукурудза на зерно	340	22,1

Соняшник	260	16,9
Ріпак	140	9,1
Горох та інші культури	200	12,9
Разом	1540	100,0

Середня урожайність соняшнику в умовах господарства приймається на рівні 2,8 т/га, що відповідає реальним показникам для господарств із належним рівнем агротехніки. За такої урожайності валовий збір насіння становить:

$$Q_H = 260 \cdot 2,8 = 728 \text{ т}$$

Основною продукцією є насіння соняшнику, тоді як побічну продукцію становлять стебла, кошики, листя, полова та органічні домішки. Для інженерних розрахунків доцільно прийняти коефіцієнт виходу побічної продукції на рівні 1,7 від маси насіння. Тоді орієнтовна кількість побічної продукції становитиме:

$$Q_{пп} = 728 \cdot 1,7 = 1237,6 \text{ т}$$

Отже, щорічно в господарстві може утворюватися близько 1238 т побічної продукції соняшнику.

Найбільшу частку цієї маси становить стеблова біомаса, дещо меншу - кошики та полова. Частина побічної продукції залишається на полі після збирання, а частина може надходити у вигляді домішок при очищенні насіння. За умови правильної організації заготівлі та підготовки ця сировина може використовуватися як місцевий енергетичний ресурс.

Таблиця 1.3

Вихід основної та побічної продукції соняшнику в господарстві

Показник	Значення
Площа посіву соняшнику, га	260
Середня урожайність насіння, т/га	2,8

Валовий збір насіння, т	728
Коефіцієнт виходу побічної продукції	1,7
Загальний вихід побічної продукції, т	1237,6
У тому числі стеблова маса, т	820
Кошики та полова, т	360
Органічні домішки та інші рештки, т	57,6

Слід зазначити, що побічна продукція соняшнику в природному стані не завжди придатна для безпосереднього енергетичного використання. Основними причинами є підвищена вологість, нерівномірність фракційного складу, низька насипна щільність і складність транспортування. Найбільш вагомим фактором є саме вологість, оскільки вона знижує теплотворну здатність біомаси та погіршує умови її зберігання і спалювання.

Для подальшого використання побічної продукції соняшнику як палива в господарстві доцільно передбачити її попереднє сушіння. Це дає змогу знизити вологість матеріалу до рівня, придатного для стабільного згоряння та підвищення тепловіддачі. Разом з тим процес сушіння супроводжується значними витратами теплоти, що знижує загальну енергоефективність технології.

Таким чином, в умовах господарства ФГ «Сонячне-Агро» утворюється достатній обсяг побічної продукції соняшнику для її подальшої енергетичної переробки. Наявність понад 1200 т рослинної маси на рік свідчить про реальну можливість організації технології підготовки та використання цієї біомаси як місцевого джерела енергії. Водночас значні витрати теплоти на сушіння обґрунтовують необхідність удосконалення технологічного процесу шляхом застосування теплообмінника.

Машинно-тракторний парк господарства є достатнім для виконання основних технологічних операцій з вирощування, збирання, транспортування та післязбиральної доробки сільськогосподарської продукції. У складі технічних засобів наявні трактори різних класів тяги, зернозбиральні

комбайни, спеціалізовані жатки для збирання соняшнику, ґрунтообробна та посівна техніка, обприскувачі, розкидачі добрив, транспортні причеи, обладнання для очищення та сушіння зерна. Наявність у господарстві зерносушарки та теплогенератора створює передумови для використання побічної продукції соняшнику як місцевого енергетичного ресурсу та впровадження технічних рішень, спрямованих на підвищення енергоефективності її переробки.

Таблиця 1.4

Склад машинно-тракторного парку господарства

№	Найменування техніки	Марка, модель	Кількість, од.	Призначення
1	Трактор колісний	MT3-82.1	3	транспортні роботи, сівба, допоміжні операції
2	Трактор колісний	MT3-1221	2	передпосівний обробіток, перевезення вантажів
3	Трактор колісний	ХТ3-17221	1	основний обробіток ґрунту
4	Трактор колісний	John Deere 8335R	1	енергоємні польові роботи
5	Зернозбиральний комбайн	Claas Tucano 320	1	збирання зернових культур
6	Зернозбиральний комбайн	New Holland TC 5.90	1	збирання зернових та технічних культур
7	Соняшникова жатка	ПСП-8	2	збирання соняшнику
8	Зернова жатка	Claas C450	1	збирання зернових культур
9	Кукурудзяна жатка	ЖК-80	1	збирання кукурудзи
10	Плуг	ПЛН-5-35	1	оранка
11	Плуг оборотний	Lemken EurOpal 7	1	основний обробіток ґрунту
12	Дискова борона	БДВП-6,3	1	луцення стерні, поверхневий обробіток
13	Культиватор	КПС-4	2	передпосівний обробіток ґрунту

14	Глибкорозпушувач	ГР-4,5	1	глибоке розпушування
15	Сівалка зернова	СЗ-5,4	2	посів зернових культур
16	Сівалка просапна	УПС-8	1	посів соняшнику та кукурудзи
17	Обприскувач причіпний	ОП-2000	1	внесення засобів захисту рослин
18	Розкидач мінеральних добрив	МВУ-8	1	внесення мінеральних добрив
19	Причіп тракторний	2ПТС-4	3	перевезення зерна, добрив, біомаси
20	Причіп тракторний	2ПТС-6	2	перевезення сільськогосподарських вантажів
21	Напівпричіп тракторний	НТС-10	1	перевезення сипких матеріалів
22	Навантажувач фронтальний	ПКУ-0,8	1	навантаження зерна та рослинної маси
23	Зерноочисна машина	ОВС-25	1	очищення зерна
24	Зерносушарка	шахтного типу ДСП-25	1	сушіння зернових та олійних культур
25	Теплогенератор	твердопаливний ТГ-1,0	1	одержання гарячого теплоносія для сушарки

Для післязбиральної доробки зернової та олійної продукції в господарстві використовується зерносушарка шахтного типу ДСП-25. Дана сушарка забезпечує сушіння насіння соняшника з дотриманням необхідного температурного режиму та може працювати в комплексі з твердопаливним теплогенератором. Як паливо для теплогенератора доцільно використовувати побічну продукцію соняшнику, що утворюється в господарстві після збирання врожаю.

1.1 Стан виробництва соняшнику та формування побічної продукції

Соняшник є однією з найбільш рентабельних та поширених сільськогосподарських культур в Україні. Високий рівень економічної ефективності його вирощування забезпечує стабільне розширення посівних площ та зростання обсягів виробництва. У структурі аграрного виробництва соняшник займає провідні позиції, що обумовлює значні обсяги як основної, так і побічної продукції.

Збільшення валового збору соняшнику супроводжується відповідним зростанням кількості побічної продукції, до якої належать лушпиння, стебла та кошики. Ці види біомаси формуються як у процесі збирання врожаю, так і під час промислової переробки насіння, створюючи значний ресурсний потенціал для подальшого використання.

Вирощування соняшнику зосереджене переважно у степовій та лісостеповій зонах України, однак останнім часом спостерігається розширення посівних площ і в інших регіонах. Найбільші обсяги виробництва характерні для областей із сприятливими ґрунтово-кліматичними умовами, що забезпечує формування значних обсягів побічної продукції саме в цих регіонах.

Під час збирання врожаю основна продукція - насіння - відокремлюється, тоді як значна частина рослинної маси, зокрема стебла та кошики, залишається на полі у вигляді післяжнивних решток. Лушпиння утворюється на стадії переробки насіння на підприємствах олійно-жирової промисловості. Таким чином, формується значна кількість побічної продукції, яка може бути використана як вторинний ресурс.

Традиційно післяжнивні рештки подрібнюють і заробляють у ґрунт або утилізують шляхом спалювання, що призводить до втрати значної частини потенційної енергії та негативно впливає на екологічний стан довкілля. Альтернативним напрямком є використання побічної продукції соняшнику як енергетичної сировини, що дозволяє підвищити ефективність аграрного виробництва та зменшити залежність від традиційних енергоносіїв.

Разом з тим, ефективне використання побічної продукції соняшнику потребує її попередньої підготовки. Одним із ключових факторів є вологість біомаси, яка суттєво впливає на процеси зберігання, транспортування та енергетичного використання. Для забезпечення стабільних технологічних процесів вологість матеріалу повинна бути знижена до оптимального рівня, що досягається шляхом сушіння.

Підвищена вологість біомаси призводить до зниження теплотворної здатності, погіршення умов згоряння та збільшення енергетичних витрат. Тому процес сушіння є невід'ємним етапом підготовки побічної продукції соняшнику до подальшої переробки.

Таким чином, значні обсяги виробництва соняшнику формують потужну сировинну базу побічної продукції, яка має високий потенціал для енергетичного використання. Водночас необхідність її попередньої обробки, зокрема сушіння, зумовлює значні витрати теплової енергії, що обґрунтовує актуальність підвищення енергоефективності технологічних процесів.

1.2 Оцінка потенціалу побічної продукції соняшнику в умовах господарства

Соняшник належить до культур, вирощування яких супроводжується утворенням значного обсягу побічної продукції. Після збирання основної продукції, тобто насіння, у господарстві залишаються стебла, кошики, листя, полова та інші рослинні рештки, які можуть розглядатися як додатковий сировинний ресурс для енергетичного використання.

У структурі біомаси рослини соняшнику насіння становить лише частину загальної маси врожаю, тоді як решта припадає на побічну продукцію. До її основних складових належать стеблова маса, кошики, полова та лущиння, яке утворюється при подальшій переробці насіння. В умовах господарства найбільш доступними для використання є стебла та

кошики, а за наявності очищення чи переробки насіння - також лушпиння та органічні домішки.

Після проходження збиральної техніки значна частина побічної продукції залишається на полі. За традиційної технології її подрібнюють і рівномірно розподіляють по поверхні ґрунту або частково заробляють у ґрунт. Проте такий підхід не завжди є ефективним, оскільки рослинні рештки розкладаються повільно, створюють труднощі під час підготовки поля до наступної культури, а в окремих випадках навіть спалюються, що призводить до безповоротної втрати енергетичного ресурсу.

Альтернативним рішенням є заготівля побічної продукції соняшнику для подальшої переробки та енергетичного використання. Особливу цінність мають стебла і кошики, які після підсушування можуть застосовуватись як біопаливо. При цьому важливо враховувати, що фактичний вихід побічної продукції залежить від урожайності насіння, густоти стояння рослин, висоти стебел, вологості та способу збирання.

Для практичних розрахунків у межах дипломного проєкту доцільно користуватись не загальнодержавними показниками, а узагальненими питомими коефіцієнтами виходу побічної продукції на одиницю основного врожаю. У середньому можна прийняти, що на 1 т насіння соняшнику утворюється близько 1,5...2,0 т побічної продукції в натуральній масі. У її складі найбільшу частку становить стеблова маса, меншу - кошики та полова. Якщо насіння надходить на переробку, додатково формується лушпиння, кількість якого також може становити суттєву частку від маси сировини.

Для умов господарства це означає, що навіть за відносно невеликих площ вирощування соняшнику формується достатній обсяг побічної продукції, який може бути використаний як місцевий енергетичний ресурс. Наприклад, при вирощуванні соняшнику на площі 100 га і середній урожайності 2,5 т/га валовий збір насіння становитиме близько 250 т. За коефіцієнта виходу побічної продукції 1,8 маса стебел, кошиків та інших

решток може досягати близько 450 т. Такий обсяг біомаси вже є достатнім для організації її часткової переробки та використання в енергетичних цілях.

Слід зазначити, що паливні властивості побічної продукції значною мірою залежать від її вологості. Зібрана біомаса часто має підвищену вологість, що ускладнює її безпосереднє використання як палива та потребує попереднього сушіння. Саме тому при оцінці потенціалу побічної продукції важливо враховувати не лише її кількість, а й придатність до подальшої енергетичної переробки.

Отже, побічна продукція соняшнику в умовах господарства є вагомим додатковим ресурсом, який може бути використаний для отримання теплової енергії. Це створює передумови для впровадження енергоощадних технологій її підготовки та переробки, зокрема із застосуванням сушильного обладнання і теплообмінників для утилізації вторинної теплоти.

Таблиця 1.5

Орієнтовний вихід побічної продукції соняшнику в умовах господарства

Показник	Значення
Площа посіву соняшнику, га	100
Середня урожайність насіння, т/га	2,5
Валовий збір насіння, т	250
Коефіцієнт виходу побічної продукції	1,8
Загальний вихід побічної продукції, т	450
Орієнтовний вихід стеблової маси, т	300–320
Орієнтовний вихід кошиків і полови, т	130–150

1.2.1 Характеристика побічної продукції соняшнику як енергетичної сировини

Побічна продукція соняшнику, що утворюється в умовах господарства після збирання та первинної доробки врожаю, може розглядатися як

перспективна енергетична сировина для отримання теплової енергії. До її складу входять стебла, кошики, листя, полова, а також органічні домішки, які утворюються під час очищення насіння. У разі подальшої переробки насіння додатково утворюється лушпиння, яке також має добрі паливні властивості.

