

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА  
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

# **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: **“Проектування автоматизованої системи виготовлення  
паливних брикетів із відходів деревини”**

Виконала: ст. гр. АКТ-42  
Спеціальності 151 – „Автоматизація та  
комп’ютерно-інтегровані технології”  
(шифр і назва)

Савка Маркіян Іванович  
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., в.о., доц. Боярчук О.В.  
(Прізвище та ініціали)

Рецензенти:  
(Прізвище та ініціали)

**ДУБЛЯНИ-2024**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

перший (бакалаврський) рівень вищої освіти  
ОС «Бакалавр» за спеціальністю – 151 – „Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

д.т.н., проф. А.М. Тригуба

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

## ***ЗАВДАННЯ***

на кваліфікаційну роботу студенту

Савці Маркіяну Івановичу

1. Тема роботи: «Проектування автоматизованої системи виготовлення паливних брикетів із відходів деревини»

Керівник роботи Боярчук Олег Віталійович, к.т.н., в.о., доцент.

Затверджені наказом по університету від «27» листопада 2023 р. № 641  
/к-с.

2. Строк подання студентом роботи 17.06.2024 р.

3. Початкові дані до роботи: Аналіз існуючих методів і технологій виготовлення паливних брикетів, основні вимоги до автоматизованої системи, технічне завдання на проектування системи, технічні рішення для автоматизації процесу.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1. Характеристика відходів лісового господарства
2. Розробка структурної схеми автоматизованої системи лінії виробництва паливних гранул.
3. Розрахунок стійкості системи управління
4. Економічні переваги використання відходів деревини в енергетичних цілях
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях
6. Висновки та пропозиції
7. Список використаних джерел.

5. Перелік презентаційного матеріалу (з зазначенням обов'язкових елементів): \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3, 4, 6	<i>Боярчук О.В., в.о. доцента кафедри інформаційних технологій</i>		
5	<i>Городецький І.М., доцент кафедри управління проектами та безпеки виробництва</i>		

7. Дата видачі завдання 27.11.2023.

### **КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Терміни виконання роботи	Примітка
1	<i>Написання першого розділу та означення головних завдань роботи</i>	<i>27.11.2023 – 01.01.2024</i>	
2	<i>Виконання другого розділу та формування головних показників для розрахунків</i>	<i>01.01.2024 – 01.02.2024</i>	
3.	<i>Виконання третього розділу та формування початкових даних</i>	<i>01.02.2024 – 01.03.2024</i>	
4.	<i>Виконання четвертого розділу та узагальнення отриманих результатів магістерської роботи</i>	<i>01.03.2024 – 01.04.2024</i>	
5.	<i>Написання розділу: «Охорона праці»</i>	<i>01.05.2024 – 01.06.2024</i>	
7.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та аркушів графічної частини</i>	<i>01.05.2024 – 14.06.2024</i>	
8.	<i>Завершення роботи в цілому</i>	<i>01.06.2024 – 14.06.2024</i>	

Студент \_\_\_\_\_ Савка М.І.  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Боярчук О.В.  
(підпис)

УДК 004.94:674.816

Проектування автоматизованої системи виготовлення паливних брикетів із відходів деревини. Савка М.І. Кваліфікаційна робота. Кафедра ІТ. – Дубляни, Львівський НУП, 2024.

61 с. текст. част., 23 рис., 5 табл., 26 літ. джерел.

Проведено огляд наукових та технічних джерел з тематики виробництва паливних брикетів. Вивчено існуючі методи та технології переробки відходів деревини в паливні брикети. Проаналізовано сучасні автоматизовані системи, що застосовуються у виробництві паливних брикетів.

Розроблено детальну технологічну схему виготовлення паливних брикетів із відходів деревини. Визначено оптимальну послідовність етапів технологічного процесу (подрібнення, сушка, пресування, охолодження). Обрано відповідне обладнання для кожного етапу виробничого процесу. Розроблено критерії вибору обладнання з урахуванням технічних та економічних характеристик.

Розроблено систему автоматизації виробництва, включаючи апаратні та програмні компоненти. Визначено алгоритми управління та контролю технологічного процесу. Проведено розрахунки енергоспоживання та витрат на виробництво.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
<b>РОЗДІЛ 1 РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ВІДХОДІВ ЛІСОВОГО ГОСПОДАРСТВА .....</b>	<b>8</b>
1.1 Сучасний стан проблеми утворення відходів лісового господарства ...	8
1.2. Властивості відходів деревини .....	10
1.3. Перспективи переробки відходів лісового господарства .....	13
1.4. Обсяг утворення деревних відходів. ....	16
<b>РОЗДІЛ 2</b>	
<b>РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЛІНІЇ ВИРОБНИЦТВА ПАЛИВНИХ ГРАНУЛ. ....</b>	<b>19</b>
2.1 Технологія виробництва деревних паливних гранул .....	19
2.2 Функціональні схеми підсистеми управління процесом пакування. ...	24
2.3. Вибір і обґрунтування окремих вузлів і компонентів системи .....	26
<b>РОЗДІЛ 3</b>	
<b>РОЗРАХУНОК СТІЙКОСТІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ .....</b>	<b>33</b>
3.1. Розробка математичної моделі .....	33
3.2 Визначення стійкості системи за критерієм Гурвіца .....	38
3.3 Визначення стійкості системи згідно критерію Михайлова .....	39
3.4. Аналіз якості системи і синтез регулятора .....	41
<b>РОЗДІЛ 4</b>	
<b>РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНІ ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ДЕРЕВИНИ В ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЦІЛЯХ .....</b>	<b>45</b>
4.1. Твердопаливні прилади для автономних систем опалення .....	45
4.2. Показники якості паливного ресурсу .....	47
<b>РОЗДІЛ 5</b>	
<b>РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ...</b>	<b>51</b>
5.1. Розробка логіко-імітаційної моделі виникнення травм і аварій .....	51
5.2. Планування заходів із покращення умов праці .....	53
5.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях .....	54
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....</b>	<b>57</b>
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>56</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>61</b>

## ВСТУП

Актуальність теми дослідження полягає в тому, що деревина займає особливе місце серед природних ресурсів Землі. Сьогодні ліси інтенсивно експлуатуються людством в енергетичних цілях, що призводить до серйозних негативних наслідків.

Використання деревної біомаси набуває особливого значення, оскільки світові енергетичні ресурси стають все більш дефіцитними. Задоволення енергетичних потреб людства є одним з найбільших викликів третього тисячоліття. Виробництво деревних пелет – це альтернативна технологія, яка може подолати всі ці виклики. Сьогодні опалення пелетами обходиться на 60 % дешевше, ніж нафтою, і на 40% дешевше, ніж електроенергією. Пелети дешевші за паливо, що викопується та є відновлювальним джерелом енергії: 100 000 кубометрів відходів деревини можуть замінити близько 18 000 000 000 літрів традиційного викопного палива.

Серед біомаси органічного походження деревина має широке застосування. Деревина в основному складається з целюлози, лігніну, смоли та певної кількості води. Якщо розкласти деревину на основні енергетичні елементи, то вуглець становить близько 50 відсотків, водень - близько 6 відсотків, а кисень - близько 44 відсотків. Її теплотворна здатність становить 14-17 МДж/кг. Наразі світові запаси деревини становлять 360-109 м3, що приблизно еквівалентно енергетичній цінності 175-109 тонн традиційного палива.

Недорогих і доступних технологій утилізації деревних відходів майже не існує. Це призводить не лише до втрат енергії, але й спричиняє низку екологічних проблем (наприклад, забруднення водних джерел та ґрунту навколо сміттєзвалищ, поширення хвороботворних мікроорганізмів тощо). Розробка та використання сучасних новітніх технологій утилізації деревних відходів може мати значний екологічний та економічний вплив на регіони України.

Мета роботи – підвищення ступеня екологічної безпеки за допомогою впровадження раціональної комплексної системи поводження із відходами лісового господарства з отриманням енергетичного продукту.

Відповідно до поставленої мети були вирішені такі завдання:

- визначити склад та об'єми деревних відходів в Україні;
- проаналізувати хімічні властивості деревних відходів;
- проаналізувати технологію виробництва паливних брикетів та пелет, як раціональну комплексну систему поводження із відходами деревини, з метою отримання енергії.

- провести аналіз переваг та недоліків технології переробки відходів лісового господарства та оцінити її економічну ефективність.

Об'єкт дослідження – зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище від лісового господарства.

Предмет дослідження – технологія перероблення відходів лісового господарства з отриманням паливних брикетів та пелет.

Методи дослідження. Методологічною основою роботи є метод наукового пізнання, системний підхід до вивчення проблеми ефективної переробки відходів лісового господарства, SWOT-аналіз.

## РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ВІДХОДІВ ЛІСОВОГО ГОСПОДАРСТВА

### 1.1 Сучасний стан проблеми утворення відходів лісового господарства

Процес переробки та обробки деревини в усіх галузях промисловості призводить до утворення значної кількості відходів. Від першого етапу - вирубки лісу та вивезення колод - до останнього етапу - переробки деревини - процес генерує деревні відходи, які не будуть використані в майбутньому. Кількість відходів не тільки дорівнює, але в більшості випадків перевищує загальний обсяг продукту. Наприклад, при заготівлі та вивезенні деревини з лісу близько 20 % сировини стає відходами у вигляді гілок, пнів і коріння (рис.1.1), а коли їх видаляють, ще близько 20 % стає дровами. У лісопильному виробництві частка відходів становить 35-42 %. У меблевому виробництві в середньому 53-65 % доставленої деревини є відходами. Відходи у виробництві фанери становлять 54 %, а для струганого шпону - 30-45 % [10].



Рисунок 1.1 – Кількість утворення відходів деревини протягом місяця в різних областях України



Відходи утворені в результаті переробки сировини на підприємствах можна розділити на такі основні групи:

Горби, обапіл і хвости

Горбиль: відходи лісопиляння та переробки деревини (торці колод і дощок), обрізки фанерних колод, олівці, обрізки сухих заготовок і деталей, обрізки від дефектного розпилу (поздовжнього і поперечного);

Фанера і плитка: торцеві обрізки з шпону, фанери, ДВП і ДСП;

Стружка всіх видів від обробки заготовок і деталей на деревообробних верстатах

Тріска і тирса всіх видів, що утворюються під час розпилювання, різання, склеювання фанери та обробки заготовок і деталей на деревообробних верстатах; Тріска, що утворюється під час шліфування деталей на верстатах та інших виробничих процесах [18].

Фрагменти кори, що утворюються під час луцення колод на лісопилках, у фанерній та целюлозно-паперовій промисловості [3].

До цього переліку слід додати велику кількість деревних відходів, що утворюються під час виробництва меблів у численних цехах і меблевих виробництвах, які з'явилися в нашій країні останніми роками.

Всі перераховані вище відходи також можна класифікувати на господарські (великі) відходи, які ще придатні для механічної переробки в корисну продукцію на основному обладнанні деревообробних підприємств, і невиробничі (дрібні) відходи, які вимагають установки спеціальних виробничих потужностей для подальшого використання [2].

Залежно від стадії переробки деревини відходи можна поділити на такі категорії:

Відходи лісозаготівлі: гілки, верхівки, коріння пнів, кора (частково), обрізки та неринкова деревина (дрова);

Відходи первинної переробки деревини на лісопилках та фанерному виробництві: рейки, горбилі, обрізки, стружка, тирса, кора, обрізки, олівці;

- відходи меблевого виробництва: обрізки, стружка, тирса, обапіл.

Джерела деревних відходів

Відходи утворюються з наступних причин:

- Через біологічні особливості росту дерев (листя, хвоя, гілки, верхівки, пні, коріння, кора);
- Для отримання квадратного матеріалу з круглого (гірки, рейки).
- Через ріст стовбура (рейки, зрізи встик);
- Неправильна форма стовбура - яйцеподібна, зростання (щілини);
- Дефекти деревини - сучки, розколи (обрізки);
- Незавершеність технологічних процесів при обробці деревини (тирса, стружка, тріска, олівець, стружка при розкрої шпону).

## 1.2. Властивості відходів деревини

Деревина складається переважно з органічних речовин (99 % від загальної маси). Елементний хімічний склад деревини різних порід майже однаковий. В середньому повністю суха деревина містить 49 % вуглецю, 44 % кисню, 6 % водню і 0,1-0,3 % азоту (табл. 1.1).