На відміну від традиційних енергоносіїв, побічна продукція соняшнику є місцевим відновлюваним ресурсом, який формується безпосередньо в господарстві. Її використання дає змогу зменшити залежність від дорогих паливно-енергетичних ресурсів, підвищити ефективність використання рослинної маси та скоротити втрати енергії, що закладена в біомасі.

Енергетична цінність побічної продукції соняшнику визначається її фізико-механічними та теплотехнічними характеристиками. Найбільш важливими серед них є вологість, теплота згоряння, зольність, насипна щільність, однорідність фракційного складу та сипкість матеріалу. Саме ці показники визначають можливість використання біомаси як палива, особливості її зберігання, транспортування, сушіння і спалювання.

Одним із головних параметрів є вологість. Побічна продукція соняшнику після збирання може мати підвищену вологість, особливо у випадку свіжозрізаних стебел, кошиків або домішок, що пройшли через комбайн. Висока вологість негативно впливає на паливні властивості матеріалу, оскільки значна частина теплоти при спалюванні витрачається не на корисне тепловиділення, а на випаровування вологи. Унаслідок цього знижується ефективна теплота згоряння, погіршується стабільність процесу спалювання і зростають витрати палива.

Для енергетичного використання біомаси важливо знизити вологість до рівня, за якого забезпечується задовільне горіння та стабільна теплова потужність. Тому попереднє сушіння побічної продукції є необхідною операцією її підготовки до подальшого використання.

Іншим важливим показником є теплота згоряння. Побічна продукція соняшнику належить до біомаси з достатньо високим енергетичним потенціалом. У сухому стані вона може забезпечувати теплоту згоряння,

достатню для використання у теплогенераторах, котлах або інших енергетичних установках. При цьому найбільш стабільними паливними характеристиками відзначаються лушпиння та висушені кошики, тоді як стеблова маса через більшу неоднорідність і залишкову вологість потребує ретельнішої підготовки.

Важливим параметром є також зольність, яка впливає на процес горіння та експлуатаційні характеристики теплотехнічного обладнання. Зі збільшенням зольності зменшується частка горючої маси, зростає кількість твердих залишків після спалювання, а також може ускладнюватися робота топкових пристроїв. Для побічної продукції соняшнику зольність зазвичай є вищою, ніж у деревної біомаси, що слід враховувати при виборі способу спалювання та режимів роботи обладнання.

Суттєве значення має насипна щільність. Стеблова маса, кошики та полова характеризуються низькою щільністю, через що займають великий об'єм під час транспортування і зберігання. Це ускладнює логістику та підвищує витрати на переміщення біомаси в межах господарства. Крім того, низька щільність ускладнює рівномірне подавання матеріалу в зону сушіння або спалювання. Тому для покращення технологічних властивостей біомасу інколи подрібнюють, ущільнюють або висушують до більш стабільного стану.

Не менш важливим є фракційний склад побічної продукції. Стебла, кошики і полова мають різну форму, розміри та структуру, що зумовлює неоднорідність сировини. Така неоднорідність може призводити до нерівномірного прогрівання під час сушіння, нестабільного руху матеріалу в робочій зоні установки та ускладнення дозування біомаси. Отже, під час вибору технологічної схеми її переробки необхідно враховувати характер підготовки матеріалу та умови організації тепломасообмінних процесів.

Для узагальненої оцінки побічної продукції соняшнику як енергетичної сировини доцільно навести її основні характеристики.

Таблиця 1.6

Основні характеристики побічної продукції соняшнику як енергетичної сировини

Показник	Стеблова маса	Кошики та полова	Лушпиння
Вологість після збирання, %	20–35	18–30	10–15
Вологість після сушіння, %	10–15	10–14	8–12
Нижча теплота згоряння сухої маси, МДж/кг	14,5–16,0	15,0–16,5	16,0–18,0
Зольність, %	4–7	5–8	2–4
Насипна щільність, кг/м ³	90–140	120–180	100–160
Придатність до прямого спалювання	середня	добра	висока

З наведених характеристик видно, що побічна продукція соняшнику може бути використана як місцеве паливо, однак її ефективне енергетичне застосування можливе лише за умови належної підготовки. Найбільш суттєвим обмеженням є підвищена вологість, яка знижує теплотворну здатність та ускладнює стабільне горіння. Саме тому сушіння біомаси є необхідним етапом перед її використанням у господарстві.

У технологічному аспекті сушіння побічної продукції соняшнику пов'язане зі значними витратами теплової енергії. Враховуючи, що в процесі одержання гарячого теплоносія та відведення відпрацьованих газів частина теплоти втрачається, актуальним є застосування технічних рішень, спрямованих на її повторне використання. Одним із таких рішень є встановлення теплообмінника, який дозволяє утилізувати частину вторинної теплоти та зменшити витрати палива на сушіння.

Таким чином, побічна продукція соняшнику в умовах господарства є реальним джерелом енергетичної сировини з достатнім паливним потенціалом. Разом з тим її фізичні властивості, насамперед підвищена вологість та низька насипна щільність, вимагають попередньої підготовки. Це обґрунтовує доцільність удосконалення процесу сушіння та

впровадження теплообмінника для підвищення енергоефективності переробки біомаси.

1.3 Аналіз заготівлі, транспортування та підготовки побічної продукції соняшнику до енергетичного використання

Заготівля побічної продукції соняшнику є початковим етапом її подальшого використання в енергетичних цілях. Ефективність цього етапу значною мірою визначає доцільність переробки біомаси, оскільки саме під час збирання, транспортування та зберігання формуються основні втрати маси, погіршуються паливні властивості сировини та зростають загальні витрати на її підготовку.

У технологічному ланцюзі утворення та використання побічної продукції соняшнику можна виділити два основні потоки біомаси. Перший потік становлять частини рослини, які проходять через зернозбиральний комбайн, зокрема подрібнені кошики, полова та органічні домішки. Другий потік утворює стеблова маса, яка після збирання насіння залишається на полі. Саме стеблова біомаса є найбільш масовою складовою побічної продукції соняшнику.

В умовах господарства найбільш доступним напрямком використання побічної продукції є заготівля стебел і кошиків з подальшим застосуванням як твердого біопалива. При цьому важливою перевагою стеблової маси є можливість її природного підсушування безпосередньо в полі за сприятливих погодних умов. Це дозволяє частково знизити вологість біомаси ще до її транспортування на місце зберігання або переробки, що позитивно впливає на паливні характеристики.

Залежно від наявного машинно-тракторного парку господарства заготівля побічної продукції соняшнику може здійснюватися кількома способами. Найбільш простим є подрібнення та збирання стеблової маси з використанням кормозбиральної або іншої подрібнювальної техніки з подальшим завантаженням у причепи. Також можливе формування валків із

рослинних решток з наступним підбиранням і транспортуванням. Вибір способу залежить від площі посіву, врожайності, стану біомаси та технічного забезпечення господарства.

Разом з тим, слід враховувати, що побічна продукція соняшнику характеризується низькою насипною щільністю та неоднорідним складом. Це ускладнює її транспортування, оскільки при невеликій масі вона займає значний об'єм кузова або причепа. У зв'язку з цим транспортні витрати можуть бути досить суттєвими навіть за відносно невеликих відстаней перевезення. Тому у практиці господарства доцільно організовувати зберігання або попередню підготовку біомаси на мінімальній відстані від місця її заготівлі.

Важливою проблемою є також вологість зібраної біомаси. Якщо стеблова маса або подрібнені кошики мають підвищену вологість, їх безпосереднє використання як палива є малоефективним. У вологій біомасі знижується теплота згоряння, погіршуються умови спалювання, підвищується димність та зростає питома витрата палива на отримання одиниці теплової енергії. Крім того, тривале зберігання вологої біомаси може призвести до самозігрівання, розвитку мікробіологічних процесів та втрати частини сухої речовини.

З огляду на це, підготовка побічної продукції соняшнику до енергетичного використання повинна включати не лише її заготівлю та транспортування, а й зниження вологості до рівня, придатного для стабільного використання як біопалива. Саме процес сушіння є одним із найбільш важливих етапів підготовки біомаси, але одночасно він потребує значних витрат теплової енергії.

У межах господарства доцільно розглядати спрощений технологічний ланцюг використання побічної продукції соняшнику, який включає такі основні етапи: збирання рослинних решток, транспортування до місця складування, тимчасове зберігання, сушіння та подальше використання в

теплогенераторах або котельних установках. Саме на етапі сушіння виникає потреба у вдосконаленні технології з метою зменшення енергетичних витрат.

Таблиця 1.7

Основні етапи підготовки побічної продукції соняшнику в умовах господарства

Етап	Характеристика	Основні труднощі
Заготівля	Збирання стебел, кошиків, полови	Нерівномірність маси, втрати біомаси
Транспортування	Доставка до місця зберігання	Низька насипна щільність
Зберігання	Тимчасове складування	Зволоження, самозігрівання
Сушіння	Зниження вологості до робочого рівня	Великі витрати теплоти
Використання	Спалювання або інша переробка	Залежність від якості підготовки

Висновки

1. Проаналізовано виробничі умови фермерського господарства, загальна площа сільськогосподарських угідь якого становить 1680 га, у тому числі 1540 га ріллі.
2. Визначено, що соняшник займає важливе місце у структурі посівних площ господарства - 260 га, або 16,9 % від площі ріллі.
3. Встановлено, що при середній урожайності соняшнику 2,8 т/га валовий збір насіння становить 728 т.
4. Розраховано, що за коефіцієнта виходу побічної продукції 1,7 загальний її обсяг становить 1237,6 т на рік.
5. Визначено структуру побічної продукції соняшнику, зокрема: стеблова маса - 820 т, кошики та половина - 360 т, органічні домішки та інші рештки - 57,6 т.
6. Обґрунтовано можливість використання зазначеного обсягу побічної продукції як місцевого твердого палива для забезпечення теплових потреб процесу сушіння насіння соняшника.

7. Підтверджено доцільність подальшого обґрунтування технічних рішень щодо підвищення енергоефективності сушіння насіння соняшника в зерносушарці ДСП-25 з використанням побічної продукції як палива.

2 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ

2.1. Аналіз технологічної схеми підготовки побічної продукції соняшника до енергетичного використання

Для умов фермерського господарства найбільш доцільним є використання спрощеної технологічної схеми підготовки побічної продукції соняшнику до спалювання в теплогенераторі. На відміну від технологій брикетування або гранулювання, такий підхід не потребує складної додаткової лінії переробки і дає можливість використати наявну рослинну сировину безпосередньо для забезпечення теплових потреб сушіння насіння соняшника. Для бакалаврського інженерного проєкту така схема є більш виправданою, оскільки дозволяє зосередитися на реальних умовах господарства та зменшити витрати на підготовку палива.



Рисунок 2.1 – Схема підготовки побічної продукції соняшника

. За даними профільних джерел, польова побічна продукція соняшнику нечасто переробляється у товарні тверді біопалива у великих обсягах. Значно частіше її використовують безпосередньо в господарствах для одержання теплоти. Саме тому для даного дипломного проєкту прийнято варіант, за

якого побічна продукція після мінімально необхідної підготовки надходить у теплогенератор і використовується для одержання гарячого теплоносія.

Прийнята послідовність операцій наведена на рисунку 2.1. Вона передбачає збирання стебел і кошиків після збирання насіння, транспортування рослинної маси до місця підготовки, її подрібнення, тимчасове накопичення під накриттям, подавання в теплогенератор за допомогою механічного транспортера та отримання гарячого теплоносія для подальшого використання в сушильному агрегаті.

Обрана схема орієнтована не на виготовлення товарного біопалива, а на забезпечення власних енергетичних потреб господарства, зокрема роботи зерносушарки ДСП-25. Саме тому зі складу технологічного ланцюга виключено пресування, гранулювання, фасування та інші операції, які потребують додаткових енерговитрат і капіталовкладень. Для середнього господарства більш раціональним є не продаж готового біопалива, а заміщення частини традиційних енергоносіїв власною побічною продукцією.

Крім того, побічна продукція соняшнику після збирання характеризується неоднорідністю, змінною вологістю, малою насипною щільністю та нерівномірністю подавання в топку. Саме тому прийнята технологічна схема повинна не лише забезпечувати транспортування біомаси, а й створювати умови для її стабільного використання як палива.

Таблиця 2.1

Склад операцій та обладнання в прийнятій схемі

Операція	Призначення	Прийняте обладнання / засоби
Збирання побічної продукції	відокремлення та підбирання стебел, кошиків, домішок	наявна збиральна техніка господарства, жатки ПСП-8, допоміжне підбирання валків
Транспортування	доставка біомаси до місця підготовки	трактори МТЗ-82.1, МТЗ-1221, причепи 2ПТС-6, НТС-10

Подрібнення	зменшення довжини частинок, вирівнювання складу	роторний або молотковий подрібнювач рослинних решток
Накопичення і зберігання	формування запасу палива, вирівнювання вологості	критий майданчик, склад, бункер-накопичувач
Дозована подача	безперервне та рівномірне подавання в топку	бункер з активним дном, шнековий транспортер
Спалювання	одержання теплоти	твердопаливний теплогенератор для агробіомаси

1. Збирання побічної продукції в полі. Після збирання насіння на полі залишається основна частина стеблової маси, а також частина кошиків і рослинних залишків. Для подальшого енергетичного використання ці рештки необхідно відібрати з поля та підготувати до транспортування. У господарстві для цього використовують наявну збиральну техніку з можливістю підбирання валків або накопичення рослинної маси.

2. Транспортування біомаси. Оскільки побічна продукція соняшнику має невелику насипну щільність, її перевезення потребує використання містких причепів. Саме тому до місця підготовки її доставляють тракторними транспортними засобами з великим корисним об'ємом кузова. Для цього можуть бути використані причепа 2ПТС-6 та НТС-10, які є в господарстві.

3. Подрібнення та вирівнювання фракційного складу. Наступним етапом є зменшення розмірів частинок. Подрібнення необхідне для того, щоб паливо мало більш однорідний склад, краще переміщувалось транспортними органами та рівномірніше надходило в теплогенератор. Для цього доцільно застосовувати роторні або молоткові подрібнювачі. В умовах середнього господарства найбільш раціональним є використання подрібненої, але не ущільненої біомаси, оскільки такий варіант не потребує додаткової стадії брикетування.

4. Накопичення і короткочасне зберігання. Після подрібнення біомасу доцільно накопичувати під навісом або в закритому складі. Це дає

можливість створити оперативний запас палива, знизити вплив атмосферних опадів та частково стабілізувати вологість матеріалу. Для підготовки до безперервного спалювання частину запасу доцільно подавати до бункера-накопичувача.

5. Бункер-накопичувач і вирівнювання подачі. Подрібнена побічна продукція схильна до злежування і нерівномірного висипання, тому в проміжному бункері доцільно передбачати активне днище або механізм, який усуває утворення склепінь. Така конструкція забезпечує стабільне надходження палива до транспортера і зменшує ймовірність перебоїв у роботі теплогенератора.

6. Дозована механічна подача в теплогенератор. Із бункера біомаса подається у зону спалювання за допомогою шнекового або скребкового транспортера. Цей вузол виконує подвійну функцію: переміщує матеріал і одночасно дозує його подачу залежно від потреби у теплоті. Рівномірність подавання має вирішальне значення для стабільного горіння та підтримання сталого температурного режиму.

7. Подавання в теплогенератор. Після надходження в теплогенератор паливо згоряє, а теплота, що при цьому утворюється, використовується для нагрівання теплоносія. Надалі гарячий теплоносій подається до сушильного агрегату і використовується в процесі сушіння насіння соняшника. Таким чином, побічна продукція виконує функцію місцевого паливного ресурсу, що частково або повністю заміщує традиційні енергоносії.

Обрана схема підготовки побічної продукції соняшнику є достатньо простою для впровадження у фермерському господарстві та не потребує складного комплексу додаткових машин. Її головною перевагою є можливість швидкого переходу від відходів рослинництва до реального джерела теплової енергії для сушіння насіння. Разом із тим ефективність такої схеми значною мірою залежить від стабільності подрібнення, умов зберігання, рівномірності подачі палива та раціонального використання теплоти, отриманої в теплогенераторі.

Отже, для умов даного господарства найбільш доцільною є технологічна схема, яка включає збирання побічної продукції соняшнику, її транспортування, подрібнення, накопичення, дозовану подачу в теплогенератор та одержання гарячого теплоносія для потреб сушіння насіння. Саме така схема приймається як базова для подальшого аналізу технічних засобів і обґрунтування шляхів підвищення енергоефективності процесу.

2.2 Аналіз існуючої схеми сушіння насіння соняшника

Існуюча схема (рис.2.2) сушіння в господарстві базується на використанні зерносушарки шахтного типу ДСП-25, яка працює в комплексі з твердопаливним теплогенератором. Як джерело енергії для нагрівання сушильного агента передбачено використання побічної продукції соняшника, що утворюється в процесі вирощування та збирання культури. Такий підхід дозволяє частково замінити традиційні енергоносії місцевою рослинною біомасою та знизити витрати на сушіння.

Технологічно процес починається з надходження насіння соняшника з поля на тік або пункт післязбиральної доробки. Насіння, що надходить від комбайнів, містить домішки, пил, рештки кошиків, частинки стебел та може мати підвищену вологість. Тому перед подачею в сушарку воно проходить стадію первинного очищення, під час якої з маси видаляються великі та дрібні домішки. Це необхідно для стабільної роботи сушарки, зменшення нерівномірності прогрівання та запобігання засміченню робочих органів обладнання.

Після очищення насіння подається в приймальний бункер сушарки ДСП-25. У шахтній сушарці матеріал переміщується зверху вниз під дією власної ваги, проходячи через зону контакту з нагрітим сушильним агентом. У процесі проходження через сушильну шахту з насіння видаляється надлишкова волога, а його температура поступово підвищується. Далі

висушене насіння вивантажується із сушарки та за потреби подається на охолодження або безпосередньо на складське зберігання.

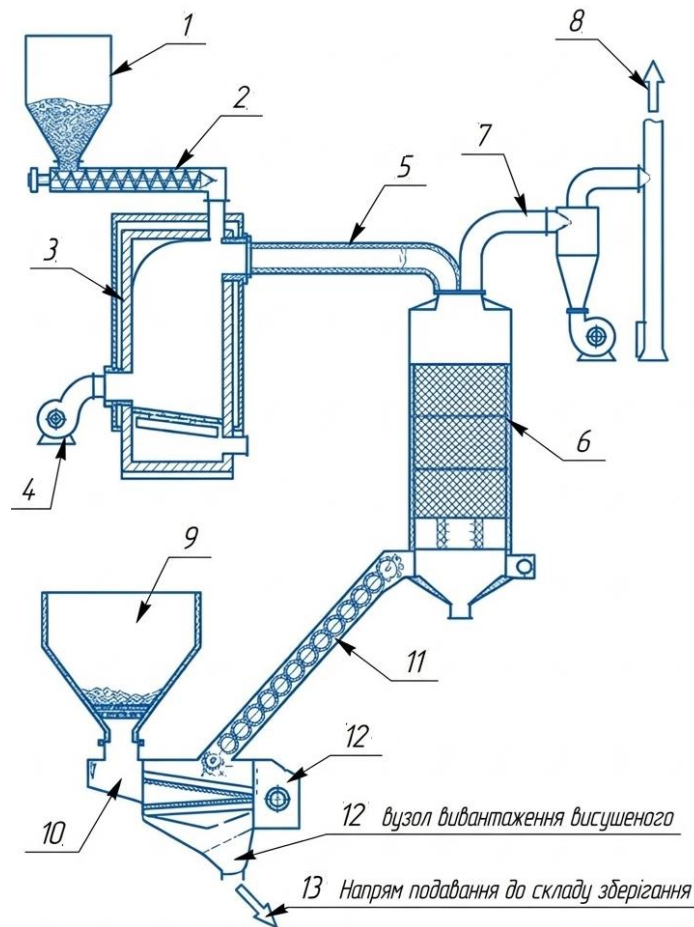


Рисунок 2.2 - Схема сушіння з теплогенератором

Нагрівання сушильного агента здійснюється в твердопаливному теплогенераторі. У топковий простір теплогенератора подається попередньо підготовлена побічна продукція соняшника, до якої належать стебла, кошики, полова та органічні домішки. У результаті згоряння палива утворюється теплота, яка використовується для нагрівання повітря, що надалі надходить у сушильну шахту. Таким чином, між теплогенератором і зерносушаркою формується єдина теплова схема, в якій теплота від спалювання побічної продукції забезпечує сушіння насіння соняшника.

Важливою особливістю існуючої схеми є те, що паливо, яке використовується в теплогенераторі, має неоднорідний склад, змінну вологість і порівняно невелику насипну щільність. Це ускладнює його

рівномірне подавання в зону горіння та впливає на стабільність теплового режиму. Крім того, в наявній схемі частина теплоти втрачається разом із відпрацьованим сушильним агентом та продуктами згорання. Саме ці втрати є одним із головних резервів підвищення енергоефективності процесу сушіння.

2.2.1 Аналіз теплових втрат схеми сушіння

У тепловому відношенні роботу сушильного агрегату можна розглядати як послідовне перетворення енергії палива в теплоту сушильного агента, а далі - в корисну теплоту процесу сушіння. При цьому не вся теплота, що виділяється під час спалювання палива, використовується ефективно. Частина її витрачається безпосередньо на сушіння насіння, а частина втрачається на різних ділянках технологічної схеми.

У процесі сушіння теплота витрачається корисно на дві основні складові. Першою є нагрівання самого насіння соняшника від початкової температури до температури сушіння. Другою, і найбільшою за величиною, є випаровування вологи, що міститься в насінні. Саме видалення вологи становить головну мету сушильного процесу, тому основна частина підведеної теплоти повинна використовуватися на фазовий перехід води з рідкого стану в пароподібний.

Отже, корисну теплоту процесу можна подати у вигляді суми витрат на нагрівання насіння та випаровування вологи:

$$Q_k = Q_n + Q_v$$

де

Q_k - корисно використана теплота, кДж;

Q_n - теплота, витрачена на нагрівання насіння, кДж;

Q_v - теплота, витрачена на випаровування вологи, кДж.

У реальних умовах найбільшу частку в цій сумі становить саме Q_v , оскільки на видалення навіть незначної кількості вологи необхідна значна кількість енергії.

Повний тепловий баланс сушильного агрегату можна подати як

$$Q_p = Q_k + Q_{vt}$$

де

Q_p - теплота, що надходить у систему з паливом, кДж;

Q_k - корисно використана теплота, кДж;

Q_{vt} - сумарні теплові втрати, кДж.

У свою чергу, сумарні втрати можна подати як

$$Q_{vt} = Q_g + Q_d + Q_z + Q_n$$

де

Q_g - втрати з відпрацьованим сушильним агентом;

Q_d - втрати з димовими газами теплогенератора;

Q_z - втрати через зовнішні поверхні обладнання;

Q_n - втрати від неповного згоряння палива.

Ця залежність дає змогу побачити, що для підвищення енергоефективності необхідно впливати насамперед на ті складові, які мають найбільшу частку у загальному балансі.

2.3 Аналіз конструкцій теплообмінників для утилізації теплоти димових газів

У процесі сушіння насіння соняшника значна частина теплоти, що утворюється під час спалювання побічної продукції в теплогенераторі, не використовується безпосередньо в технологічному процесі, а втрачається разом із димовими газами. Проведений вище аналіз теплової схеми сушильного агрегату показав, що саме ця складова є одним із найбільших резервів підвищення енергоефективності. У зв'язку з цим доцільно

розглянути існуючі конструкції теплообмінників, які можуть бути використані для повернення частини втраченої теплоти в систему сушіння.

Теплообмінник у складі сушильного агрегату повинен забезпечувати передавання теплоти від гарячих димових газів до повітря, яке надалі використовується як сушильний агент або як повітря для горіння. Отже, мова йде про апарат типу «газ – повітря», який працює в умовах підвищеної температури, наявності пилу, золи та нерівномірних теплових навантажень.

Для умов сушіння насіння соняшника з використанням побічної продукції як палива теплообмінник повинен відповідати таким вимогам:

- працювати з гарячими димовими газами, що містять пил і тверді частинки;
- мати достатню теплопередавальну поверхню;
- забезпечувати стійку роботу при змінній температурі газів;
- не створювати надмірного аеродинамічного опору;
- бути простим у виготовленні та очищенні;
- мати надійну конструкцію, придатну до роботи в умовах господарства;
- не допускати потрапляння продуктів згоряння в потік сушильного агента.

Таким чином, вибір конструкції теплообмінника повинен ґрунтуватися не лише на його високій теплотехнічній ефективності, а й на експлуатаційній надійності.