При спалюванні деревини неорганічна частина залишається у вигляді попелу. Зола містить кальцій, калій, натрій, магній та інші елементи (табл. 1.2).

Таблиця 1.1 – Середній хімічний склад різних видів деревини [9]

Найменування	Одиниці вимірювання	Види деревини						
		Береза	Бук	Верба	Дуб	Ялина	Сосна	Тополя
Зольність	%	1,4	0,6	2,1	1,19	0,96	0,6	1,22
Вуглець, С	%	50,19	49,5	49,3	49,89	51,09	51,8	49,42
Водень, Н	%	7,49	6,26	6,6	6,01	5,54	6,1	6,0
Азот, N	%	0,49	0,1	1,1	0,17	0,12	0,3	0,23
Сірка, S	%	0,49	0,1	0,1	0,05	0,01	0,01	0,05
Кисень, О	%	39,93	43,7	40,77	42,68	41,19	41,19	43,07

При спалюванні деревини неорганічна частина залишається у вигляді попелу. Зола містить кальцій, калій, натрій, магній та інші елементи (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Результати вимірювання емісії шкідливих речовин при спалюванні деревини [1]

Речовина	Брикети з деревини (W 9,8 %)	Вугілля (W 3,3 %)	Кускова деревина (W 9,8 %)
CO, г/ГДж	1760	2990	2400
SO <sub>2</sub> , г/ГДж	16	283	5
NO <sub>2</sub> , г/ГДж	42	162	32
Пил, г/ГДж	39	294	116

Перераховані вище хімічні елементи складають головні органічні речовини целюлозу, лігнін і геміцелюлозу.

Целюлоза – природний полімер, довголанцюговий полісахарид. Це дуже стійка речовина, нерозчинна у воді та звичайних органічних розчинниках (спиртах, ефірах тощо), білого кольору. Пучки макромолекул целюлози (найтонші волокна) називаються мікрофібрилами. Вони утворюють целюлозний каркас клітинної стінки. Мікрофібрили в основному орієнтовані вздовж довгої осі клітини, а між ними знаходяться лігнін, гемоцелюлоза і вода.

Лігнін - це ароматичний (поліфенольний) полімер зі складною структурою, який містить більше вуглецю і менше кисню, ніж целюлоза. Ця речовина відповідає за процес лігніфікації молодих клітинних стінок. Лігнін хімічно нестійкий, легко окислюється, взаємодіє з хлором і розчиняється при нагріванні у водних розчинах лугів, сірчаної кислоти та її кислих солей [7].

Геміцелюлоза - це група полісахаридів, що містить пентозан. На перший погляд, формула гексанів ідентична формулі целюлози. Проте всі

Геміцелюлози мають значно нижчий ступінь полімеризації, що коливається в межах 60-200. Це свідчить про те, що молекулярні ланцюги цих речовин коротші і менш стабільні, ніж у целюлози. Крім основних органічних речовин, деревина містить відносно невелику кількість екстрактивних речовин (дубильні речовини, смоли, камеді, пектинові речовини, жири тощо), які розчиняються у воді, спирті та ефірі.

Деревина використовується як сировина в трьох хімічних галузях: целюлозно-паперовій, гідролізній та лісохімічній.

Целюлозно-паперова промисловість виробляє целюлозу для виготовлення паперу, картону, різних целюлозних матеріалів (похідних целюлози) і деревоволокнистих плит. Похідні целюлози мають широке застосування. При взаємодії целюлози з водними розчинами каустичної соди, азотної кислоти, сірчаної кислоти і оцтового ангідриду отримують штучні волокна (штапель, віскозу, ацетатний шовк), бордюрне волокно для автомобільних і авіаційних шин, целофан, целулоїд, кіноплівку, фотоплівку, нітролак і нітроклеї.

Коли розчини кислот взаємодіють з деревиною, целюлоза і геміцелюлоза гідролізуються і перетворюються на моносахариди (наприклад, глюкозу, ксилозу). Однак гідролізна промисловість в основному орієнтована на подальшу біохімічну переробку цукрів.

Реакції гідролізу відбуваються при значно вищих температурах (150- 190°C). При охолодженні гідролізату (водного розчину моносахаридів) утворюється пара, з якої з конденсату отримують фурфурол. Фурфурол використовується у виробництві пластмас, синтетичних волокон (нейлон), смол, фармацевтичних препаратів (наприклад, фурацилан) і барвників.

Гідролізати піддаються подальшій переробці для виробництва кормових дріжджів, етилового спирту (етанолу) та вуглекислого газу. Етиловий спирт виробляється виключно з хвойних порід дерев і використовується як розчинник, а віднедавна - як паливо.

Піроліз відбувається при нагріванні деревини без доступу повітря. В результаті піролізу утворюється деревне вугілля, олія та газ.

Деревне вугілля, з його високою адсорбційною здатністю, використовується для промислових розчинів, очищення стічних вод, виробництва цукру, виплавки кольорових металів, фармацевтики, напівпровідників, виробництва електродів і багатьох інших цілей.

Целюлоза - це розчин продуктів розкладання, що використовується у виробництві консервантів, фенолу, оцтової кислоти, метилового спирту та ацетону. Газ, що утворюється під час піролізу деревини, використовується як паливо. Низькоякісна деревина, а також екстрактивні речовини використовуються як сировина в лісохімічній промисловості. Видобування смоли (живиці) з хвойних порід деревини здійснюється методом шабрування. Для цього восени на поверхні стовбурів сосни і кедра роблять спеціальні подряпини (карри), з яких живиця зливається в конічні посудини. Живиця переробляється на лісохімічному підприємстві, де летюча частина - скипидар - відганяється парою, а каніфоль виварюється.

Скипидар виступає розчинником у лакофарбовій промисловості для виробництва синтетичної камфори. Камфора використовується у виробництві целюлози, лаку і плівки. Каніфоль використовується у виробництві гуми, паперу, нітролаків та електроізоляційних матеріалів.

### **1.3. Перспективи переробки відходів лісового господарства**

У минулому дрова вважалися єдиним доступним паливом. Пізніше інші джерела енергії, такі як торф, вугілля, а згодом природний газ і нафта стали домінуючими. Відкриття нових джерел енергії та виснаження лісів призвело до необхідності мінімізувати використання дров як палива.

Його використовували як будівельний і оздоблювальний матеріал, а також як сировину для виробництва паперу. У деяких куточках світу, де є дефіцит електроенергії та палива, потреба в дереві набуває широкого масштабу. В наш час світова індустрія використовує деревину в таких відсотках:

57 % – ліс та пиломатеріали;

28 % – виробництво паперу;

4 % – деревне паливо;

11 % – відходи деревообробки.

Аналізуючи статистику, видно, що більша частина деревини, а саме 85 %, використовується для виробництва паперу та виготовлення виробів з деревини. Використання деревини як палива становить 4 %. Решта 11 % складають відходи при виготовленні продукції та витрати на транспортування. Частина цього обсягу може бути використана як паливо або сировина для повторного використання та виробництва ДВП та ДСП [19].

Відходи, які утворились при переробці деревини, поділяються на дві великі групи: лісові та промислові.

Перший тип відходів утворюється в лісі і складається з мертвих дерев, гілки що опали, спалені дерева та відходи, що утворюються в результаті заготівлі, бракування та транспортування. Статистики щодо цього виду відходів немає. Найбільша частина відходів, що розглядаються, походить від вирубки дерев. Лісові відходи найбільш цікаві з точки зору деревини як альтернативного джерела енергії.

Промислові відходи утворюються в результаті обробки деревини і при виробництві спеціальної целюлози для виробництва паперу [20].

Більшість деревних відходів складається з кори та деревини.

Основними хімічними елементами у відходах є вуглець, кисень і водень у пропорціях 50 %, 40 % і 6 % відповідно. Теплота згоряння

відходів становить 19420-2300 кДж/кг сухої речовини, залежно від виду деревини.

Як правило, деревина містить вологу. Кількість вологи залежить від породи деревини, пористості її структури, пори року та географічного розташування деревини. Наприклад, якщо деревина транспортується водою, вміст вологи може становити до 80 відсотків. Для горили вологість не перевищує 50 відсотків [23].

За останніми даними, 37 % маси сухих деревних відходів використовується як сировина для виробництва паперу, а 27 % - як паливо. Завдяки вдосконаленню технологій переробки деревини, зростанню попиту на сировину для подальшої переробки та потенціалу використання енергії, невикористаних відходів залишається дуже мало [5].

Два типи відходів становлять великий інтерес у деревообробці: кора та лужний розчин. Кора видаляється з поверхні деревини за допомогою спеціального обладнання. Лужні розчини - це рідини, що утворюються в результаті обробки деревини і характеризуються високим вмістом органічних сполук.

Існує так званий чорний розчин лугу, що утворюється в результаті обробки деревини сірчаною кислотою та лугами. Розчин містить близько 98 % лугу, і цей луг використовується для розщеплення целюлози і розчинення лігніну для вивільнення волокон і твердих речовин. Розчин містить високу концентрацію карбонату натрію. Розчин випарюють для отримання лугу. Цей процес збільшує вміст сухої речовини до 45-70 %. Теплотворна здатність сухої речовини становить 15400 кДж на кг матеріалу. Суха речовина може містити велику кількість забруднень, що ускладнює використання регенераційного обладнання [10].

## 1.4. Обсяг утворення деревних відходів.

Із загальної кількості відходів, що утворюються, лише 60-65 % деревини використовується як вторинна сировина; відходи, що залишилися, викидаються на звалища і негативно впливають на навколишнє середовище.

Використання деревини в автомобільній промисловості, транспортному будівництві, верстатобудуванні, торгівлі, комунальному господарстві, виробництві меблів та інших галузях призводить до утворення значних обсягів відходів.[13]

Відходи деревини можна класифікувати за типом продукції (відходи деревини, фанера, ДВП тощо), породою деревини (хвойні, листяні), вологістю (суха деревина з вологістю 15 % і менше, напівсуха деревина з вологістю 15-30 %, волога деревина з вологістю 30 % і більше), структурою (кускова, сипуча) та іншими характеристиками. Деревообробна промисловість є одним з найбільших виробників відходів (рис.1.2).



Рисунок 1.2 - Техніка для подрібнення відходів деревини [19]



Кількість відходів у цьому секторі залежить від кількості використовуваної сировини, типу та розміру продукції, а також особливостей технології виробництва та обладнання.[13]

Наприклад, кількість відходів, що утворюються на меблевих фабриках, сягає 60 відсотків від загальної кількості використаної деревини. Кількість відходів залежить від характеристик деревообробного обладнання, яке також утворює тирсу. Кількість деревини, яка перетворюється на тирсу, залежить від товщини пилки; чим тонша пилка, тим менша кількість тирси. Утворення тирси можна повністю уникнути, використовуючи інші методи розпилювання деревини.

Відходи, викликані якістю сировини, включають горби, торцеві зрізи, рейки, а також різні вирізи з дефектами і дефектами. Усі відходи деревини є цінною сировиною для виробництва різноманітних виробів, але коли справа доходить до вторинної переробки, вони не мають рівної цінності.

Найціннішими є так звані господарські відходи, з яких можна виробляти різноманітні дрібні пилові продукти. До них відносяться пагорби, рейки та великокускові відходи. Вони також можуть бути використані для виробництва целюлози, деревно-волокнистих плит (деревоволокнистих плит), деревостружкових плит (деревно-стружкових плит), опилкоцементних плит (ОПЦП) і хімічної продукції.

Відходи з низькою утилізаційною цінністю мають обмежене застосування (тирса, тріска, дрібна стружка та стружка).

Тріска і тирса широко використовуються як побутова і технічна сировина в різних галузях промисловості завдяки своїм адсорбуючим, абразивним та ізоляційним властивостям.

Тріска і дрібна тріска є цінною хімічною сировиною для виробництва будівельних матеріалів, віскозного волокна (згодом текстилю), технічного спирту, оцту, целюлози, паперу, кормових дріжджів, картону та багатьох інших продуктів.[13]

Частина брикетованих деревних відходів використовується як паливо в побутових і промислових котлах.

Загалом, можливості переробки різних видів деревних відходів виглядають наступним чином (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 - Напрямки використання відходів деревини [13]

Види відходів	Використання відходів
Кускові відходи	Для отримання цільних та клеєних заготовок, дрібної пилопродукції; технологічної щепи для виробництва целюлози та іншої продукції з подрібненням деревини; у лісохімічному виробництві, в якості палива.
Тирса	Для виробництва спирту, кормових дріжджів, целюлози, деревного борошна, будівельних матеріалів; у лісохімічному виробництві: для господарсько-побутових потреб; у сільському господарстві; для технологічних цілей.