2.3.1 Обґрунтування вибору конструкції теплообмінника

Підвищення енергоефективності процесу сушіння насіння соняшника в господарстві пов'язане передусім зі зменшенням теплових втрат, які виникають під час роботи теплогенератора та сушильного агрегату. Як було встановлено під час аналізу теплової схеми, значна частина енергії втрачається разом із відхідними димовими газами. Саме тому одним із найбільш раціональних напрямів удосконалення існуючої установки є введення до її складу теплообмінника, який дасть змогу відібрати частину

теплоти від димових газів і повторно використати її в технологічному процесі.

Під час вибору конструкції теплообмінника необхідно враховувати не лише його теплотехнічні показники, але й реальні умови експлуатації в господарстві. У нашому випадку гарячим теплоносієм є димові гази від спалювання побічної продукції соняшника, а холодним - повітря, яке після підігріву подається в сушильну систему. Така схема роботи висуває до апарата низку важливих вимог. По-перше, теплообмінник повинен надійно розділяти обидва потоки, щоб продукти згоряння не потрапляли в сушильний агент. По-друге, його конструкція має бути стійкою до роботи з гарячими та забрудненими газами, які містять пил, дрібні зольні частинки і можливі смолисті відкладення. По-третє, апарат повинен бути достатньо простим у виготовленні, ремонті та очищенні, оскільки мова йде не про велике промислове підприємство, а про сушильний комплекс середнього фермерського господарства.

З урахуванням цих умов доцільно розглянути кілька найбільш поширених конструкцій теплообмінників: рекуперативний трубчастий теплообмінник, теплообмінник типу «труба в трубі», пластинчастий теплообмінник та регенеративний повітропідігрівач.

Рекуперативні трубчасті теплообмінники (рис.2.3) належать до найпоширеніших апаратів, які використовуються в теплотехнічних установках. Принцип їхньої роботи полягає в тому, що один теплоносіє проходить усередині труб, а другий - омиває труби зовні, при цьому теплота передається через металеву стінку. Головною перевагою такої схеми є повне розділення потоків і достатньо проста конструкція.

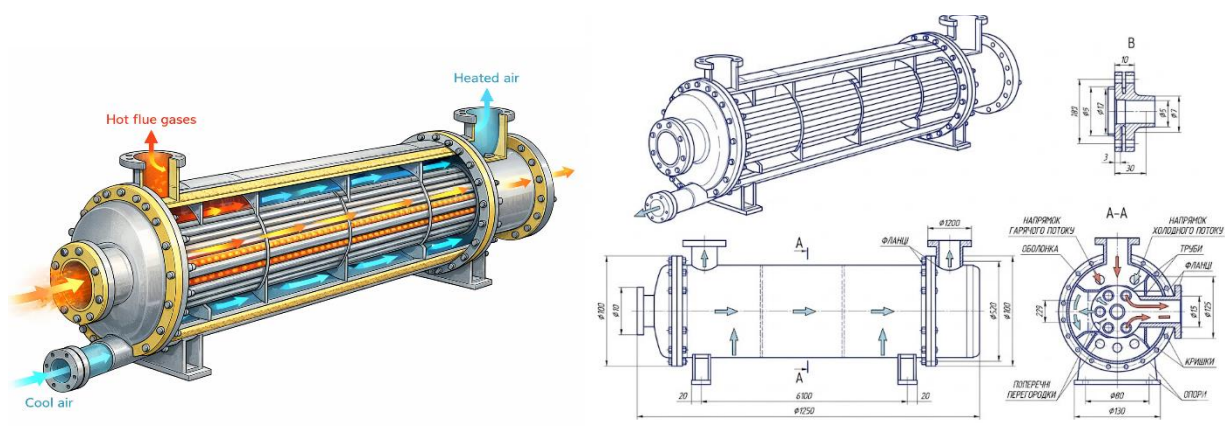


Рисунок 2.3 – Конструкція рекуперативного теплообмінника

Для нашого випадку цей тип апарата має кілька важливих переваг. Насамперед він добре пристосований до роботи з димовими газами, які не можна вважати чистим теплоносієм. Якщо гарячий потік організувати всередині труб, а повітря подавати в міжтрубний простір, то поверхні, які забруднюються найбільше, можна зробити доступними для очищення. Крім того, трубчастий апарат відзначається достатньою механічною міцністю, не боїться підвищених температур і допускає виготовлення з доступних конструкційних матеріалів.

Ще однією суттєвою перевагою є те, що така конструкція відносно легко узгоджується з існуючою схемою сушильного агрегату. Її можна встановити в димовому тракті після теплогенератора, не змінюючи принципово всю систему сушіння. Саме це є важливим для фермерського господарства, де модернізація повинна бути технічно доцільною і не вимагати повного переобладнання комплексу.

Разом з тим трубчастий теплообмінник має і певні недоліки. Порівняно з пластинчастими конструкціями він є більш металоємним і займає більше місця. Однак для нашої теми ці недоліки не є вирішальними, оскільки на першому місці стоять надійність, простота експлуатації та можливість роботи з забрудненими газами.

Конструкція «труба в трубі» (рис.2.4) є однією з найпростіших у теплотехніці. У такому апараті один теплоносіє проходить по внутрішній

трубі, а другий рухається кільцевим каналом між внутрішньою та зовнішньою трубами. На перший погляд цей варіант здається зручним для дипломного проєкту, оскільки його легко пояснити, накреслити та конструктивно виконати.

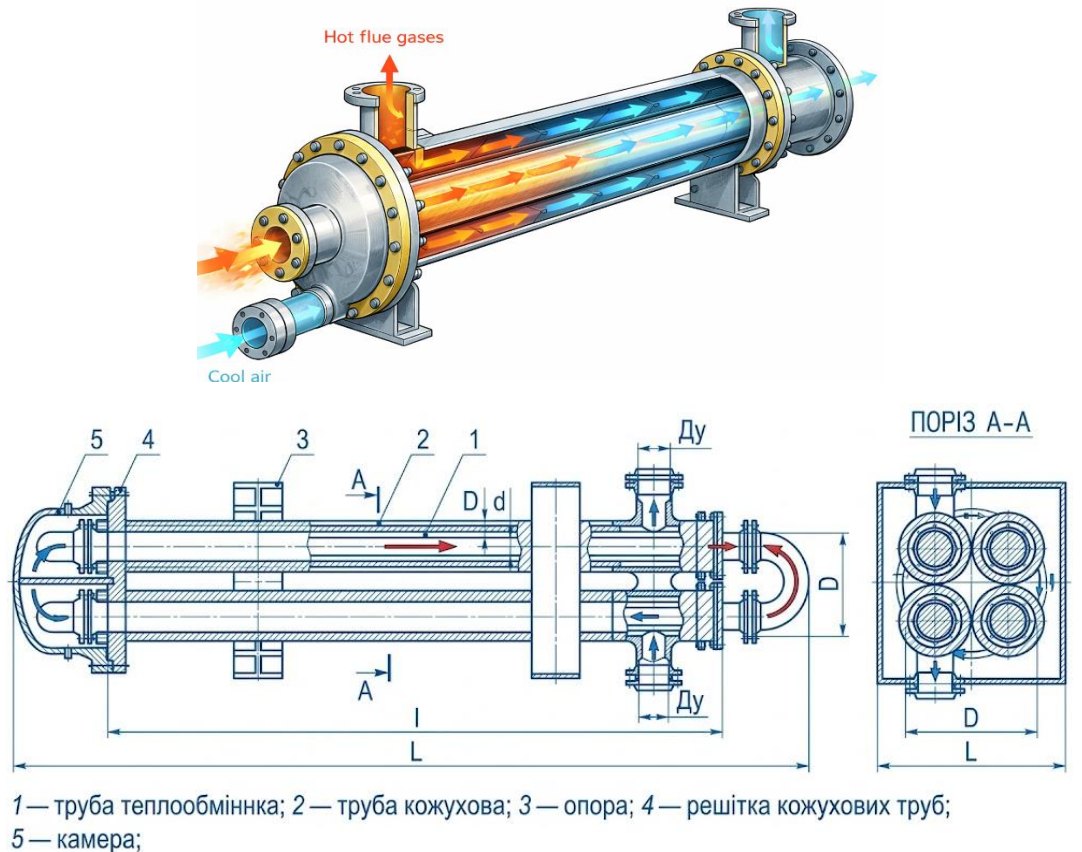
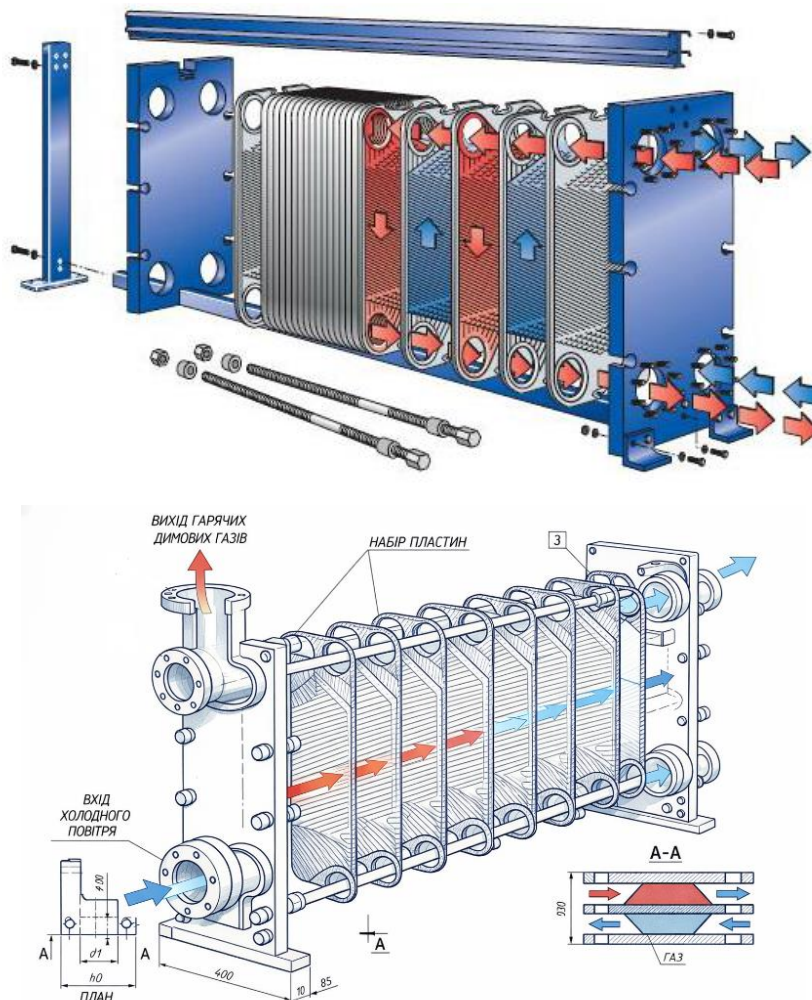


Рисунок 2.4 – Конструкція теплообмінника труба в трубі

Однак при більш детальному розгляді виявляється, що для нашої установки цей тип має суттєві обмеження. Основна проблема полягає в тому, що для забезпечення потрібної площі теплообміну необхідна дуже велика сумарна довжина робочої поверхні. Якщо реалізувати її у прямолінійній формі, апарат виходить надто довгим. Якщо ж виконати його багатологовим, то конструкція ускладнюється, зростає кількість з'єднань, поворотів і місць можливого накопичення відкладень.

Для димових газів від спалювання побічної продукції соняшника це є небажаним, оскільки чим складніший канал руху забрудненого потоку, тим важче його очищати й підтримувати в працездатному стані. Саме тому теплообмінник «труба в трубі» доцільно розглядати лише як альтернативний

Пластинчасті теплообмінники (рис.2.5) вирізняються високою інтенсивністю теплопередачі, компактністю та малою металоємністю. Вони складаються з пакета тонких пластин, між якими утворюються канали для руху теплоносіїв. Завдяки великій поверхні теплообміну на одиницю об'єму такі апарати є дуже ефективними в багатьох галузях промисловості.



Проте саме для нашого випадку цей варіант має суттєвий недолік. Димові гази, які утворюються під час спалювання побічної продукції соняшника, містять пил, золу та частинки незгорілої органічної речовини. У вузьких каналах пластинчастого теплообмінника такі домішки швидко осідають, що призводить до забруднення поверхонь, зростання опору руху

газів і зменшення ефективності роботи апарата. Крім того, пластинчасті конструкції вимагають більш чистих теплоносіїв та акуратнішої експлуатації.

Отже, незважаючи на добрі теплотехнічні властивості, пластинчастий теплообмінник не можна вважати найбільш придатним для сушильного агрегату, який працює на біопаливі. У нашій схемі його використання пов'язане з підвищеним ризиком засмічення та складністю очищення.

Регенеративні теплообмінники (рис.2.6) працюють за іншим принципом. У них теплота спочатку накопичується в спеціальному теплоакумулювальному елементі, а потім передається іншому потоку. Такі апарати можуть забезпечувати високий ступінь утилізації теплоти, особливо в потужних енергетичних установках.

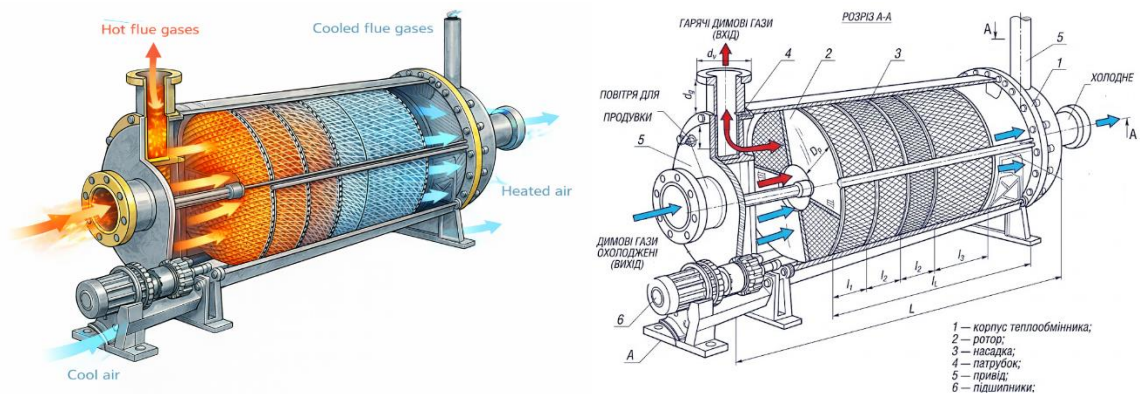


Рисунок 2.6 – Конструкція регенеративного теплообмінника

Однак для умов фермерського господарства цей варіант не є найкращим. Регенеративний повітропідігрівач конструктивно складніший, потребує обертових або переключних елементів, більш точного ущільнення, якісного сервісу та стабільнішого режиму роботи. Для сушильного агрегату з відносно невеликою тепловою потужністю така конструкція буде надмірно складною і економічно менш виправданою. Крім того, робота з димовими газами біомасового походження ускладнює експлуатацію регенеративного апарата через можливі відкладення та забруднення насадки.

З огляду на це регенеративний теплообмінник доцільно визнати технічно можливим, але практично менш придатним для нашого проєкту.

Проведений аналіз показує, що жодна конструкція не є універсальною, тому вибір повинен ґрунтуватися на конкретних умовах роботи. Для нашого сушильного агрегату вирішальними є такі критерії:

- робота з гарячими забрудненими димовими газами;
- простота виготовлення та монтажу;
- можливість очищення робочих поверхонь;
- надійність у реальних умовах господарства;
- помірні габарити;
- достатня теплова ефективність.

За сукупністю цих ознак найбільш раціональним є саме рекуперативний трубчастий теплообмінник. Він не є найкомпактнішим серед усіх розглянутих варіантів, проте найкраще поєднує конструктивну простоту, експлуатаційну надійність і придатність до роботи з димовими газами від спалювання біомаси. Для фермерського господарства саме ці якості є визначальними, оскільки складне обладнання з високими вимогами до сервісу не завжди може бути ефективно використане в реальних виробничих умовах.

Висновки

Таким чином, у результаті аналізу основних типів теплообмінників встановлено, що для підвищення енергоефективності сушильного агрегату найбільш доцільно застосувати рекуперативний трубчастий газоповітряний теплообмінник. Порівняно з іншими розглянутими конструкціями він найкраще відповідає умовам роботи з гарячими і забрудненими димовими газами, забезпечує надійне розділення потоків, допускає очищення робочих поверхонь і є конструктивно придатним для впровадження в умовах фермерського господарства. Саме цей тип теплообмінника приймається для подальшого розрахунку та конструкторського опрацювання в дипломній роботі.

3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ПРОРОБКА ПРОЄКТУ

На підставі проведеного аналізу теплової схеми сушильного агрегату встановлено, що одним із найбільших резервів підвищення енергоефективності процесу сушіння насіння соняшника є утилізація теплоти димових газів теплогенератора. Розрахунки показали, що при охолодженні димових газів від 250 до 100 °С можливо повернути в технологічний процес близько 59,4 МДж теплоти на 1 т насіння, що дає змогу зменшити питому витрату побічної продукції соняшника як палива з 37,7 до 33,6 кг/т, тобто на 10,9 %. Отже, застосування теплообмінника є технічно доцільним і потребує вибору найбільш придатної конструкції для роботи в складі сушильного агрегату.

При виборі теплообмінника для даної системи слід враховувати особливості умов його роботи. Гарячим теплоносієм у нашому випадку є димові гази теплогенератора, які містять пил, дрібні частинки золи та продукти неповного згоряння. Холодним теплоносієм є атмосферне повітря, яке після підігріву може подаватися на нагрівання сушильного агента або використовуватися в системі подачі повітря до теплогенератора. Таким чином, проєктований апарат повинен працювати за схемою димові гази – повітря і забезпечувати надійне розділення цих потоків.

Для умов господарства запропонована конструкція повинна відповідати таким вимогам: бути достатньо простою у виготовленні, надійною в роботі, придатною до очищення від пилу і золи, не створювати надмірного аеродинамічного опору та забезпечувати герметичне розділення потоків димових газів і повітря. Саме тому для конструктивного виконання доцільно прийняти горизонтальний теплообмінник із трубним пучком, у якому гарячі димові гази проходять усередині труб, а повітря омиває трубний пучок у міжтрубному просторі.

Така схема має низку переваг. По-перше, трубчастий апарат краще працює з забрудненими теплоносіями, ніж пластинчасті чи регенеративні конструкції. По-друге, трубний простір легше очищується від нашарувань продуктів згоряння. По-третє, металевий корпус і трубний пучок можуть бути виготовлені з поширених конструкційних матеріалів, що є важливим для умов ремонтно-механічної бази аграрного підприємства.

Запропонований теплообмінник є додатковим вузлом сушильного агрегату, який включається в наявну схему роботи зерносушарки ДСП-25 з твердопаливним теплогенератором. Його основна функція полягає у відборі теплоти від димових газів після теплогенератора і передачі її повітрю без змішування потоків.

Місце встановлення теплообмінника вибрано таким чином, щоб він працював на найбільш температурно напруженій ділянці, де димові гази ще мають достатній тепловий потенціал, але вже не впливають безпосередньо на процес горіння в топці. Конструктивно апарат доцільно розмішувати на димовому каналі після теплогенератора і до димової труби. Повітряний канал підключається так, щоб через міжтрубний простір проходило атмосферне повітря, яке після підігріву подається в систему формування сушильного агента.

3.1 Опис конструкції запропонованого теплообмінника

Запропонований теплообмінник складається з корпусу, трубного пучка, двох трубних решіток, патрубків підведення та відведення димових газів, патрубків подачі та відведення повітря, опорних елементів, оглядових люків і вузлів очищення.

Основним робочим елементом апарата є трубний пучок, утворений набором металевих труб круглого перерізу. Труби закріплюються в трубних решітках, що забезпечують герметичне розділення потоків. Димові гази надходять у вхідний колектор, далі проходять через труби і після охолодження відводяться у вихідний патрубок до димової труби. Повітряний

потік надходить у корпус теплообмінника, омиває зовнішню поверхню труб, нагрівається і далі направляється до сушильної системи.

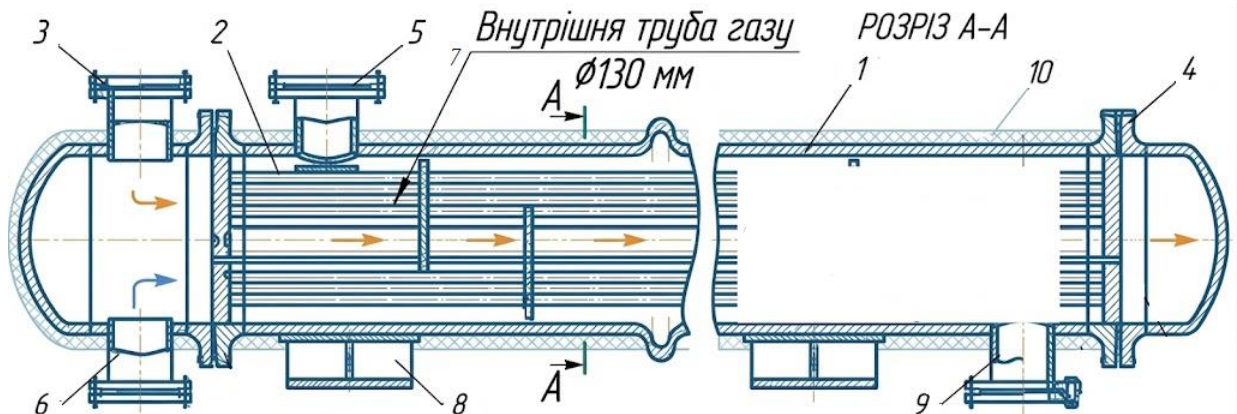


Рисунок 3.1 – Конструкція запропонованого теплообмінника

1- корпус; 2 - трубний пучок; 3 - вхідний патрубок димових газів; 4 - вихідний патрубок димових газів; 5 - патрубок подачі повітря; 6 - патрубок відведення нагрітого повітря; 7 - трубні решітки; 8 - опорна рама; 9 - ревізійні люки; 10 - теплоізоляція корпусу.

Корпус теплообмінника доцільно виконувати з листової сталі з теплоізоляцією зовнішніх поверхонь. Це зменшує втрати теплоти в навколишнє середовище і підвищує загальний ККД системи. Для можливості технічного обслуговування в корпусі слід передбачити ревізійні люки, через які виконуватиметься очищення поверхонь труб від пилу, сажі та золи.

Конструктивно апарат доцільно розміщувати на опорній рамі. Така схема полегшує монтаж, демонтаж та приєднання до існуючих газоходів і повітропроводів. Крім того, наявність окремої рами знижує механічне навантаження на трубопроводи та спрощує компоновку вузла в межах сушильного агрегату.

Для забезпечення більш інтенсивного теплообміну можна передбачити шахове розміщення труб у пучку. Це підвищує турбулізацію повітряного потоку в міжтрубному просторі і сприяє зростанню коефіцієнта теплопередачі. Водночас відстань між трубами повинна бути достатньою для запобігання надмірному аеродинамічному опору і зручності очищення.

Принцип роботи запропонованого апарата ґрунтується на рекуперативному теплообміні між двома середовищами, розділеними металевою стінкою труби. Гарячі димові гази, що надходять від теплогенератора, проходять усередині трубного пучка і віддають частину своєї теплоти стінкам труб. З іншого боку труб рухається повітря, яке сприймає цю теплоту та нагрівається.

У процесі роботи температура димових газів поступово знижується, а температура повітря підвищується. Таким чином, теплота, яка в базовій схемі втрачається через димову трубу, частково повертається в технологічний процес. Підігріте повітря може надалі використовуватись для підготовки сушильного агента або для інтенсифікації процесу горіння в теплогенераторі.

Перевагою такого принципу є повне розділення потоків. Це означає, що продукти згоряння не контактують безпосередньо з повітрям, яке використовується в сушильному процесі, а отже не впливають на якість висушеного насіння соняшника.

3.2 Методика розрахунку теплообмінника

Вихідні дані для розрахунку:

Річний обсяг сушіння насіння соняшника	Gr т/рік	728
Тривалість роботи сушильного агрегату за сезон	τ год	200
Середня продуктивність сушильного агрегату	G т/год	3,64
Прийнята для розрахунку продуктивність	G т/год	4,0
Кількість теплоти, яку доцільно утилізувати на 1 т насіння	qu МДж/т	59,4
Температура димових газів на вході в теплообмінник	tr1 °C	250
Температура димових газів на виході з теплообмінника	tr2 °C	100
Температура атмосферного повітря на вході	tn1 °C	20
Температура повітря після підігріву	tn2 °C	80
Середня теплоємність димових газів	сг кДж/(кг·°C)	1,05
Середня теплоємність повітря	сп кДж/(кг·°C)	1,005
Орієнтовний коефіцієнт теплопередачі для газо-повітряного трубчастого теплообмінника	k Вт/(м²·°C)	25

Загальна кількість теплоти, яку треба утилізувати за годину, визначається як:

$$Q = G \cdot q_{yt}$$

$$Q = 2,5 \cdot 59,4 = 148,5 \text{ МДж} = 41,25 \text{ кВт}$$

Отже, розрахункова теплова потужність теплообмінника становить $Q = 42 \text{ кВт}$.