Кількість утворення відходів деревини розраховують за формулою:

$$Q = n_1 \cdot V + n_2 \cdot V$$

де  $n_1$  - вихід тріски та стружки по відношенню до початкового об'єму ломатеріалів,  $n_1 = 0,15$  для виробництва фурнітури,  $n_2$  - вихід відходів по відношенню до початкового об'єму пиломатеріалів,  $n_2 = 0,25$  для виробництва фурнітури,  $V$  – об'єм м<sup>3</sup> переробленого лісу.

Згідно зі статистичними даними, на лісосіці площею 1 га утворюється від 9 до 89 тонн сухих відходів, в середньому 20 тонн на га [13].

## РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЛІНІЇ ВИРОБНИЦТВА ПАЛИВНИХ ГРАНУЛ.

### 2.1 Технологія виробництва деревних паливних гранул

Технологія виробництва паливних брикетів та гранул базується на процесі пресування подрібнених відходів деревини (рис.3.1).

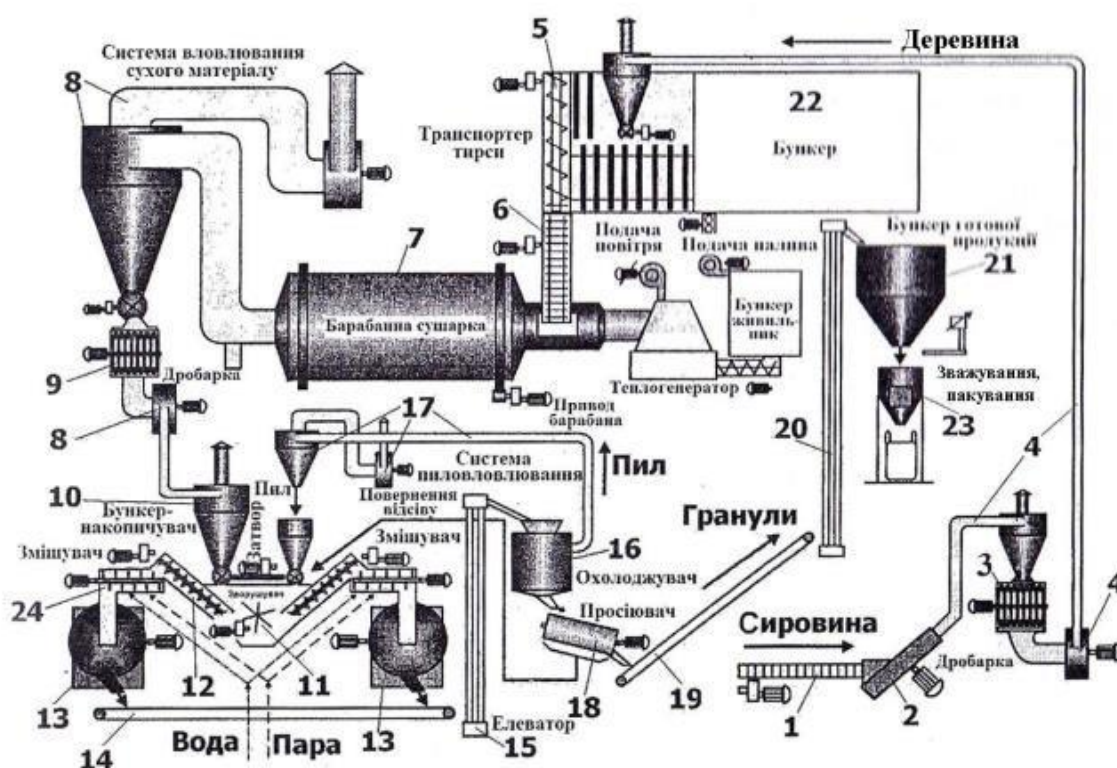


Рисунок 2.1 – Апаратно-технологічна схема виробництва паливних гранул [8]: 1, 6, 14, 19 – стрічковий транспортер; 2, 3, 9 – дробарка; 4, 8 – пневмотранспортер; 5, 12 – шнековий транспортер; 7 – барабанна сушарка; 10 – бункер-накопичувач; 11 – дозатор; 13 – прес-гранулятор; 15, 20 – норія; 16 – охолоджувач; 17 – система пиловловлювання; 18 – просіювач; 21 – бункер готової продукції; 22 – бункер; 23 – пакувальна машина; 24 – змішувач.

Сировина (тирса, солома тощо) подається в дробарку і подрібнюється на порошок. Отримана маса потрапляє в сушарку, звідки подається в гранулятор, де деревне борошно пресується в пелети. Стиснення під час пресування підвищує температуру сировини, розм'якшуючи лігнін у деревині та склеюючи частинки між собою, утворюючи щільний циліндр.

Для виробництва однієї тонни пелет потрібно 3-5 кубометрів деревної тріски з природною вологістю. Готові пелети охолоджують і фасують у великі мішки (кілька тонн у мішку) або невеликі мішки від кількох до кількох десятків кілограмів. Ми розрізняємо промислові пелети (поставляються навалом або у великих мішках без упаковки) і споживчі пелети (у невеликих упаковках для індивідуальних споживачів або невеликих промислових споживачів).

**Деревні паливні гранули (пелети, ДПП)** - це невеликі циліндричні вироби з деревини, діаметром 4-12 мм і довжиною 20-50 мм, виготовлені з висушених відходів деревообробки та лісопиляння (тирса, стружка, деревне борошно, тріска, деревний пил тощо). Пелети використовуються в котлах, які виробляють теплову та електричну енергію шляхом спалювання [15].

Для того, щоб виробляти пелети високої якості, дуже важливо, щоб прес був правильно відрегульований. У багатьох випадках пелети не витікають або прес не працює взагалі. Іншими словами, прес-форми заклинює, як тільки вони починають працювати.

Перш ніж ми почнемо, давайте пояснимо, як запустити прес:

Прес запускається в наступній послідовності (за умови, що матриці вже відшліфовані).

- Запускається електродвигун головного пуансона;

Подається первинна суміш - суміш олії та тирси. Пелети або суміш тирси з маслом подаються для забезпечення плавного запуску і зупинки

преса, а також для підвищення ефективності роботи матриці. Зупинка гранулятора з нормальною тріскою без масла (стандартна матриця для мокрої тріски без масла) призводить до того, що спресована тріска прилипає до стінок матриці і вимагає дуже великого зусилля притискання під час запуску [17]. Через цю стружку, а також через те, що це зусилля часто недостатнє, прес просто заклинює, збільшуючи навантаження і, відповідно, збільшуючи знос двигуна преса і механізму передачі. Тепер поговоримо про змішувачі більш детально. Як ви можете собі уявити, роль міксеру полягає в більш плавному запуску преса і зменшенні зносу преса. Фахівці з виробництва штампів і пресів рекомендують змішувати тирсу з чистим дизельним паливом або моторним маслом, щоб зменшити сили тертя між сумішшю і стінками зношеної матриці [20].

Замість використання чистої, відносно дорогої оливи, умільці пристосувалися змішувати стружку з дешевшими відходами верстатів, редукторів та інших механізмів.

У цьому випадку готові наповнені маслом гранули виймають перед зупинкою двигуна і замість нової суміші заливають цю суміш як при зупинці гранул, так і при їх запуску, додаючи в суміш трохи відпрацьованого масла в разі потреби, і використовують багато разів.

У той же час, масло спочатку заливається в наконечник і отримуються змащені гранули, які використовуються під час запуску і зупинки. Перевагою такого "вдосконалення" є значна економія мастила, а недоліком - швидший знос матриці, оскільки відходи та інші матеріали містять велику кількість металевих домішок.

- Зачекайте, поки гранули впадуть, і видаліть або викиньте їх разом з мастилом (залежно від того, чи буде суміш використовуватися повторно).

- Після того, як гранули почнуть продавлюватися через прес-форму, вмикається мінімальна подача стружки на прес, а подача стружки,

що містить масло, припиняється. Стружка видаляється до тих пір, поки не залишаться тільки безмасляні гранули.

- Коли залишаються тільки чисті, безмасляні гранули, подачу тирси в гранулятор збільшують і виводять прес на проектну потужність.

Якщо гранули не падають, це означає, що матричний прес вийшов з ладу. Не перекручуйте і не втручайтеся в роботу преса. Необхідно зупинити всю систему і просвердлити або перфорувати матрицю.

Пелетні преси часто забиваються тирсою.

Засмічення відбувається, коли пелети не проходять через матрицю:

- Тиск на матрицю в нормі
- Вологість тріски 12-15 %
- Сортувальний склад в нормі

Часто трапляються ситуації, коли пелетний прес працює, а потім раптово збільшується навантаження на двигун, двигун зупиняється і весь прес забивається тирсою. Оператор все чистить, готує матрицю, запускає прес, через пару годин все повторюється, прес зупиняється, оператор чистить, все нормально, зауважень до технології начебто немає. Викликає несприятливі умови для роботи преса:

- Якщо ролики злегка розхитані або застрягли, прес не працюватиме.

- Якщо тиск пуансона навіть трохи нестабільний, тобто з якихось причин (негерметичність клапана), тиск від пуансона наростає, в цьому випадку датчик може не відразу вказати на падіння тиску, навіть якщо тиск пуансона падає і шар тирси починає перекочуватися через матрицю. Пуансон піднімається над матрицею, а тиск залишається на тому ж рівні.

Автоматизація та візуалізація виробничого процесу відіграють важливу роль в оптимізації виробництва деревних пелет. Для контролю

процесу необхідно щозміни відстежувати, скільки сит після сортування готових пелет через сита повертається в обіг і який коефіцієнт після кожної зміни (для цього встановлені ваги вимірюють вагу тріски, що потрапляє в прес). Необхідно перевірити швидкість роботи преса протягом зміни. Важливо розуміти, що у виробництві пелет кожен запуск і зупинка преса є значним навантаженням і викликає максимальний знос матриці і роликів, тому їх потрібно контролювати і мінімізувати [20].

Коли встановлюються нові матриці і нові ролики, новий механізм часто не забезпечує якість, необхідну для отримання високоякісних пелет, оскільки потрібен певний час для притирання робочого механізму. Тверді сторонні предмети (каміння, метали) потрапляють в машину і створюють заглиблення в робочому механізмі, де пресування не відбувається. Якісний прес означає, що гранули видавлюються з усієї поверхні матриці, а не тільки з окремих її частин.

Ось деякі з проблем, які можуть виникнути: дефекти матриці та роликів, вібрації матриці в листі, дефекти підшипників, роликів, тощо.

Всі показники якості пелет взаємопов'язані. І, як правило, при недотриманні технічних параметрів (вологість, тиск, фракційний склад) всі показники якості пелет відразу ж знижуються.

**Переваги використання деревних гранул у порівнянні з іншими видами палива полягають у наступному:**

- Мінімізація шкідливих викидів в атмосферу: біопаливо з деревини визнано CO<sub>2</sub>-нейтральним. Це означає, що кількість вуглекислого газу, що виділяється в атмосферу під час згоряння, не перевищує викиди від розкладання деревини в природі;

- Вища теплотворна здатність: порівняно з тріскою та частково деревними відходами. Енергетична цінність одного кілограма пелет з деревини еквівалентна 0,5 літра дизельного пального. Теплотворна здатність деревних гранул не нижча, ніж у вугілля або мазуту;

- Низька вартість у порівнянні з дизельним паливом та електричним опаленням,
- Чистота приміщення, де встановлений котел,
- Можливість автоматизації котельні.