Витрата повітря визначається з рівняння теплового балансу:

$$Q = G_{\pi} \cdot c_{\pi} \cdot (t_{\pi 2} - t_{\pi 1})$$

Звідси

$$G_{\pi} = \frac{Q}{c_{\pi} (t_{\pi 2} - t_{\pi 1})}$$

$$G_{\pi} = \frac{41250}{1,005 \cdot 10^3 \cdot (80 - 20)}$$

$$G_{\pi} = \frac{41250}{60300} = 0,684 \text{ кг/с}$$

$$G_{\pi} = 2462 \text{ кг/год}$$

Отже, через теплообмінник необхідно пропускати приблизно:

$$G_{\pi} = 0,68 \text{ кг/с повітря}$$

Для протитечійної схеми руху теплоносіїв:

$$\Delta t_1 = t_{r1} - t_{\pi 2} = 250 - 80 = 170^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_2 = t_{r2} - t_{\pi 1} = 100 - 20 = 80^{\circ}\text{C}$$

Логарифмічний середній температурний напір:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \left(\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} \right)}$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{170 - 80}{\ln(170/80)}$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{90}{\ln(2,125)} = \frac{90}{0,754}$$

$$\Delta t_{cp} = 119,4^{\circ}C$$

Для конструкції теплообмінника приймаємо стандартні сталеві труби:
зовнішній діаметр:

$$d_3 = 50 \text{ мм} = 0,05 \text{ м}$$

товщина стінки:

$$\delta = 3 \text{ мм}$$

внутрішній діаметр:

$$d_v = 44 \text{ мм} = 0,044 \text{ м}$$

довжина труб:

$$l = 3,0 \text{ м}$$

Площа поверхні однієї труби:

$$F = \frac{41250}{25 \cdot 119,5}$$

$$F = \frac{41250}{2987,5} = 13,81 \text{ м}^2$$

$$F_1 = \pi d_3 l$$

$$F_1 = 3,14 \cdot 0,057 \cdot 2,5$$

$$F_1 = 0,448 \text{ м}^2$$

Кількість труб:

$$n = \frac{F}{F_1} = \frac{13,81}{0,448} = 30,8$$

Приймаємо $n=32$ труб

Фактична площа поверхні теплообміну:

$$F_{\phi} = 32 \cdot 0,448 = 14,34 \text{ м}^2$$

Отже, фактична площа відповідає необхідній $F_{\phi} = 14,34 \text{ м}^2$

Витрата палива в існуючій схемі на 1 т насіння:

$$B_0 = 37,7 \text{ кг/т}$$

Для продуктивності 4 т/год:

$$B = 37,7 \cdot 4 = 150,8 \text{ кг/год}$$

Приймаємо, що на 1 кг палива утворюється:

$$L_r = 10 \text{ кг димових газів}$$

Тоді витрата димових газів:

$$G_r = 150,8 \cdot 10 = 1508 \text{ кг/год}$$

або

$$G_r = 0,419 \text{ кг/с}$$

Приймаємо середню густину димових газів $\rho_r = 0,75 \text{ кг/м}^3$

Об'ємна витрата газів:

$$V_r = \frac{G_r}{\rho_r} = \frac{0,419}{0,75} = 0,559 \text{ м}^3/\text{с}$$

Площа живого перерізу однієї труби:

$$f_1 = \frac{\pi d_b^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,044^2}{4} = 0,00152 \text{ м}^2$$

Сумарна площа перерізу 48 труб:

$$f = 48 \cdot 0,00152 = 0,073 \text{ м}^2$$

Швидкість газів у трубах:

$$w_z = \frac{V_z}{f} = \frac{0,559}{0,073} = 5,6 \text{ м/с}$$

Отже, $w_r \approx 5,6 \text{ м/с}$

Приймаємо розташування труб у пучку - кількість рядів 8, кількість труб у ряду 4, крок між трубами $s = 75 \text{ мм}$.

Тоді габарити трубного пучка становитимуть:

по ширині:

$$B_{\text{п}} = (8-1) \cdot 75 + 57 = 582 \text{ мм}$$

по висоті:

$$H_{\text{п}} = (4-1) \cdot 75 + 57 = 282 \text{ мм}$$

З урахуванням зазорів, стінок корпусу та вільного проходу повітря доцільно прийняти внутрішні розміри корпусу $B = 660 \text{ мм}$

Довжину корпусу приймаємо з урахуванням довжини труб і двох камер:

$$L = 2500 + 2 \cdot 200 = 2900 \text{ мм}$$

З урахуванням приєднувальних патрубків і конструктивного запасу для креслення доцільно округлити $L=3000$ мм.

Для складального креслення з урахуванням теплоізоляції та опор можна прийняти зовнішні габарити близько $3000 \times 700 \times 500$ мм

У результаті виконаного розрахунку встановлено, що впровадження теплообмінника в складі сушильного агрегату забезпечує відчутний річний енергетичний ефект. Розрахунками визначено, що питома економія палива після встановлення теплообмінника становить 4,1 кг на 1 т висушеного насіння. За річного обсягу сушіння насіння соняшника 728 т сумарна річна економія палива дорівнює 2984,8 кг, або 2,98 т/рік. Отриманий результат підтверджує, що навіть компактний варіант теплообмінника забезпечує необхідний енергетичний ефект та дає можливість зменшити витрати побічної продукції соняшника, яка використовується як паливо.

За результатами перерахунку встановлено, що для умов середнього фермерського господарства доцільно застосувати компактний рекуперативний трубчастий газо-повітряний теплообмінник тепловою потужністю 41,25 кВт. Необхідна площа поверхні теплообміну для такого апарата становить 13,8 м². Для забезпечення зазначеної площі прийнято конструкцію, що складається з 32 сталевих труб діаметром $57 \times 3,5$ мм і довжиною 2500 мм кожна. Орієнтовні габаритні розміри теплообмінника становлять $3000 \times 700 \times 500$ мм, що є більш прийнятним для умов фермерського господарства порівняно з попередньо визначеним більшим варіантом. Запропонована конструкція забезпечує утилізацію частини теплоти димових газів і дозволяє знизити витрату побічної продукції соняшника як палива приблизно на 10,9 %. Таким чином, результати розрахунку підтверджують технічну обґрунтованість, енергетичну ефективність та практичну доцільність впровадження розробленого теплообмінника в складі сушильного агрегату.

Висновки

1. У розділі розроблено конструктивне рішення рекуперативного трубчастого теплообмінника для утилізації теплоти димових газів у складі сушильного агрегату.
2. На основі виконаного розрахунку визначено, що для умов фермерського господарства доцільно застосувати компактний теплообмінник тепловою потужністю 41,25 кВт.
3. Встановлено, що необхідна площа поверхні теплообміну становить 13,8 м², що забезпечується використанням 32 труб діаметром 57×3,5 мм і довжиною 2500 мм.
4. Орієнтовні габаритні розміри теплообмінника становлять 3000×700×500 мм, що є прийнятним для монтажу та експлуатації в умовах середнього господарства.
5. Запропонована конструкція забезпечує зменшення питомої витрати палива приблизно на 10,9 %, що підтверджує її енергетичну доцільність.
6. Для подальшого виготовлення та впровадження розроблено складальне креслення теплообмінника та деталювання основних елементів: труби теплообмінної, патрубка входу димових газів і опори корпусу.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Загальна оцінка умов праці під час експлуатації сушильного агрегату

Робота сушильного агрегату, призначеного для підготовки насіння соняшника до зберігання, пов'язана з дією декількох груп небезпечних і шкідливих факторів. У досліджуваному господарстві технологічна схема включає зерносушарку, теплогенератор, систему подачі побічної продукції соняшника як палива, повітропроводи, транспортні механізми, вентилятори та допоміжне електрообладнання. У разі модернізації до цієї схеми додається теплообмінник, який змінює тепловий режим системи, але водночас формує додаткові вимоги до безпечного обслуговування, герметичності та очищення. Згідно із Законом України «Про охорону праці», роботодавець зобов'язаний забезпечити на робочому місці безпечні умови праці, належний технічний стан устаткування та організацію роботи відповідно до вимог нормативно-правових актів.

Умови праці під час експлуатації сушильного комплексу не можна вважати простими, оскільки працівник має справу одночасно з нагрітими поверхнями, рухомими вузлами, запиленним середовищем, горючою рослинною масою та електрифікованим обладнанням. До механічних небезпек належать обертові частини шнеків, приводів, вентиляторів, транспортуючих механізмів і вивантажувальних пристроїв. За відсутності огорожень, блокувань або при порушенні порядку технічного обслуговування ці елементи можуть стати причиною травмування рук, затягування одягу або ударів рухомими деталями. Особливо небезпечними є спроби очищення механізмів без повної зупинки та відключення живлення.

Другою важливою групою є теплові небезпеки. У зоні теплогенератора, теплообмінника, димових патрубків і гарячих повітропроводів температура

поверхонь може бути достатньою для виникнення опіків у разі випадкового контакту. Крім цього, за порушення режиму роботи можливі локальні перегріву, витік гарячих газів через нещільності, перегрів окремих вузлів або займання пилових відкладень. Саме тому питання теплоізоляції, захисних кожухів і контролю температурного режиму є не лише технічним, а й безпосередньо пов'язаним із охороною праці

Окреме місце займає пиловий фактор. Під час очищення, сушіння, переміщення і вивантаження насіння, а також у процесі подачі біомаси в теплогенератор утворюється дрібнодисперсний органічний пил. Його присутність у повітрі робочої зони негативно впливає на органи дихання, очі та слизові оболонки працівників. Крім гігієнічної небезпеки, пил має ще й пожежонебезпечні властивості, особливо при осіданні на нагріті поверхні або поблизу джерел іскроутворення. Гігієнічна класифікація праці МОЗ вимагає оцінювати шкідливість умов праці за факторами виробничого середовища, зокрема пилом, мікрокліматом, шумом і важкістю трудового процесу.

Ще одним небезпечним чинником є електричний струм. Сушильний агрегат оснащений електродвигунами, пускозахисною апаратурою, шафами керування, датчиками та вентиляційним обладнанням. Пошкодження ізоляції, недоліки заземлення, потрапляння пилу чи вологи на струмовідні частини, а також самовільне втручання в електросхему можуть призвести до ураження персоналу струмом або до короткого замикання з подальшим займанням. В умовах сушильного комплексу електробезпека має особливе значення, оскільки поєднується з наявністю горючої сировини та високих температур.

Таким чином, експлуатація сушильного агрегату вимагає комплексного підходу до охорони праці. Безпечна робота забезпечується не окремим заходом, а сукупністю конструктивних рішень, правильною організацією праці, підготовкою персоналу, пожежною профілактикою та постійним технічним контролем стану обладнання.

4.2 Вимоги безпеки до обладнання та організації робочого місця

Під час експлуатації сушильного комплексу першочерговим завданням є усунення або максимальне обмеження доступу працівника до небезпечних зон. Усі відкриті рухомі елементи приводів, транспортерів, шнеків і вентиляторів повинні бути закриті огороженнями. Такі огороження мають не лише перешкоджати випадковому дотику до робочих органів, а й бути достатньо міцними, щоб не втрачати захисних властивостей у процесі тривалої експлуатації. Зняття огорожень під час роботи обладнання не допускається. Регулювання, очищення або усунення забивання повинні виконуватися лише після повної зупинки механізму та відключення джерела живлення. Вимога роботодавця щодо забезпечення безпечного стану машин і механізмів прямо впливає із законодавства про охорону праці.

Робоче місце оператора сушильного агрегату необхідно організувати так, щоб забезпечити добру видимість основних вузлів, зручний доступ до органів керування, приладів контролю та аварійних вимикачів. Усі кнопки пуску, зупинки й аварійного відключення мають бути чітко позначені. Якщо працівник не може швидко зорієнтуватися у схемі керування, то навіть справне обладнання може стати джерелом небезпеки у разі нештатної ситуації. Саме тому ергономічність і зрозумілість керування також слід розглядати як елемент системи безпеки.

Приєднання теплообмінника до теплогенератора і димового тракту повинно бути герметичним. Наявність підсмоктувань або витоків димових газів не лише знижує енергоефективність, а й створює небезпеку задимлення робочої зони. Особливо це стосується приміщень, де працівник перебуває тривалий час біля сушарки або теплогенератора. Для запобігання таким явищам необхідні періодичний контроль стану фланцевих з'єднань, ревізії зварних швів, перевірка ущільнень і регулярне очищення каналів від відкладень.

Внутрішні проходи, майданчики, сходи та зони біля сушарки повинні утримуватися в чистоті. Захаращення робочого простору, накопичення пилу,

залишків біомаси, мастильних матеріалів або тари знижують безпеку роботи, ускладнюють евакуацію і підвищують пожежну небезпеку. Для сушильного комплексу, що працює сезонно, характерним є різке збільшення виробничого навантаження в окремі періоди, тому саме в цей час контроль санітарного стану та порядку на робочому місці повинен бути особливо суворим.

4.3 Виробнича санітарія та захист працівників від шкідливих факторів

Для зменшення запиленості необхідно забезпечити щільність стиків транспортуючих каналів, справність очисних машин і своєчасне видалення пилу з підлоги, площадок, конструкцій та поверхонь обладнання. У місцях найбільш інтенсивного пиловиділення доцільно передбачити місцеве відсмоктування або інші засоби локалізації пилу. Необхідно пам'ятати, що пил, який тривалий час накопичується на корпусах машин, електродвигунах чи гарячих каналах, є джерелом не лише санітарної, а й пожежної небезпеки. Регулярне прибирання в цьому випадку є частиною системи безпеки.

Для захисту органів дихання і зору працівники повинні застосовувати засоби індивідуального захисту. Під час очищення обладнання, завантаження палива, видалення пилу або роботи в запиленій зоні доцільно використовувати респіратор, захисні окуляри та рукавиці. Спецодяг має бути підібраний так, щоб не мав вільних елементів, які можуть захоплюватися рухомими деталями механізмів. Спецвзуття повинно бути стійким до ковзання, оскільки робота біля сушарки нерідко відбувається в умовах запилення або наявності сипких домішок на підлозі.

Шумове навантаження в сушильному комплексі формується за рахунок роботи вентиляторів, транспортуючих механізмів, електродвигунів і руху повітря в повітропроводах. Навіть якщо шум не досягає критичних значень, його тривала дія негативно впливає на працездатність оператора, знижує увагу й підвищує ймовірність помилкових дій. Тому технічне обслуговування підшипників, правильне балансування обертових елементів, підтягування кріплень і своєчасний ремонт приводів повинні розглядатися і

як засіб боротьби з шумом. За необхідності працівник має використовувати індивідуальні засоби захисту слуху.

Електробезпека сушильного агрегату забезпечується справністю електрообладнання, правильним монтажем електромережі, наявністю захисного заземлення та дотриманням правил експлуатації. Усі металеві корпуси електродвигунів, шаф керування, вентиляторів, електрифікованих транспортних механізмів і допоміжного обладнання повинні бути заземлені. Пристрій захисного відключення, автомати та запобіжники мають відповідати розрахунковому навантаженню і не повинні замінюватися випадковими елементами. Експлуатація обладнання з пошкодженими кабелями, оголеними провідниками або саморобними підключеннями не допускається.

Оскільки в технологічній схемі використовується горюча рослинна біомаса, питання пожежної безпеки в цьому розділі є ключовими. Правила пожежної безпеки в Україні встановлюють загальні вимоги до будівель, споруд, територій, обладнання та технологічних процесів, а отже їх положення повною мірою стосуються і сушильного комплексу господарства. У нашому випадку найбільш ймовірними причинами загоряння можуть бути перегрів теплогенератора, іскроутворення, несправність електрообладнання, самозаймання або тління пилу та біомаси, а також поширення полум'я у бік бункера подачі палива.

Для попередження пожежі необхідно систематично очищати теплогенератор, димові канали й теплообмінник від золи, пилу та відкладень. Біля гарячих вузлів не допускається зберігання запасів побічної продукції соняшника, порожньої тари чи інших горючих матеріалів. Первинні засоби пожежогасіння повинні розміщуватися у доступних місцях, а проходи до них не можна захаращувати. Працівники повинні чітко знати місце розташування вогнегасників, рубильників аварійного вимкнення та шляхів евакуації.

У разі виявлення ознак аварійного режиму - різкого підвищення температури, появи запаху горілого, задимлення, поширення полум'я в

напрямку подаючого тракту, нетипового шуму обладнання або порушення тяги - працівник повинен негайно припинити подачу палива, знеструмити обладнання, повідомити відповідальну особу і вжити заходів для локалізації небезпеки. Якщо виникає реальна пожежа, подальші дії мають здійснюватися відповідно до плану реагування та вимог цивільного захисту. Кодекс цивільного захисту України визначає загальні правові основи запобігання надзвичайним ситуаціям і реагування на них, що робить його нормативною основою для організації дій персоналу під час аварії.

Встановлення теплообмінника в модернізованій схемі загалом позитивно впливає на безпеку, оскільки дозволяє знизити температуру відхідних газів і впорядкувати тепловий режим системи. Водночас новий вузол потребує регулярного огляду, контролю герметичності та очищення. Якщо ці вимоги виконуються, модернізація не погіршує умов безпечної роботи, а навпаки - робить експлуатацію сушильного агрегату більш стабільною та передбачуваною.

Висновки

У результаті проведеного аналізу встановлено, що під час експлуатації сушильного агрегату основними небезпечними факторами є рухомі механізми, гарячі поверхні, пилове навантаження, шум, електричний струм та пожежонебезпечні властивості побічної продукції соняшника. Для забезпечення безпечних умов праці необхідно застосовувати огороження, теплоізоляцію, заземлення, своєчасне очищення обладнання, засоби індивідуального захисту, інструктаж персоналу та організаційні заходи пожежної профілактики. Реалізація запропонованої модернізації з установленням теплообмінника є допустимою за умови дотримання вимог охорони праці, пожежної безпеки та належного технічного обслуговування установки.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

Економічну ефективність запропонованої модернізації доцільно оцінювати не лише за обсягом сушіння насіння соняшника, а за річним завантаженням сушильного агрегату, оскільки після встановлення теплообмінника він працює протягом усього сушильного сезону. Такий підхід є більш правильним, ніж розрахунок лише для однієї культури, бо в реальних умовах господарства зерносушарка використовується для післязбиральної доробки кількох видів продукції.

Для виконання техніко-економічного розрахунку приймаємо, що зерносушарка господарства використовується протягом сезону для сушіння соняшника та інших культур. Загальний річний обсяг роботи сушильного агрегату приймається на рівні $G_p=2400$ т/рік

Такий показник відповідає роботі зерносушарки середнього господарства протягом усього періоду післязбиральної доробки. Для обґрунтування цього значення можна умовно прийняти таку структуру сушіння: насіння соняшника — 728 т, кукурудза — 980 т, пшениця та інші зернові — 692 т.

За результатами теплотехнічного розрахунку, виконаного в попередньому розділі, встановлено, що питома витрата палива в існуючій схемі сушіння становить $b_0=37,7$ кг/т, а після впровадження теплообмінника вона зменшується до $b_1=33,6$ кг/т

Тоді економія палива на 1 т висушеної продукції дорівнює

$$\Delta b = b_0 - b_1 = 37,7 - 33,6 = 4,1 \text{ кг/т}$$

Оскільки у господарстві як паливо використовується власна побічна продукція соняшника, в економічному розрахунку враховується не ринкова ціна придбання палива, а собівартість його заготівлі та підготовки. До неї входять витрати на збирання, транспортування, подрібнення, зберігання та подачу в теплогенератор. Для розрахунку приймаємо:

$$C_{\pi} = 5000 \text{ грн/т}$$

Крім того, слід врахувати додаткові щорічні витрати на обслуговування нового теплообмінника. Вони включають очищення трубного пучка, огляд зварних з'єднань, перевірку герметичності та дрібний ремонт. Для розрахунку приймаємо $Z_{\text{обсл}}=1500$ грн/рік

Таблиця 5.1

Основні вихідні дані для техніко-економічного розрахунку

Показник	Позначення	Одиниця	Значення
Річний обсяг роботи сушильного агрегату	G_p	т/рік	2400
Питома витрата палива до впровадження	b_0	кг/т	37,7
Питома витрата палива після впровадження	b_1	кг/т	33,6
Економія палива на 1 т продукції	Δb	кг/т	4,1
Собівартість підготовленої побічної продукції соняшника	C_p	грн/т	5000
Щорічні витрати на обслуговування теплообмінника	$Z_{\text{обсл}}$	грн/рік	1500

Для реалізації запропонованого технічного рішення необхідно виготовити та встановити рекуперативний трубчастий теплообмінник, виконати монтажні роботи, приєднати його до теплогенератора і димового тракту, а також провести пусконаладжувальні роботи. Загальні капітальні витрати визначаються за формулою

$$K = K_{\text{мат}} + K_{\text{виг}} + K_{\text{монт}} + K_{\text{налаг}}$$

де

$K_{\text{мат}}$ — вартість матеріалів; $K_{\text{виг}}$ — витрати на виготовлення; $K_{\text{монт}}$ — витрати на монтаж; $K_{\text{налаг}}$ — витрати на налагодження.

До матеріальних витрат включаємо теплообмінні труби, листовий метал для корпусу, фланці, патрубки, опори, зварювальні матеріали, кріпильні елементи і теплоізоляцію.

Таблиця 5.3

Капітальні витрати на впровадження теплообмінника

Стаття витрат	Сума, грн
Теплообмінні труби, листовий метал, фланці, патрубки	16800
Корпус, опори, кріпильні елементи	9200
Теплоізоляція та допоміжні матеріали	4500
Зварювальні та складальні роботи	6500
Монтаж теплообмінника	3500
Налагодження та пробний запуск	2000
Разом	42500

Отже, загальні капітальні вкладення у впровадження модернізації становлять $K=42500$ грн

Річна витрата побічної продукції соняшника як палива до встановлення теплообмінника визначається за формулою

$$B_0 = \frac{G_p \cdot b_0}{1000},$$

де

B_0 — річна витрата палива до впровадження, т/рік; G_p — річний обсяг роботи сушильного агрегату, т/рік; b_0 — питома витрата палива до впровадження, кг/т.

$$B_0 = \frac{2400 \cdot 37,7}{1000} = 90,48 \text{ т/рік.}$$

Отже, в існуючій тепловій схемі сушильний агрегат витрачає за рік $B_0=90,48$ т.

Вартість цієї кількості палива визначається за формулою:

$$Z_0 = B_0 \cdot C_{\text{п}}$$

де

Z_0 — річні витрати на паливо до впровадження, грн/рік.

$$Z_0 = 90,48 \cdot 5000 = 452400 \text{ грн/рік}$$

Отже, річні витрати на паливо до модернізації становлять $Z_0 = 452400$ грн/рік.

Після встановлення теплообмінника річна витрата палива зменшиться і становитиме:

$$B_1 = \frac{G_p \cdot b_1}{1000},$$

де B_1 — річна витрата палива після впровадження, т/рік.

$$B_1 = \frac{2400 \cdot 33,6}{1000} = 80,64 \text{ т/рік.}$$

Отже, після впровадження теплообмінника річна витрата побічної продукції соняшника як палива становить $B_1 = 80,64$ т/рік

Вартість річної витрати палива після модернізації:

$$Z_1 = B_1 \cdot C_p,$$

$$Z_1 = 80,64 \cdot 5000 = 403200 \text{ грн/рік.}$$

Тоді сумарні щорічні витрати після впровадження з урахуванням обслуговування теплообмінника визначаються як

$$Z_1^{\Sigma} = Z_1 + Z_{\text{обсл}}$$

$$Z_1^{\Sigma} = 403200 + 1500 = 404700 \text{ грн/рік.}$$

Річна економія палива у натуральному вираженні визначається різницею між витратами палива до і після впровадження:

$$\Delta B = B_0 - B_1.$$

$$\Delta B = 90,48 - 80,64 = 9,84 \text{ т/рік.}$$

Економія від зменшення витрати палива визначається як різниця річних витрат на паливо до і після впровадження:

$$E_{\text{пал}} = Z_0 - Z_1,$$

де

$E_{\text{пал}}$ — економія коштів на паливі, грн/рік.

$$E_{\text{пал}} = 452400 - 403200 = 49200 \text{ грн/рік}$$

Проте для визначення реального річного економічного ефекту потрібно врахувати додаткові витрати на обслуговування теплообмінника:

$$E_p = E_{\text{пал}} - Z_{\text{обсл}},$$

де E_p — річний економічний ефект, грн/рік.

$$E_p = 49200 - 1500 = 47700 \text{ грн/рік.}$$

Отже, річний економічний ефект від впровадження теплообмінника становить $E_p = 47700$ грн/рік.

Для оцінки впливу модернізації на собівартість процесу сушіння визначимо питомі витрати на паливо до і після впровадження.