## 2.2 Функціональні схеми підсистеми управління процесом пакування.

На базі аналізу технологічного процесу та структурної схеми автоматизованої системи лінії виробництва паливних гранул розроблена функціональна схема підсистеми управління процесом пакування (Рисунок 2.2)

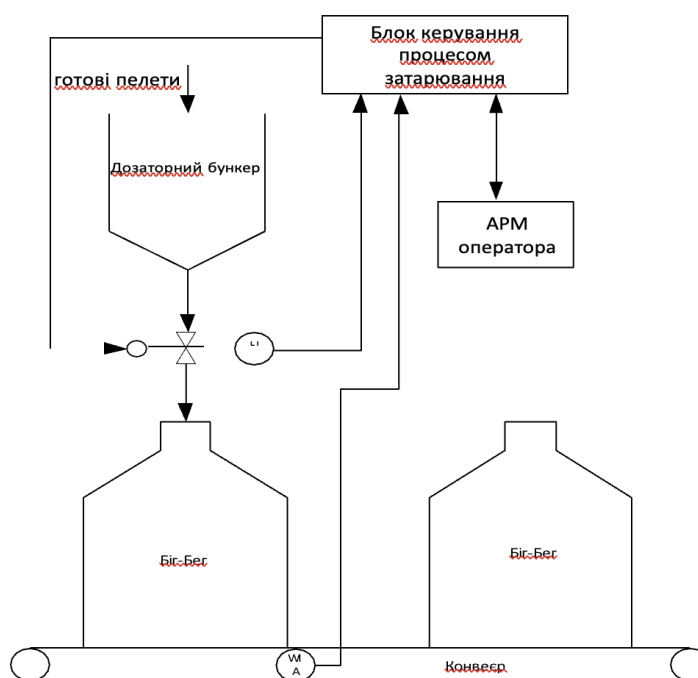


Рисунок 2.2 – Функціональна схема підсистеми управління процесом пакування



Оператор підвішує та фіксує пустий пакувальний мішок на механічний захват та подає сигнал відкрити клапан дозаторного бункера на пульт керування. Регулювання кількості гранул при заповненні мішка відбувається за допомогою конвеєрних вагів (WIA). При досягненні необхідного значення ваги заповненого мішка WIA подає на пульт керування сигнал закрити клапан дозаторного бункера.

На основі аналізу технологічного процесу сушіння та керуючись розробленою функціональною схемою підсистеми управління процесом сушіння була спроектована функціональна схема блоку керування підсистеми управління процесом сушіння (Рисунок 2.3).

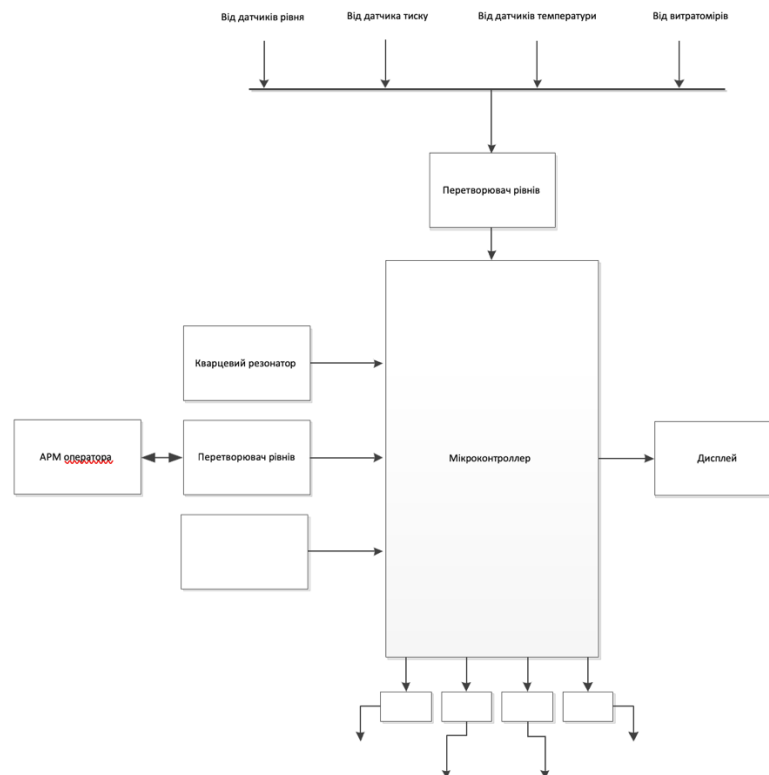


Рисунок 2.3 – Функціональна схема блоку керування підсистемою управління процесом сушіння.

Центральним елементом блоку керування підсистемою управління процесом сушіння являється мікроконтролер (МК).

До МК підключаються периферійні пристрої за допомогою блоку реєстрів розширення портів вводу-виводу. Частота роботи МК стабілізується кварцовим резонатором.

### **2.3. Вибір і обґрунтування окремих вузлів і компонентів системи**

На рисунку 2.4 зображений пристрій ДВТ-03.ТЕ для вимірювання вологості середовища. Пристрій застосовується для контролю рівня вологості в складах, сховищах, інкубаторах. Пристрій об'єднує в собі датчик і перетворювач, що обробляє дані, які надходять з датчика, і передає їх через інтерфейс RS-485.



Рисунок 2.4 – Пристрій ДВТ-03.ТЕ для вимірювання вологості

Технічні характеристики приведені в таблиці 2.5

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики ДВТ-03.ТЕ

<u>Параметр</u>	<u>Значення</u>
<u>Діапазон вимірювання вологості</u>	<u>0-98% отн.</u>
<u>Діапазон температури експлуатації</u>	<u>-40...+50 С</u>
<u>Середнє напрацювання на відмову</u>	<u>Не менше 20000 ч.</u>
<u>Захист від впливу пилу і води</u>	<u>IP54</u>

### Опис датчику ваги

HM2D4 – тензорезисторний датчик (Рисунок 2.6), який призначений для вимірювання зусилля стискання, і використовуються в системах дозування, бункерних вагах, а також в нестандартних ваговимірювальних системах.



Рисунок 2.6 – Цифровий тензорезисторний датчик HM2D4

Датчик HM2D4 виконаний зі сталі з антикорозійним покриттям і розрахований на навантаження в діапазоні від 500кг до 20т. Передача даних здійснюється через інтерфейс RS-485. Даний пристрій можна підключати до будь якого персонального комп'ютеру або іншого приладу, він має власний унікальний протокол обміну та дозволяє отримати на виході оброблений і перетворений цифровий сигнал.

Принцип роботи вагового датчику HM2D4 ґрунтується на перетворенні механічної деформації тіла в електричний сигнал, завдяки чому визначається рівень стиснення і розтягування конкретного тіла. Він є резистивним перетворювачем, який є одним з найголовніших складових високоточного вагового обладнання.

### Опис датчику температури

Термоперетворювач цифровий ПВП-485Т (Рисунок 2.7) призначений для вимірювального перетворення температури твердих, сипучих, рідких та газоподібних речовин в цифровий сигнал, що передається через інтерфейс RS-

485. Дані пристрої в процесі роботи можуть бути переконфігуровані на будь-який з доступних типів НСХ через інтерфейс RS-485 з використанням протоколу MODBUS. Їх застосування дозволяє кардинально скоротити кабельну мережу у порівнянні із застосуванням традиційних термодатчиків з фізичним або струмовим (4 – 20мА) вихідними сигналами. [18]



Рисунок 2.7 – Термоперетворювач ПВП-485Т

### **Опис датчику тиску**

DSP-01 (Рисунок 2.8) – цифровий перетворювач тиску, призначений для безперервного перетворення тиску середовища в уніфікований вихідний сигнал постійного струму 4 – 20 мА. Перетворювач обладнаний цифровим дисплеєм, який показує значення тиску середовища у реальному часі, а також герметичним захищеним металевим корпусом. Пристрій оснащено цифровим HART інтерфейсом, який дозволяє отримувати дані про тиск у аналоговому (4 – 20мА) і у цифровому вигляді.

HART інтерфейсом, який дозволяє отримувати дані про тиск у аналоговому (4 – 20мА) і у цифровому вигляді.



Рисунок 2.8 – Цифровий перетворювач тиску DSP-01

### **Опис датчику положення**

Датчик положення тип SAMSON 4748 (Рисунок 2.9) встановлюється на пневматичні клапани та призначений для перетворення величини ходу (положення) клапана у відповідний електричний сигнал в діапазоні 4–20 мА.



Рисунок 2.9 – Датчик положення тип SAMSON 4748

Для контролю витрати сушильного агенту, відпрацьованого агенту та пари застосовуємо цифровий лічильник витрат ВЗЛЕТ ЭМ (Рисунок 2.10).



Рисунок 2.10 – Цифровий лічильник витрат ВЗЛЕТ ЭМ

Пристрій призначений для обліку насиченої та перегрітої пари з температурою до 200 °С і неагресивних газів (повітря, кисень, азот, природний газ і т.п.) на промислових та комунально-побутових об'єктах.

Виведення інформації відбувається по послідовному інтерфейсу RS-485 або на рідкокристалічний символний індикатор.

Особливості пристрою: можливість використання у складі різних комплексів, вимірювальних систем, АСУ ТП; відсутність втрат тиску на вимірювальній ділянці; вимірювання витрати та об'єму реверсивного потоку; наявність режиму дозування;

### **Опис мікроконтролеру**

Мікроконтролер в блоці управління має відповідати наступним вимогам:

- достатній об'єм оперативної пам'яті для зберігання поточної інформації;
- вбудована постійна пам'ять для зберігання констант технологічного процесу та таблиць параметрів;
- вбудований асинхронний приймач-передавач, сумісний з інтерфейсом RS-485;
- достатня кількість вільних ліній вводу-виводу для підключення АЦП і транзисторних ключів.

Цим вимогам відповідає однокристальний 8-розрядний мікроконтролер ATmega328 на базі AVR-архітектурі RISC. Схема має 23 лінії вводу-виводу, 8-канальний АЦП, 2 програмованих послідовних універсальних асинхронних приємо-передатчика, компаратор і контрольний таймер, один 16-розрядний таймер/лічильник та 2 таймера/лічильника 8-розрядних. Також схема має функції скидання при включенні живлення і 6 режимів сну: холостий ход, зниження шуму АЦП, режим економії енергії, відключення живлення, режим очікування і розширений режим очікування. Програми можуть перепрограмовуватися

(ISP) і зберігаються в пам'яті Flash EPROM. Виконання однієї повноцінної інструкції за один такт, який може досягати продуктивності 1 MIPS на 1МГц, дозволяє досягти оптимального співвідношення між споживанням енергії та продуктивністю. [7]

Мікроконтролер ATmega328 має характеристики, достатні для вирішення поставленого завдання, і можливості щодо забезпечення гнучкості та модернізації системи в майбутньому.



## РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК СТІЙКОСТІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

### 3.1. Розробка математичної моделі

Для аналізу системи автоматичного управління (САУ) оберемо систему підтримки температури в охолоджуючій камері на заданому рівні. Після аналізу охолоджуючої колонки як об'єкту управління бачимо, що температура в ній залежить від витрати пари. Враховуючи це, отримуємо замкнуту систему, на вході якої маємо температуру, а на виході - отримане значення цієї температури.

Значення відхилення, на основі якого регулятор збільшує або зменшує значення сигналу управління, що подається на виконавчі механізми, розраховується на підставі різниці заданого значення температури та вихідного значення. В даному випадку регулюючий вентиль витрати пари, який задається сигналом, для якого є рівень напруги від регулятора, прямо пропорційний сигналу відхилення в межах регулювання. При виході значення потокової температури за межі заданого, завдяки отриманому сигналу відхилення здійснюється додаткове напруження на регулюючому вентилі, що змушує його зменшувати або збільшувати розмір випускного каналу. На виході виконавчого механізму отримується певний рівень витрати пари, який є задаючим для об'єкта управління і залежно від нього на виході формується скориговане значення температури. Таким чином спроектований контур регулювання дозволяє компенсувати відхилення потокової температури від заданої.

На підставі опису системи регулювання температури розробляється структурна схема системи. [3]

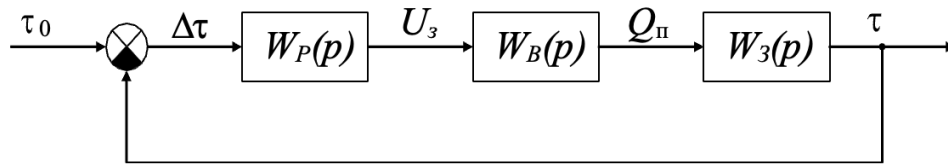


Рисунок 3.1 – Структурна схема САУ температури в охолоджуючій колонці

Де:

$\tau_0$  – задана температура;

$\Delta\tau$  – температура відхилення;

$w_p(p)$  – передавальна функція регулюючого органу;

$U_3$  – керуючий сигнал;

$w_b(p)$  – передавальна функція вентиля;

$Q_{\Pi}$  – отримана витрата пари;

$W_3(p)$  – передавальна функція установки;

$\tau$  – отримане значення температури.