Питомі витрати до встановлення теплообмінника:

$$z_0 = \frac{Z_0}{G_p},$$

$$z_0 = \frac{452400}{2400} = 188,5 \text{ грн/т.}$$

Питомі витрати після впровадження теплообмінника:

$$z_1 = \frac{Z_1^{\Sigma}}{G_p},$$

$$z_1 = \frac{404700}{2400} = 168,63 \text{ грн/т.}$$

Зменшення питомих витрат становить:

$$\Delta z = z_0 - z_1,$$

$$\Delta z = 188,5 - 168,63 = 19,87 \text{ грн/т.}$$

Отже, після впровадження теплообмінника питома паливна складова собівартості сушіння зменшується майже на $\Delta z = 19,9$ грн/т.

Строк окупності капітальних вкладень визначається за формулою:

$$T = \frac{K}{E_p},$$

де

T — строк окупності, років.

$$T = \frac{42500}{47700} = 0,89 \text{ року.}$$

Отже, строк окупності становить $T=0,89$ року = 11 місяців.

Показник	До впровадження	Після впровадження
Питома витрата палива, кг/т	37,7	33,6
Річна витрата палива, т/рік	90,48	80,64
Річні витрати на паливо, грн/рік	452400	403200
Витрати на обслуговування теплообмінника, грн/рік	—	1500
Сумарні щорічні витрати, грн/рік	452400	404700
Питомі витрати на сушіння, тис. грн/т	188,5	168,63
Капітальні вкладення, грн	—	425000
Річний економічний ефект, грн/рік	—	477000
Строк окупності, років	—	0,89

Висновки

1. Отриманий економічний ефект пояснюється тим, що після встановлення теплообмінника частина теплоти димових газів не втрачається в атмосферу, а використовується повторно в сушильному процесі. Це дозволяє зменшити витрати біомаси на кожну тону висушеної продукції. Важливо, що економічний ефект формується не лише під час сушіння соняшника, а протягом усього періоду роботи агрегату, тобто на всіх культурах, які проходять через сушарку.

2. З технічної точки зору теплообмінник не змінює принципово конструкцію всієї сушильної установки, а є додатковим вузлом, який інтегрується в існуючий димовий тракт. Саме тому капітальні витрати залишаються відносно невеликими, а строк окупності є коротким. Для фермерського господарства це особливо важливо, оскільки дозволяє підвищити енергоефективність без придбання нового сушильного комплексу.

ВИСНОВКИ

1. У дипломній роботі розглянуто питання підвищення енергоефективності процесу сушіння насіння соняшника в умовах фермерського господарства за рахунок використання побічної продукції соняшника як палива.
2. У результаті аналізу встановлено, що в господарстві доцільно застосовувати існуючу сушильну схему на базі зерносушарки ДСП-25 та твердопаливного теплогенератора, однак така схема характеризується помітними втратами теплоти з відхідними димовими газами.
3. Проведений теплотехнічний аналіз показав, що найбільший резерв підвищення енергоефективності полягає в утилізації теплоти димових газів і поверненні її в технологічний процес сушіння.
4. На основі аналізу існуючих конструкцій теплообмінників обґрунтовано доцільність застосування рекуперативного трубчастого газо-повітряного теплообмінника, який найбільш повно відповідає умовам роботи з гарячими та забрудненими димовими газами.
5. У межах прийнятих вихідних даних виконано розрахунок конструктивних параметрів теплообмінника. Визначено, що для умов господарства доцільно використовувати компактний теплообмінник тепловою потужністю 41,25 кВт з площею поверхні теплообміну 13,8 м², який складається з 32 труб 57×3,5 мм довжиною 2500 мм.
6. Розроблено конструктивну схему теплообмінника, а також виконано складальне креслення і деталювання основних елементів: теплообмінної труби, патрубків входу димових газів, опори корпусу та інших вузлів.
7. У результаті модернізації теплової схеми забезпечується зменшення питомої витрати палива з 37,7 до 33,6 кг/т, тобто на 4,1 кг/т, що відповідає зниженню витрат палива приблизно на 10,9 %.

8. Техніко-економічний розрахунок показав, що при річному обсязі роботи сушильного агрегату 2400 т/рік річний економічний ефект від упровадження теплообмінника становить 47,7 тис. грн, а строк окупності капітальних вкладень - близько 0,89 року.
9. Розроблені в роботі заходи з охорони праці підтверджують можливість безпечної експлуатації модернізованого сушильного агрегату за умови дотримання вимог до електробезпеки, пожежної безпеки, захисту від запиленості та дії нагрітих поверхонь.
10. Отже, запропоноване технічне рішення є технічно обґрунтованим, економічно доцільним і придатним до впровадження в умовах фермерського господарства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України.
2. Кодекс цивільного захисту України : Кодекс України; Закон від 02.10.2012 № 5403-VI // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України.
3. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні : Наказ МВС України від 30.12.2014 № 1417 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України.
4. Гелету́ха Г. Г., Драгнєв С. В., Желєзна Т. А., Баштовий А. І. Перспективи енергетичного використання побічної продукції від вирощування соняшнику : аналіт. записка № 25. Київ : Біоенергетична асоціація України, 2020. 48 с.
5. Marechal V., Rigal L. Characterization of by-products of sunflower culture – commercial applications for stalks and heads // Industrial Crops and Products. 1999. Vol. 10, issue 3. P. 185–200. DOI: 10.1016/S0926-6690(99)00023-0.
6. Matin A., Majdak T., Krička T., Grubor M. Valorization of sunflower husk after seeds convection drying for solid fuel production // Journal of Central European Agriculture. 2019. Vol. 20, no. 1. P. 389–401. DOI: 10.5513/JCEA01/20.1.2018.
7. Kindzera D., Hosovskyi R., Atamanyuk V., Symak D. Heat Transfer Process During Filtration Drying of Grinded Sunflower Biomass // Chemistry & Chemical Technology. 2021. Vol. 15, no. 1. P. 118–124. DOI: 10.23939/chcht15.01.118.
8. Dibagar N., Kowalski S. J., Chayjan R. A., Figiel A. Accelerated convective drying of sunflower seeds by high-power ultrasound: Experimental assessment and optimization approach // Food and Bioproducts Processing. 2020. Vol. 123. P. 42–59. DOI: 10.1016/j.fbp.2020.05.014.

9. Gorbenko O., Lapenko H., Lapenko T., Kolotii S. Determination on energy efficiency in corn grain drying // Technology Audit and Production Reserves. 2025. Vol. 2, no. 1(82). P. 45–49. DOI: 10.15587/2706-5448.2025.326080.
10. Шаповаленко О. І., Євтушенко О. О., Янюк Т. І., Рибчинський Р. С. Сушіння та зберігання зерна : підручник. Херсон : Олді-Плюс, 2020. 396 с.
11. Кобець А. С., Чурсінов Ю. О., Черних С. А., Сабадаш М. П., Грекова Н. В., Канунніков В. П. Машини і обладнання для зберігання та комплексної обробки зерна : навч. посіб. Дніпропетровськ : Літограф, 2014. 614 с.
12. Serth R. W., Lestina T. Process Heat Transfer: Principles, Applications and Rules of Thumb. 2nd ed. Oxford : Elsevier, 2014.
13. Flynn A. M., Akashige T., Theodore L. Kern's Process Heat Transfer. 2nd ed. Hoboken : Wiley-Scrivener, 2019. 726 p.
14. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу : Державні санітарні норми та правила, затв. наказом МОЗ України від 08.04.2014 № 248. Київ, 2014.

ДОДАТКИ

Форм	Зона	Позн	Позначення	Найменування	Кільк	Примітка
				<u>Документація</u>		
A1			52.ДП.107.000.003ТХ	Технологічна схема		
				сушіння		
				<u>Складові одиниці</u>		
		1		Бункер палива		
		2		Шнек подачі палива		
		3		Теплогенератор		
		4		Вентилятор подачі повітря		
		5		Газохід подачі теплоносія		
		6		Сушильна камера (сушильна шахта)		
		7		Канал відведення відпрацьованого сушильного		
		8		Димова труба		
		9		Завантажувальний бункер відпрацьованого матеріалу		
		10		Живильник		
		11		Похилий шнековий транспортер		
		12		Вузол вивантаження сушильного матеріалу		
		13		Напрямок подавання до складу зберігання		
				47.ДП.107.000.003.ТХ		
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата	Технологічна схема сушіння	
Розроб.	Іванова Г.В					
Перев.	Золотовська О.В.				Лім	
					Лист	Листів

Н.контр оль	Бойко В.Б				ДДАЕУ Група АІС-1-23
Затв.	Теслюк Г.В.				

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

**Підвищення енергоефективності процесу сушіння насіння
соняшника з використанням побічної продукції соняшника як
палива**

Демонстраційний матеріал до дипломного проєкту освітнього ступеня «Бакалавр»

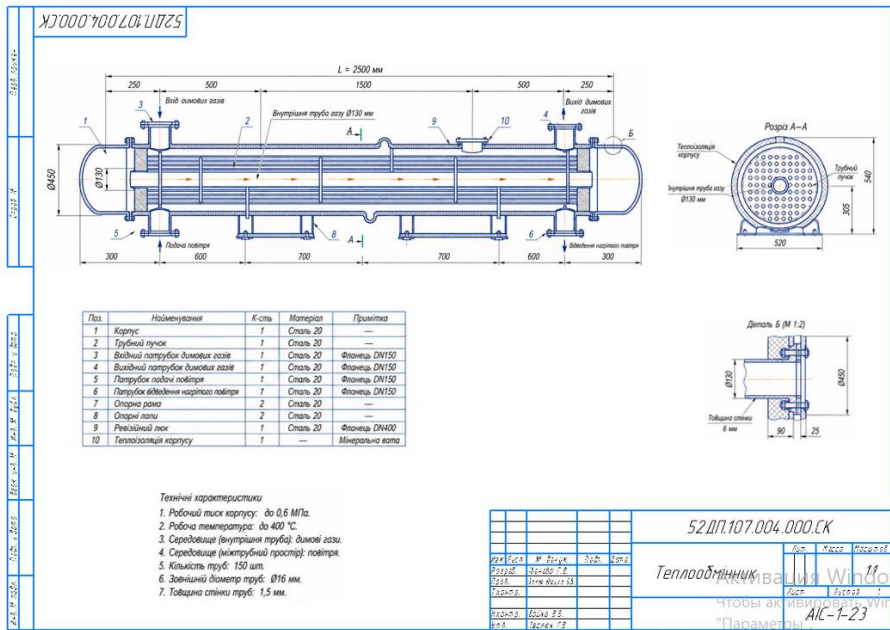
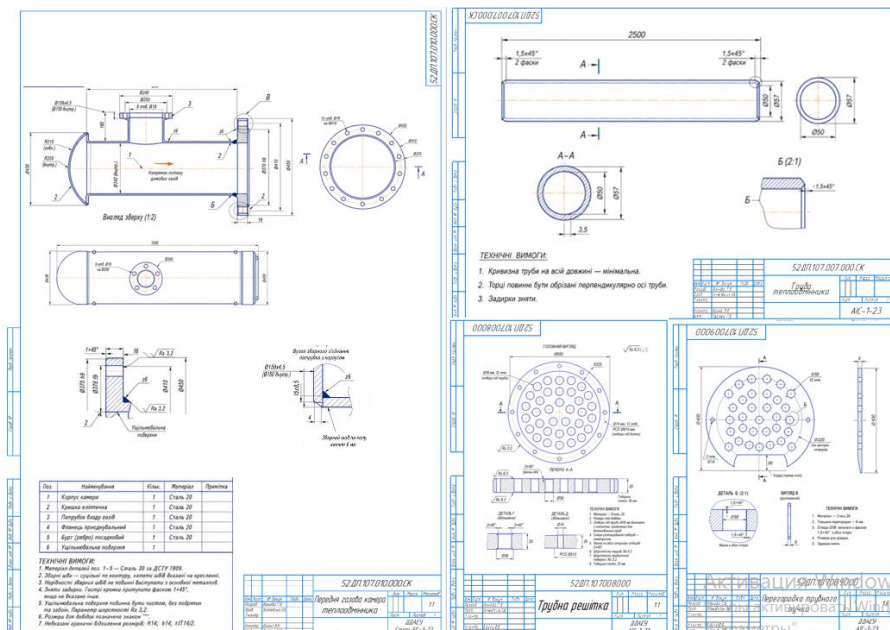
Виконала: здобувачка групи АІС-1-23
Іванова Галина Віталіївна

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

Дніпро 2026

Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите
"Параметры".







	52ДП.107.012.000.ТБ			
Економічна оцінка проектування Windows	Активация Windows	Дата:	Масса:	Мощность:
		Результат:	Время:	:
	Чтобы активировать Window "Параметры"	АК-1-23		