Рівняння динаміки елементів САУ:

$$\begin{cases} T_S \frac{dS}{dt} + S = k_S \cdot U_3 \\ T_Q \frac{dQ_K}{dt} + Q_K = k_Q \cdot S \end{cases} \quad \text{– регулюючий вентиль;}$$

$$U_3 = k_P \cdot \Delta\tau \quad \text{– регулятор;}$$

$$T_T \frac{dT}{dt} + T = k_T \cdot Q_{\Pi} \quad \text{– установка.}$$

Фізичний зміст змінних, які входять в рівняння, наступний:

параметри  $T_S$ ,  $T_Q$ ,  $T_T$  – постійні часу;

параметри  $k_P$ ,  $k_S$ ,  $k_Q$ ,  $k_T$  – передавальні коефіцієнти відповідних елементів.

Їх значення наведені в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Значення параметрів для розрахунку САУ

Назва параметра		Значення
Постійна часу реакції площі зрізу вентилля відповідно СУ	$T_S$	0,032 с
Постійна часу реакції кількості пари на ступінь відкриття вентилля	$T_Q$	0,9с
Постійна часу реакції температури в змішувачі на зміну кількості пари	$T_T$	28с
Коефіцієнт перетворення відхилення в сигнал управління (СУ)	$k_P$	0,029 В/оС
Коефіцієнт залежності площі поперечного зрізу вентилля відповідно СУ	$k_S$	$2,6 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2/\text{В}$
Коефіцієнт залежності кількості пари від ступеня відкриття вентилля	$k_Q$	8 м/с
Коефіцієнт залежності температури в змішувачі від кількості зміни пари	$k_T$	$3,3 \cdot 10^2 \text{ оС} \cdot \text{с}/\text{м}^3$

Об'єктом регулювання є охолоджуюча камера, температура в якій прямо пропорційна витраті пари. Динамічні властивості елемента описуються рівнянням :

$$T_T \frac{dT}{dt} + T = k_T \cdot Q_{II}$$

Зробивши заміну  $\frac{d}{dt} \rightarrow p$ , як результат відношення зображення вихідного сигналу до зображення вхідного сигналу, отримуємо передавальну функцію установки:

$$W_C(p) = \frac{k_T}{T_T \cdot p + 1} = \frac{330}{28p + 1}$$

Керуючий елемент – вентиль, для якого вхідним параметром є рівень отриманого сигналу, а вихідним - кількість пари. Керуючий елемент буде описуватися таким рівнянням:

$$\begin{cases} T_S \frac{dS}{dt} + S = k_S \cdot U_3 \\ T_Q \frac{dQ_K}{dt} + Q_K = k_Q \cdot S \end{cases}$$

Де:

$Q_K$  – кількість пари, що проходить через канал;  $S$  – площа поперечного зрізу каналу.

Зробивши заміну  $\frac{d}{dt} \rightarrow p$ , як результат відношення зображення вихідного сигналу до зображення вхідного сигналу, отримується передавальна функція даної охолоджуючої колонки:

$$W_B(p) = \frac{k_S \cdot k_Q}{(T_S p + 1)(T_Q p + 1)} = \frac{0,21}{0,028p^2 + 0,932p + 1}$$

Орган управління – регулятор, отримуваний ним сигнал є прямо пропорційним величині відхилення. Елемент описується наступним рівнянням .

$$U_3 = k_p \cdot \Delta\tau$$

В результаті співвідношення зображення вихідного сигналу до вхідного сигналу, отримуємо передавальну функцію:

$$W_p(p) = k_p = 0,029 \cdot$$

Після визначення передавальних функцій всіх елементів визначається розімкнута передавальна функція САУ температури в охолоджуючій камері. При послідовному з'єднанні ланок результуюча передавальна функція визначається як добуток передавальних функцій ланцюгів:

$$W(p) = \frac{k_T \cdot k_S \cdot k_Q \cdot k_P}{(T_T p + 1)(T_S p + 1)(T_Q p + 1)} = \frac{2}{0,784 p^3 + 26,028 p^2 + 28,932 p + 1}$$

Передавальна функція замкнутої системи для структурної схеми зі зворотним зв'язком має наступний вигляд:

$$W_3(p) = \frac{W_p(p)}{1 + W_p(p) \cdot W_{oc}(p)}$$

де  $W_{oc}(p)$  – передавальна функція ланки зворотного зв'язку, яка в цьому випадку дорівнює 1. Тоді передавальна функція замкнутої автоматичної системи управління (АСУ):

$$W_3(p) = \frac{2}{0,784 p^3 + 26,028 p^2 + 28,932 p + 3}$$

Для того щоб записати характеристичне рівняння потрібно прирівняти знаменник передавальної функції замкнутої системи до 0:

$$0,784p^3 + 26,028p^2 + 28,932p + 3 = 0$$

### 3.2 Визначення стійкості системи за критерієм Гурвіца

Одним з методів оцінювання стійкості замкнутої системи є критерій Гурвіца, згідно з яким умови стійкості системи формулюються таким

чином: всі корені характеристичного рівняння  $a_0p^n + \dots + a_{n-1}p + a_n = 0$  матимуть негативні дійсні частини, якщо при позитивному знаку всіх коефіцієнтів  $a_0 \dots a_n$  буде позитивним визначник,  $\Delta_n > 0$  і його діагональні мінори  $\Delta_{n-1} > 0, \dots, \Delta_2 > 0$ .

Характеристичне рівняння для даної САУ має наступний вигляд:

$$0,784p^3 + 26,028p^2 + 28,932p + 3 = 0$$

Оскільки всі коефіцієнти характеристичного рівняння є позитивними ( $a_0 > 0, \dots, a_3 > 0$ ), то потрібно перевірити чи є позитивними визначник і його діагональні мінори. Матриця Гурвіца для рівняння виду  $a_0p^n + a_1p^{n-1} + \dots + a_{n-1}p + a_n = 0$  записується у вигляді:

$$\begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & a_7 & \dots & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & a_6 & \dots & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & a_5 & \dots & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & a_n \end{vmatrix}$$

Діагональні мінори записуються у вигляді:

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 26,028 & 1 \\ 0,784 & 28,932 \end{vmatrix} = 753 - 0,784 = 752,3;$$

$$\Delta_1 = |a_1| = 26,028.$$

Визначник має наступний вигляд:

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 26,028 & 1 & 0 \\ 0,784 & 28,932 & 0 \\ 0 & 26,028 & 3 \end{vmatrix} = 2259,13 - 2,352 = 2256,8$$

Таким чином можна зробити висновок, що система є стійкою, так як визначник і його діагональні мінори є позитивними. [4]

### 3.3 Визначення стійкості системи згідно критерію Михайлова

Згідно з критерієм Михайлова для стійкої САУ необхідно, щоб радіус-вектор годографа Михайлова при зміні частот від 0 до  $+\infty$ , почавши обертання з точки, що лежить на дійсній осі, обертаючись проти годинникової стрілки і ніде не перетворюючись на нуль, пройшов послідовно  $n$  квадрантів площини, де  $n$  – порядок характеристичного рівняння. [6] Виділимо характеристичне рівняння САУ і прирівняємо знаменник передавальної функції замкнутої системи до нуля:

$$0,784p^3 + 26,028p^2 + 28,932p + 3 = 0$$

Зробимо заміну  $p \rightarrow jw$ , де  $j = -1$  і приведемо всі частини рівняння, дійсні та уявні, до такого виду:

$$(3 - 26,028w^2) + j(28,932w - 0,784w^3)$$

Дійсна частина характеристичного рівняння позначається через  $U(\omega)$ , уявна – через  $V(\omega)$ . Змінюючи  $\omega$  від 0 до  $\infty$ , будується годограф Михайлова (Рисунок 3.2).

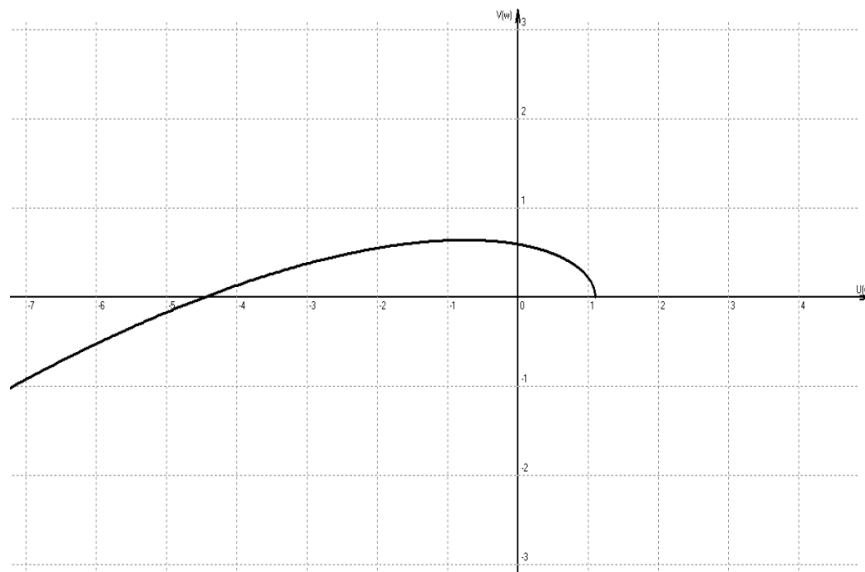


Рисунок 3.2 – Годограф Михайлова

Годограф Михайлова на кінцях кривої має:

$$\lim_{\omega \rightarrow \infty} U(\omega) = -\infty$$

$$\lim_{\omega \rightarrow \infty} V(\omega) = -\infty$$

З побудованого годографу Михайлова підтверджується висновок, що дана САУ є стійкою, оскільки радіус-вектор годографу Михайлова проходить через три квадранти, при порядку характеристичного рівняння рівному 3. При подальшому збільшенні частоти радіус-вектор прагне до  $\infty$ .



### 3.4. Аналіз якості системи і синтез регулятора

Для аналізу показників якості системи застосуємо інструмент LTI Viewer з пакету MATLAB. Перехідний процес з відображенням показників якості зображений на рисунку 3.3.

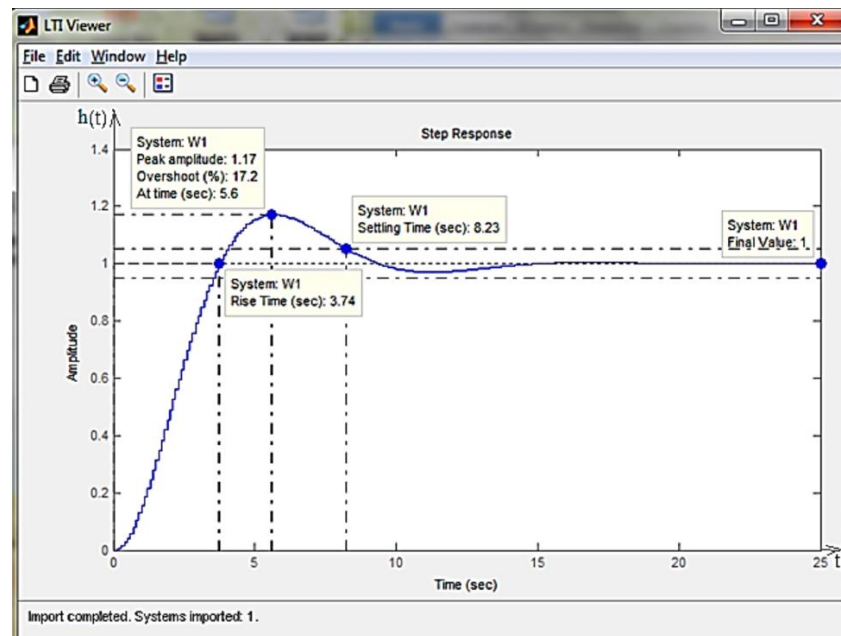


Рисунок 3.3 – Перехідний процес з відображенням показників якості

Показники якості перехідного процесу:

- час встановлення,  $t_{уст} = 3,74$  с;
- час перехідного процесу,  $t_{пп} = 8,23$  с;
- максимальна амплітуда,  $u_{max} = 1,17$ ; – перерегулювання, 17,2%;
- встановлене значення перехідного процесу,  $u_{уст} = 1$ ;
- встановлена помилка,  $\epsilon_{уст} = 0$ .

Оскільки система має великий час встановлення і час перехідного процесу, а також значне перерегулювання, необхідно розробити коригуючий пристрій у вигляді регулятора.

Підбір оптимальних коефіцієнтів регулятора виконуємо за допомогою SignalConstraint тулбоксу Simulink. Будуємо наступну схему:

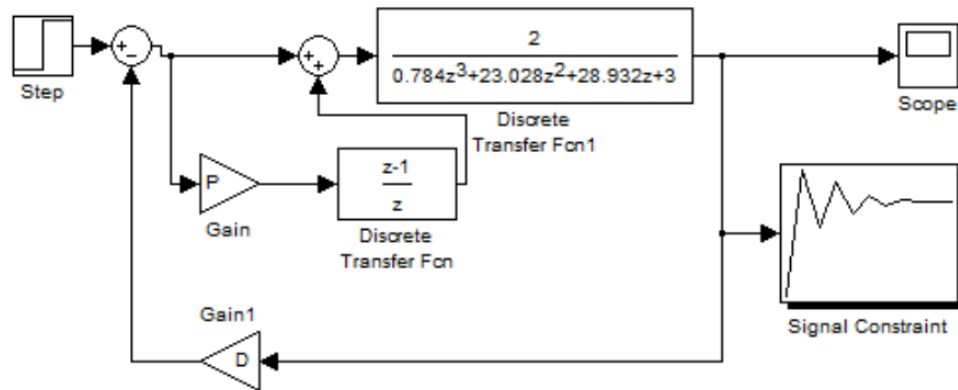


Рисунок 3.4 – Схема системи з цифровим регулятором

Результат підбору:  $D = 59,0100P = 4,4120$  Для порівняння перехідних процесів системи з цифровим регулятором і системи без регулятора проводимо порівняння за допомогою схеми, зображеної на рисунку 3.5.

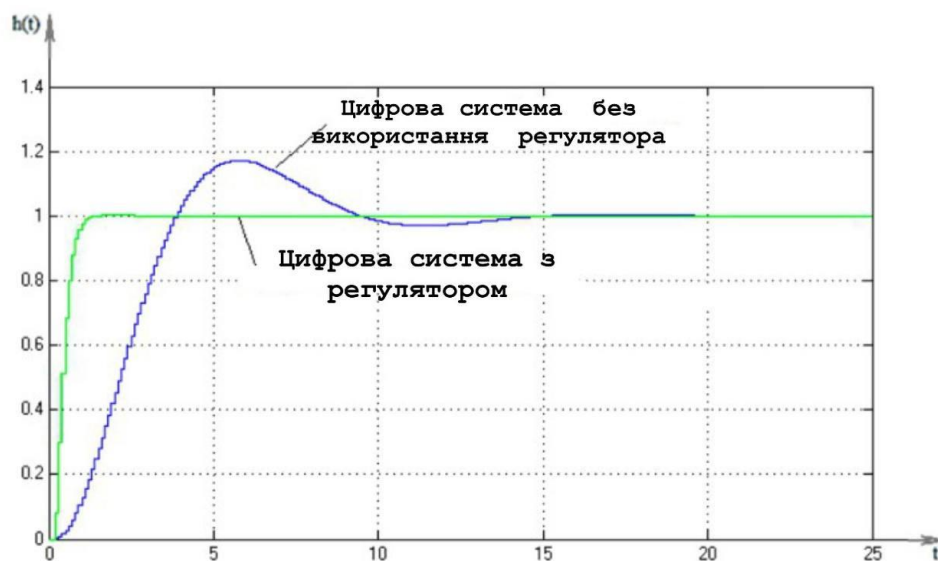


Рисунок 3.5 – Перехідний процес з регулятором і без регулятора

Далі необхідно знайти показники якості отриманої системи. Для цього знаходимо загальну передавальну функцію за формулою (11.16):

$$W_{\text{общ}}(z) = W_{\text{рег}}(z) * W_{\text{пбч}}(z).$$

За допомогою функціоналу MATLAB, зробивши аналіз застосувавши пакет LTI View отримуємо такі показники (Рисунок 3.6):

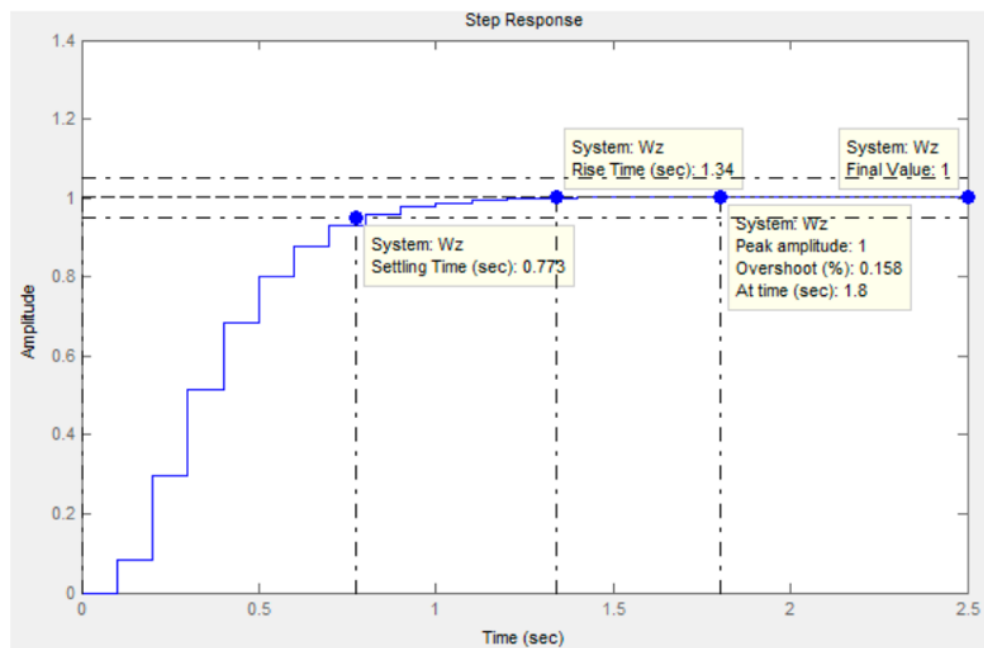


Рисунок 3.6 – Перехідний процес цифрової системи з відображеними показниками якості при використанні регулятора

- час встановлення,  $t_{\text{уст}} = 0,773$  с;
- час перехідного процесу,  $t_{\text{пп}} = 1,34$  с;
- максимальна амплітуда,  $u_{\text{max}} = 1$ ;
- перерегулювання – 0,158%;

– встановлене значення перехідного процесу,  $u_{уст} = 1$ ;

– встановлена помилка,  $\epsilon_{уст} = 0$ .

З цих значень бачимо, що регулятор забезпечує поліпшення перехідного процесу зменшуючи перерегулювання з 17,2 % до 0,158 %, час перехідного процесу з 8,23 с до 1,34 с і час встановлення з 3,74 с до 0,773 с.

## **РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНІ ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ДЕРЕВИНИ В ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЦІЛЯХ**

### **4.1. Твердопаливні прилади для автономних систем опалення**

Дрова, деревні пелети, вугілля та біопаливо. Кожне паливо має свої характеристики, такі як теплопровідність, час спалювання, ефективність і продуктивність. Дрова є класичним видом палива. Однак останнім часом використання деревних гранул стало дуже популярним як у приватному, так і в промисловому секторах. Чим більше видів паливних ресурсів існує, тим більше питань проблемні у споживачів.

Опалення пелетами є досить економічним, після деревних гранул мають високу теплопровідність. Таким чином, закладка пелет більш вигідна з точки зору продуктивності, ніж аналогічний шматок дров. Деревні пелети не є дорогими. Це ще один вагомий аргумент, чому величезна кількість споживачів у нашій країні дає перевагу вищезгаданій продукції [22].

Цей вид палива не виділяється в навколишньому середовищі токсичних речовин при згорянні. Тому вони є екологічно чистими. У процесі виробництва пелет не утворюються шкідливі хімічні речовини.

Пелети добре горять у всіх типах камінів, вогнищ і печей. Для використання пелет як паливної сировини не потребується спеціальне опалювальне обладнання.

Однак для ефективності в топку необхідно постійно подавати свіже повітря, щоб підтримувати силу півм'я. Спеціальні пелетні котли мають функцію автоматичної подачі повітря. Це також може бути реалізовано за допомогою додаткової автоматики - програматора з вентилятором. Автоматика легко підключається до всіх видів твердопаливного опального обладнання. Коли температура в системі падає, програматор автоматично

вмикає вентилятор для подачі повітря в камеру згорання. Механізм досить простий.

Під час процесу горіння деревні пелети виділені піролізні гази. При забезпеченні оптимального повітря піролізні гази згоряють і виділяють додаткове тепло, підвищуючи таку ефективність пелетної печі.

У виробництві пелет використовують різні витратні матеріали. Їх якість на продуктивність і ціну паливного матеріалу. Перераховані вище види палива класифікуються відповідно до типу сировини, що використовується для їх виробництва.

Білі пелети преміум-класу.

Виготовлені з деревини без кори. Теплотворна здатність - 17,2 МДж/кг, зольність майже нульова. Тому достатньо чистити котел раз на місяць. достатньо. Вид пелет є найбільш популярним і затребуваним на споживчому ринку.

Промислові пелети.

Для їх виробництва використовується низькоякісна деревна стружка. До складу вже входять кора і деякі вогнетривкі елементи. Промислові пелети також мають відмінні показники тепловіддачі, але складаються з більшої кількості зол, перший ніж від твердого палива. Це призводить до більш частого очищення котла.

Через додані до відповідності елементи деревні пелети виглядають трохи темніше, ніж продукція преміум-класу.[22]

Агропелети.

Цей вид твердого палива виготовляється з відходів сільського господарства. Теплотворна здатність не перевищує МДж/кг. Зольність цієї сировини досягає 4 відсотків. Це високий показник. Головною перевагою цього виду палива є його доступність. Пелети в основному каменю для опалення промислових об'єктів.

Якщо твердопаливні котли забезпечені автоматичним очищенням від сажі та золи, то агропелети - відмінний вибір для ефективного

автономного опалення та підігріву води. Такі пелети підходять для котлів, які розраховані на використання подібного типу твердого палива [22].

#### 4.2. Показники якості паливного ресурсу

Теплотворна здатність кілограма дров становить 8 МДж, тоді як деревні пелети мають теплотворну здатність 16-18 МДж. На етапі виробництва пелети проходять термічну обробку, тому залишкова вологість незначна. Продукт упакований в поліетиленові мішки. Тому пелети не вбирають вологу під час транспортування або зберігання палива.[8]

Вологість пелет не перевищує 8 %. Для дров цей показник набагато вищий. Наприклад, неякісні дрова можуть містити більше 50 % вологи. При спалюванні дров значна частина тепла витрачається на сушіння. При сушінні дров в домашніх умовах втрачається дуже мало вологи. В результаті можна отримати не більше 15 відсотків властивостей. Отже, теплотворна здатність безпосередньо залежить від вологості сировини, яка для пелет набагато нижча.

Стосовно порівняння теплотворних характеристик палива на опалювання можна сказати, що на 1 т деревних пелетів буде використано:

$$1) \text{ природного газу } \frac{17 \text{ МДж/кг}}{34 \text{ МДж/кг}} = 0,5 \text{ тис тонн};$$

$$2) \text{ дрова: } \frac{17 \text{ МДж/кг}}{18,7 \text{ МДж/кг}} = 0,9 \text{ тонн};$$

$$3) \text{ вугілля: } \frac{17 \text{ МДж/кг}}{25 \text{ МДж/кг}} = 0,68 \text{ тонн}.$$

В грошовому еквіваленті теплотворних характеристик 1 т пелетів це:

$$1) \text{ природного газу: } 0,5 * 6860 = 3430 \text{ грн};$$

$$2) \text{ дрова: } 0,9 * 1300 = 1170 \text{ грн};$$

$$3) \text{ вугілля: } 0,68 * 6500 = 4420 \text{ грн}.$$

Таблиця 4.1 показує, що використання однієї тонни брикетів/пелет є економічно ефективним (на кожній тонні використання пелет замість газу, вугілля та дров економія становить 3430 грн. для газу, 1170 грн. для дров, 4420 грн. для вугілля), а вплив на навколишнє середовище при їх спалюванні є низьким. Інші поширені види палива, такі як природний газ та вугілля, по-перше, є невідновлюваними джерелами енергії, а по-друге, деякі з них спричиняють велику кількість викидів в атмосферу.

Таблиця 4.1 – Порівняльна таблиця витрат на опалення цеху  
100 кв.м [16]

Види топлива	Теплотворність, кВт·год / кг	Нижча тепл. здатн., МДж/кг	Необхідна кількість, кг	Ціна, грн/кг	Сума, грн/сезон
Газ	33	34,0	2235	6,86	15400
Дрова	3,12	18,7	7600	1,3	9880
Вугілля	7,0	25,0	3000	6,5	19500
<b>Брикет</b>	<b>4,5</b>	<b>17</b>	<b>4150</b>	<b>2,1</b>	<b>8715</b>
<b>Пелети</b>	<b>4,7</b>	<b>17</b>	<b>4000</b>	<b>2,2</b>	<b>8800</b>

Не менш важливою якісною характеристикою є зольність. Для дров оптимальним вважається приблизно 5 відсотків. Таким чином, на кожен кілограм спалених дров витрачається приблизно від 20 до 50 грамів сировини. З пелетами все економічно. Навіть низькоякісні пелети при згорянні мають вміст золи менше 3 %. Високоякісні пелети мають вміст золи 0,5 %. Таким чином, при використанні пелет паливо згорає майже повністю. Низька зольність означає, що систему опалення потрібно чистити рідше. На обслуговування твердопаливних котлів витрачається менше часу і зусиль. Пелети можна зберігати невеликими порціями безпосередньо біля котла. Для дров потрібна спеціальна будівля з дахом, який захищає деревину від намокання внаслідок опадів.[22]



При спалюванні 1 тонни пелет/гранул виділяється така ж кількість теплової енергії, як і при спалюванні дров: 0,55 т природного газу, 0,9 т дров та 0,68 т вугілля.

Беручи до уваги інформацію з таблиці 5 та середню ціну пелетного гранулятора (60000-65000 грн.), розрахуємо обсяг виробництва пелет, необхідний для того, щоб окупити всі виробничі та транспортні витрати, окрім закупівлі сировини:

1) У випадку заміщення природного газу, економія витрат на тонну пелет становить 3430 грн., тобто  $62500/3430 \approx 18,2$  тонн;

2) У разі заміщення вугілля  $62500/4420 \approx 14,1$  тонн;

3) У разі заміщення дров  $62500/1170 \approx 53,4$  тонни;

Період окупності залежить від масштабу виробництва пелет і варіюється від компанії до компанії.

Перераховані вище характеристики роблять пелети набагато кращими за класичні дрова в якості сировини для твердопаливних опалювальних приладів. З точки зору доступності паливних ресурсів, дрова все ще займають лідируючі позиції. Однак, проблеми з придбанням якісного пелетного палива не існує.

Звичайно, в сільській місцевості власники приватних будинків традиційно вважають за краще заготовляти власне паливо у вигляді дров.[22] Однак у цьому випадку вони програють, використовуючи велику кількість палива, яке є менш продуктивним, ніж пелети. Пелети можна зручно транспортувати в більшість регіонів нашої країни. Тому проблем з доставкою не повинно виникнути [15].

Крім того, як уже згадувалося вище, зольність дров вища, ніж у сучасних пелет. Звичайні системи опалення на дровах потребують частого обслуговування та чищення. Пелетні котли - ні. Однак витрати на них дещо вищі.

Існують різні способи обігріву будинку площею приблизно 100 квадратних метрів. Вартість опалення приватного будинку складається з ціни обладнання та витрат на електроенергію протягом загального терміну експлуатації встановленої системи опалення. Важко вгадати, який енергоносіє є найдешевшим, тому стратегічно система опалення, що поєднує різні види палива, забезпечить найбільшу ефективність. Однак використання пелет дозволяє заощадити гроші, максимізувати тепло, зменшити частоту чищення котла від золи, підтримувати чистоту всередині приміщення і продовжити термін служби котла[9].

Враховуючи все перераховане вище, можемо зробити такі висновки:

1. Витрати на опалення значно нижчі, ніж при використанні дров, вугілля, газгольдерів, дизельного палива, мазуту та електроенергії.
2. Середня вартість енергії пелет становить 1,20-1,50 грн/кВт-год
3. Спалювання можна автоматизувати. Залежно від типу використовуваного обладнання, паливо може подаватися від одного разу на добу до одного разу за опалювальний сезон;
4. Невисока вибухо- та пожежонебезпечність (порівняно з газом чи дизельним паливом);
5. Відсутність неприємного запаху та шкідливих вихлопних газів при згорянні. Після згоряння паливних гранул залишається лише 0,5-1 % золи, яку можна використовувати як добриво;
6. Під час використання пелет обслуговування та догляд за опалювальною системою мінімальні;
7. Пелети зручні у використанні, зберіганні та транспортуванні. Пелети упаковані в мішки з поліетиленові по 15-25 кг або у великі за розміром м'які контейнери (біг-беги) по 500-1000 кг. Тому їх можна зберігати на відкритому повітрі;
8. Встановлення пелетних котлів та окремо стоячих котелень не потребує узгодження з контролюючими органами.

## РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1. Розробка логіко-імітаційної моделі виникнення травм і аварій

Методикою оцінки рівня небезпеки робочих місць, машин, виробничих процесів та окремих виробництв передбачено пошук об'єктивного критерію рівня небезпеки для конкретного об'єкта [1]. Таким показником вибрана ймовірність виникнення аварії, травми залежно від явища, що досліджується.

Для побудови логіко-імітаційної моделі процесу, формування і виникнення аварії та травми в процесі створення мікрокліматичних умов у приміщенні оцінюють відповідні небезпечні події. Кожній із них присвоїмо ймовірність виникнення:

Шифр	Назва події	Ймовірність
P <sub>1</sub>	Відсутність захисного заземлення	0,02
P <sub>2</sub>	Пошкодження захисного заземлення	0,04
P <sub>3</sub>	Спрацювання складових захисту	0,1
P <sub>4</sub>	Неправильна експлуатація захисту	0,02
P <sub>5</sub>	Відсутність профілактичних заходів	0,2
P <sub>6</sub>	Відсутність захисного щита	0,12
P <sub>7</sub>	Недотримання правил вибору взуття	0,15
P <sub>8</sub>	Незнання правил техніки безпеки	0,1
P <sub>9</sub>	Відсутність засобів індивідуального захисту	0,2
P <sub>10</sub>	Легковажність	0,08

На основі наведених подій будуємо матрицю логічних взаємозв'язків між окремими пунктами, графічна інтерпретація якої зображено на рис. 5.1.

Розрахуємо ймовірності виникнення подій, що формують логіко-імітаційну модель процесів створення мікрокліматичних умов. Розглянемо травмонезбезпечну ситуацію, що виникає за умови роботи працівників із електронебезпекою.

Підставивши дані ймовірностей базових подій у формулу, отримаємо ймовірність події 13:  $P_{13} = 0,2 + 0,4 - 0,2 \cdot 0,4 = 0,0592$ .

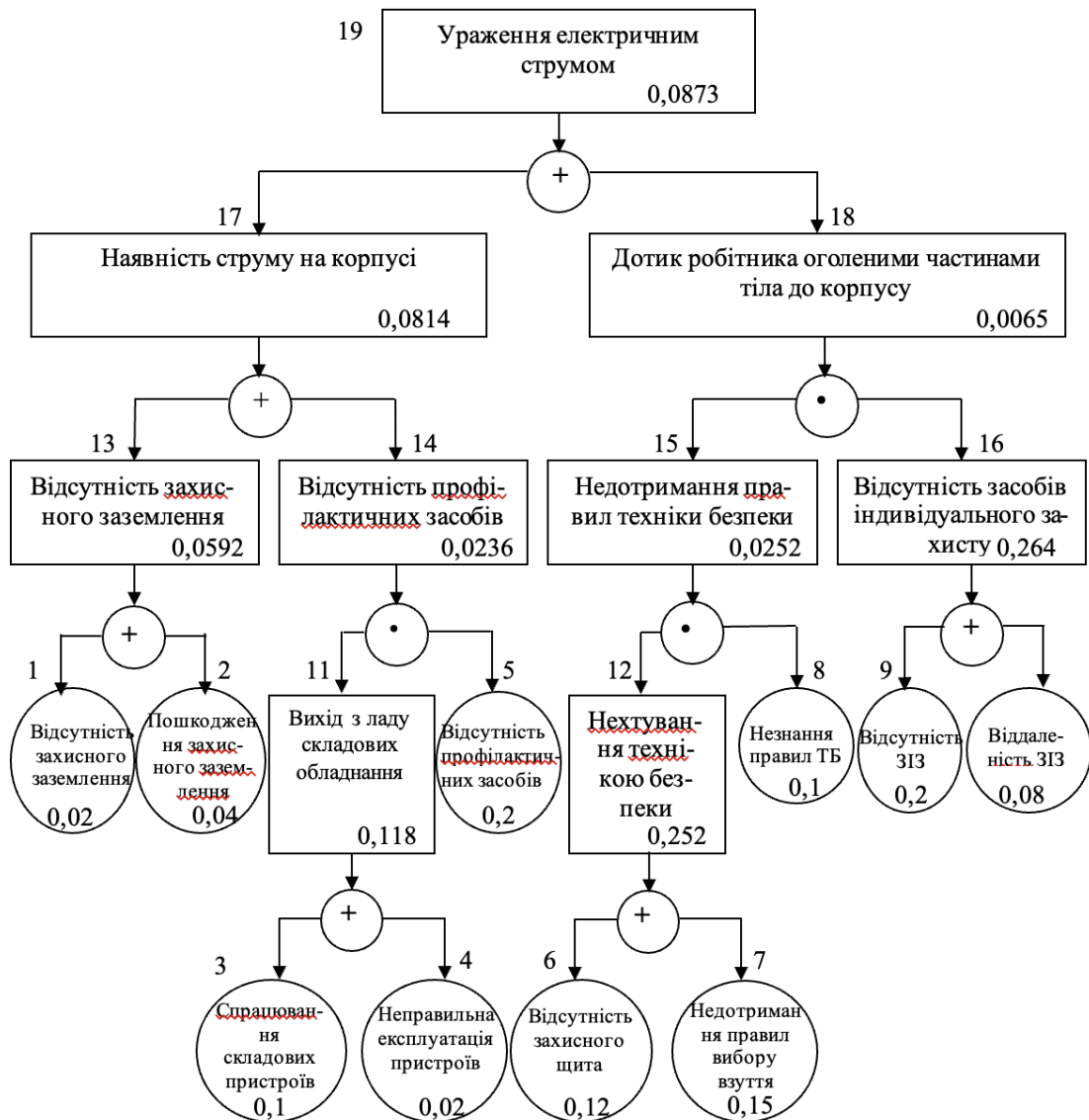


Рис. 5.1. Матриця логічних взаємозв'язків між окремими подіями травмонебезпечної ситуації

Аналогічно визначаємо ймовірність інших подій:

$$P_{11} = P_4 + P_5 - P_4 P_5 = 0,3 + 0,4 - 0,3 \cdot 0,4 = 0,118.$$

$$P_{12} = P_6 + P_7 - P_6 P_7 = 0,3 + 0,5 - 0,3 \cdot 0,5 = 0,252.$$

$$P_{16} = P_9 + P_{10} - P_9 P_{10} = 0,2 + 0,15 - 0,2 \cdot 0,15 = 0,264.$$

$$P_{14} = P_{11} \cdot P_5 = 0,118 \cdot 0,2 = 0,0236.$$

$$P_{15} = P_{12} \cdot P_8 = 0,252 \cdot 0,1 = 0,0252.$$

$$P_{17} = P_{13} + P_{14} - P_{13} \cdot P_{14} = 0,0592 + 0,0236 - 0,0592 \cdot 0,0236 = 0,0814.$$

$$P_{18} = P_{15} \cdot P_{16} = 0,264 \cdot 0,0252 = 0,0065.$$

$$P_{19} = P_{17} + P_{18} - P_{17} \cdot P_{18} = 0,0065 + 0,0814 - 0,0065 \cdot 0,0814 = 0,0873.$$

Таким чином, ймовірність перекидання машини та наслідкового виникнення травми працівника є досить мала і становить –  $P_{19} = 0,0873$ .

## 5.2. Планування заходів із покращення умов праці

До заходів щодо покращення умов праці належать всі види діяльності, спрямовані на попередження, нейтралізацію або зменшення негативної дії шкідливих і небезпечних виробничих факторів на працівників.

Рівень умов праці оцінюють порівнянням за фактичними і нормативними значеннями узагальнених (групових) показників.

Заходи щодо поліпшення умов праці здійснюють з метою створення безпечних умов праці шляхом:

- доведення до нормативного рівня показників виробничого середовища за елементами умов праці;
- захисту працівників від дії небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

До показників ефективності заходів щодо поліпшення умов праці належать:

- а) зміни стану умов праці:
  - зміна кількості засобів виробництва, приведених у відповідність до вимог стандартів безпеки праці;
  - покращання санітарно-гігієнічних показників;
  - покращання психофізичних показників, зменшення фізичних і нервово-психічних навантажень, в т.ч. монотонних умов праці;
  - покращання естетичних показників, раціональне компонування робочих місць і впорядкування робочих приміщень;
- б) соціальні результати заходів:

- збільшення кількості робочих місць, що відповідають нормативним вимогам;
- зниження рівня виробничого травматизму;
- зменшення кількості випадків професійних захворювань;
- зменшення плинності кадрів через незадовільні умови праці;
- престиж та задоволення працею.

Отже, на покращення охорони праці потрібно виділити кошти на відновлення вентиляційних систем у ремонтних майстернях, естетично оформити приміщення офісу, відновити кабінет з охорони праці, поновити протипожежний інвентар.

### **5.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях**

Актуальність проблеми природно-техногенної безпеки для населення і території, зумовлена зростанням втрат людей, що спричиняється небезпечними природними явищами, промисловими аваріями та катастрофами. Ризик надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру невідомо зростає, тому питання захисту цивільного населення від надзвичайних ситуацій на сьогодні є дуже важливе.

У системі цивільної оборони окремого господарства необхідно забезпечити захист населення таким чином:

Укриття в захисних спорудах, якому підлягає усе населення відповідно до приналежності, досягається створенням фонду захисних споруд.

Евакуаційні заходи, які проводяться в містах та інших населених пунктах, які мають об'єкти підвищеної небезпеки, а також у воєнний час, основним способом захисту населення є евакуація і розміщення його у позаміській зоні.

Медичний захист проводиться для зменшення ступеня ураження людей, своєчасного надання допомоги постраждалим та їх лікування, забезпечення епідеміологічного благополуччя в районах надзвичайних ситуацій.

Радіаційний і хімічний захист включає заходи щодо виявлення і оцінки радіаційної та хімічної обстановки, організацію і здійснення дозиметричного та хімічного контролю, розроблення типових режимів радіаційного захисту, забезпечення засобами індивідуального захисту, організацію і проведення спеціальної обробки.

Евакуаційні заходи, які проводяться в містах та інших населених пунктах, які мають об'єкти підвищеної небезпеки, а також у воєнний час, основним способом захисту населення є евакуація і розміщення у позаміській зоні.

## ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломної роботи на тему "Проектування автоматизованої системи виготовлення паливних брикетів із відходів деревини" були досягнуті наступні результати:

1. Проведено всебічний аналіз сучасних технологій переробки відходів деревини у паливні брикети. Вивчено різні методи та підходи до автоматизації процесу, що дозволило визначити найефективніші технології для використання у проекті.

2. Розроблено оптимальну технологічну схему виготовлення паливних брикетів. Вона включає етапи подрібнення сировини, сушіння, пресування та охолодження, що забезпечує високу якість кінцевого продукту.

3. Обрано та обґрунтовано обладнання для автоматизованої системи виробництва паливних брикетів. Розроблено систему управління та програмне забезпечення для контролю процесу, що дозволяє забезпечити безперебійне та ефективне функціонування виробництва.

4. Проведено необхідні розрахунки продуктивності обладнання, енергоспоживання та витрат на виробництво. Отримані результати показали, що запропонована система забезпечує високу ефективність виробництва при оптимальних витратах.

5. Проведено економічний аналіз витрат на впровадження автоматизованої системи та розраховано економічну ефективність проекту. Результати показали, що інвестиції в автоматизацію виробництва окупляться протягом прийняттого терміну, що робить проект економічно доцільним.



## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Аналіз можливостей виробництва та використання брикетів з агробіомаси в Україні URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2018/05/position-paper-uabio-20-ua.pdf>
2. Гайда С.В. Технології та рекомендації до використання вживаної деревини в деревообробленні / С.В. Гайда // Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть: міжвід. наук.-техн. зб. – 2013. – Вип. 39.1. – С. 48-67.
3. Гірс О. А. Лісовпорядкування : підручник / О. А. Гірс, Б. І. Новак, С. М. Кашпор. – К. : Арістей, 2004. – 384 с.
4. Ємельянов В. Г. Основи деревинознавства та лісового товарознавства : навч. посібник / Харк. нац. агр. ун-т. ім. В.В. Докучаєва. – Харків, 2009. – 399 с.
5. Закон України «Про охорону праці» від 14 жовтня 1992 р., № 2694. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text> (дата звернення: 10.12.2023).
6. Клименко Л.П. Техноекологія. Посібник. Видавництво «Таврія», 2000. – 542 с.
7. Клименко Л.П., Соловійов С.М., Норд Г.Л. Системи технологій: Навчальний посібник. – Миколаїв: Вид-во МДГУ ім.Петра Могили, 2007. – 600 с.
8. Комплексне перероблення рослинної сировини комплексна хімічна переробка деревини.  
  
[URL:https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/50864/1/Kompleksne\\_per\\_eroblennia.p\\_df](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/50864/1/Kompleksne_per_eroblennia.p_df)
9. Комплексний аналіз українського ринку пелет з біомаси. URL: <https://uabio.org/wp->

[content/uploads/2020/04/kompleksnij\\_analiz\\_ukrayinskogo\\_rinku\\_pelet\\_z\\_biomasi](http://content/uploads/2020/04/kompleksnij_analiz_ukrayinskogo_rinku_pelet_z_biomasi)

[.pdf](#)

10. Л.І. Максимів, В.П.Климович, Л.Д.Загвойська.  
Використання енергетичного потенціалу деревини: еколого-економічний вимір. URL: <http://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu/article/view/81/4>

11. Лісопильно-деревопереробна промисловість

URL: [https://pidru4niki.com/70534/ekologiya/vpliv\\_dovkilliya](https://pidru4niki.com/70534/ekologiya/vpliv_dovkilliya)

12. Мандебура С. В. Переробка та утилізація відходів лісопромислового комплексу України / С. В. Мандебура, А. С. Прадівляна, Т. С. Тітов // Матеріали XLVII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 14-23 березня 2018 р. - Електрон. текст. дані. - 2018. - Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2018/paper/view/4504>.

13. Методичні вказівки до виконання практичних робіт дисципліни

«Утилізація промислових та небезпечних відходів» /О.О. Бедункова – Рівне: НУВГП, 2017. - 40 с.

14. Наказ про затвердження: «Правил пожежної безпеки в лісах України» від 27.12.2004 № 278. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0328-05#Text>

15. Основні напрями управління процесами використання відходів деревини.

URL:<http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/27395/1/%D0%94%D0%B7%D0%B4%D0%B8%D0%BA%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D1%87.pdf>

16. УДК 662.63.003.12:/620.91 Аспір. А.В. Прокіп1 – НЛТУ України, м. Львів Оцінка потенціалу деревинних відходів для енергетичного

використання. [URL:http://otsinka-potentsialu-derevinnih-vidhodiv-dlya-energetichnogo- vikoristannya.pdf](http://otsinka-potentsialu-derevinnih-vidhodiv-dlya-energetichnogo-vikoristannya.pdf)

17. Паливні брикети - сировина і стандарти URL: <https://bio.ukr.bio/ua/articles/1589/>

18. Переваги пелет перед іншими видами палива URL: <https://gi-pellets.com.ua/blog/vygoda-pellet-pered-drugimi-vidami-topлива>

19. Перспективи використання відходів деревини лісових господарств як біологічних енергетичних ресурсів URL: [https://www.researchgate.net/publication/342823250\\_Perspektivi\\_vikoristannya\\_v](https://www.researchgate.net/publication/342823250_Perspektivi_vikoristannya_v_idhodiv_derevini_lisovih_gospodarstv_ak_biologicnih_energeticnih_resursiv)

[idhodiv\\_derevini\\_lisovih\\_gospodarstv\\_ak\\_biologicnih\\_energeticnih\\_resursiv](https://www.researchgate.net/publication/342823250_Perspektivi_vikoristannya_v_idhodiv_derevini_lisovih_gospodarstv_ak_biologicnih_energeticnih_resursiv)

20. Погребняк П. С. Лісова екологія і типологія лісів. Вибрані праці. – К.: Наук. думка, 1993. – 496 с.

21. Порівняння деревної пелети і дров. URL: <https://www.kronaimpuls.com.ua/porivnyannya-derevnoyi-peleti-i-drov/>

22. Посібник підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/01/posibnyk-onovlenyi-2016.pdf>

23. Правила поведінки під час пожежі в лісах та на торфовищах URL: <https://konotop.city/articles/220259/pravila-povedinki-pid-chas-pozhezhi-v-lisah-ta-na-torfovischah>

24. Промислова екологія: навчальний посібник / [С. О. Апостолук, В. С. Джигирей, І. А. Соколовський та ін.]. – 2-ге вид., виправл. і доповн. – К. : Знання, 2012. – 430 с.

25. Розробка та вдосконалення енергетичних систем з урахуванням наявного потенціалу альтернативних джерел енергії :

колективна монографія / за ред. О.О. Горба, Т.О. Чайки, І.О. Яснолоб. – П. : ТОВ НВП «Укрпромторгсервіс», 2017. – 326 с.

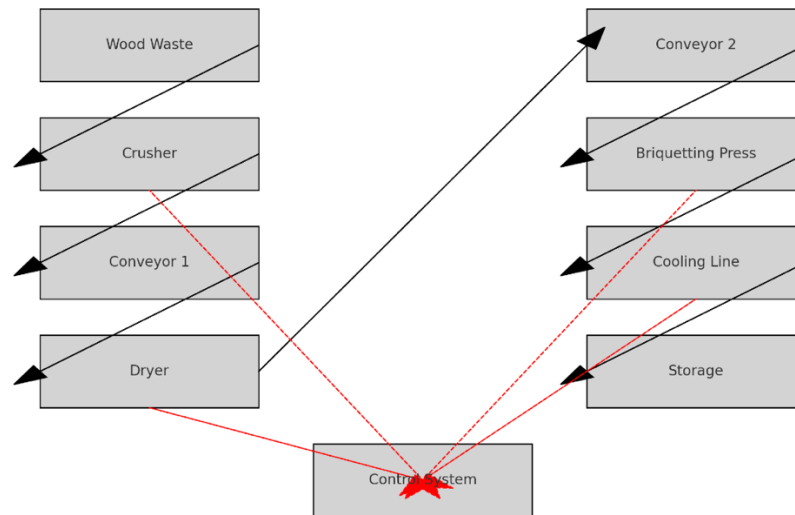
26. Свириденко В. Е. Побічне користування лісом : навч. посіб. /В. Е. Свириденко. – К., 2002. – 240 с.

Технологія виробництва видів біопалива URL:  
<https://bio.ukr.bio/ua/articles/2344/>

## ДОДАТКИ

### ДОДАТОК А

Блок-схема автоматизованої системи виготовлення паливних брикетів із відходів деревини:



1. **Wood Waste (Відходи деревини):** Початковий етап, де зберігаються відходи деревини.
2. **Crusher (Дробарка):** Дробить відходи деревини на менші частини.
3. **Conveyor 1 (Конвеєр 1):** Транспортує подрібнену деревину до сушарки.
4. **Dryer (Сушарка):** Сушить деревину, знижуючи вологість до потрібного рівня.
5. **Conveyor 2 (Конвеєр 2):** Транспортує суху деревину до пресу для брикетування.
6. **Briquetting Press (Прес для брикетування):** Формує деревину в паливні брикети.
7. **Cooling Line (Лінія охолодження):** Охолоджує готові брикети.
8. **Storage (Склад):** Зберігання готових паливних брикетів.
9. **Control System (Система управління):** Автоматизована система управління, яка контролює роботу всіх етапів процесу.