

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри КСУ

_____ Петро ЛЕОНТЬЄВ

_____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня магістр

зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійної програми
«Комп'ютеризовані системи управління та робототехніка»
на тему: «Оптимізація процесу виробництва пелет»

Здобувача групи СУ.мз-21с

Гончарова Олександра Олександровича

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

(підпис)

Олександр ГОНЧАРОВ

Керівник к.т.н., доцент Олександр ЖУРАВЛЬОВ

(підпис)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КСУ

_____ Петро ЛЕОНТЬЄВ
_____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра здобувачу вищої освіти
Гончарову Олександрю Олександровичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Оптимізація процесу виробництва пелет»_затверджена наказом ректора СумДУ № 1227-VI від “ 06 ” листопада 2023 р.
2. Термін здачі студентом закінченої роботи: 15 грудня 2023 р.
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: наукова література, наукові публікації, науково-технічні звіти, дисертації та автореферати за тематикою роботи, звіт з переддипломної практики.
4. Зміст кваліфікаційної роботи (питання, що підлягають розробленню):
 - конструктивно-технологічний аналіз об'єкту керування;
 - побудова контурів керування технологічних параметрів;
 - побудова моделей процесів виробництва пелет;
 - розробка SCADA-системи.
5. Перелік графічних матеріалів: робота містить 35 рисунки, осцилограми сигналів, схеми установки, результати математичного моделювання.

6. Календарний план виконання роботи

Номер етапу	Зміст етапу виконання роботи	Термін виконання
1	Описати технологічні процесу виробництва пелет. Проаналізувати параметри технологічного процесу виробництва деревних пелет. Розглянути фінішні технологічні операції	25.09. 2023 – 17.10. 2023
2	Побудувати контури керування технологічних параметрів процесу виробництва деревних пелет.	18.10.2023– 01. 11.2023
3	Побудувати моделі процесів виробництва пелет	02. 11.2023– 07. 11.2023
4	Провести синтез регулятора об'єкту керування, Оцінити результати параметричного синтезу регуляторів	08. 11.2023– 15. 11.2023
5	Розробити основні елементи SCADA-системи.	16. 11.2023– 26.11. 2023
6	Оформити матеріали кваліфікаційної роботи магістра	27.11. 2023– 05.12.2023

7. Дата видачі завдання: 6 листопада 2023 р.

Керівник проекту:

к.т.н., доцент

(підпис)

Олександр ЖУРАВЛЬОВ

Здобувач:

студент гр. СУ.мз-21с

(підпис)

Олександр ГОНЧАРОВ

АНОТАЦІЯ

Гончаров Олександр Олександрович. Оптимізація процесу виробництва пелет. Кваліфікаційна робота магістра. Сумський державний університет. Суми, 2023 р.

Кваліфікаційна робота містить 66 сторінок, 35 рисунків, 11 формул, 24 посилань на джерела інформації, 3 додатки.

Мета роботи полягає в оцінці можливостей побудови алгоритмів оптимального керування виробництва пелет, яке забезпечить підвищення якості продукції та енергоефективності керованого обладнання.

Для вирішення завдань оптимізації процесів, що складають виробництво пелет, розглянуті контури керування процесом, що забезпечують отримання необхідних значень технологічних параметрів:

- контур керування процесом подрібнення сировини;
- контури керування процесом сушіння сировини;
- контур керування процесом пресування пелет;
- контур керування охолодженням пелет.

Заходами, що забезпечують досягнення поставленої мети, є розгляд процесів та обладнання виробництва пелет в якості об'єктів автоматизації. Це дозволило використати методи структурно-параметричного синтезу регуляторів для цього об'єкту керування.

У ході досліджень проаналізовано параметри процесів виробництва пелет та визначити критерії оптимізації окремих складових виробництва пелет та завдання керування його параметрами.

Математичні моделі, розроблені відповідно до обраних контурів керування, реалізовані у середовищі MATLAB Simulink.

В процесі побудови системи керування процесом сушіння сировини пелет використано моделі id-діаграм, що дозволило побудувати узгоджене керування вологістю та температурою продукту. Врахування зв'язку між вологістю і температурою сушіння продукту забезпечує оптимальні режим сушіння, тим самим покращуючи якість кінцевого продукту.

Розглянутий ескізний проект SCADA системи виробництва пелет на базі ПЛК

S7-400 фірми Siemens та програмного забезпечення Totally Integrated Automation Portal спрямований на підвищення ефективності керування виробництвом за рахунок узгодження проміжних параметрів складових процесу виробництва пелет.

Результати роботи можна використовувати у галузях промисловості пов'язаних із виробництвом гранульованих продуктів, зокрема кормів та добрив, а також при підготовці здобувачів вищої освіти з автоматизації.

Ключові слова: привод засувки, релейний регулятор, ід-діаграма, синтез регулятора, SCADA-система.

ABSTRACT

Honcharov Oleksandr. Optimization of the pellet production process. Master's qualification work. Sumy State University. Sumy, 2023

The qualification work contains 63 pages, 35 figures, 11 formulas, 24 references to sources of information, 3 appendices.

The purpose of the work is to assess the possibilities of building algorithms for optimal control of pellet production, which will ensure an increase in product quality and energy efficiency of controlled equipment.

In order to solve the tasks of optimizing the processes that make up the production of pellets, the process control contours that ensure obtaining the necessary values of the technological parameters are considered:

- control circuit of raw material grinding process;
- control circuits of raw material drying process;
- control circuit of the pellet pressing process;
- pellet cooling control circuit.

The measures that ensure the achievement of the set goal are consideration of pellet production processes and equipment as objects of automation. This made it possible to use the methods of structural-parametric synthesis of regulators for this control object.

In the course of research, the parameters of pellet production processes were analyzed and the criteria for optimizing individual components of pellet production and the task of managing its parameters were determined.

Mathematical models developed in accordance with the selected control circuits are implemented in the MATLAB Simulink environment.

In the process of building a control system for the drying process of raw pellets, id-diagram models were used, which made it possible to build a coordinated management of product humidity and temperature. Taking into account the relationship between humidity and product drying temperature ensures optimal drying conditions, thereby improving the quality of the final product.

The reviewed sketch SCADA project of the pellet production system based on Siemens PLC S7-400 and the Totally Integrated Automation Portal software is aimed at increasing the efficiency of production management by harmonizing the intermediate parameters of the components of the pellet production process

The results of the work can be used in industries related to the production of granular products, in particular feed and fertilizers, as well as in the training of students of higher education in automation.

Keywords: valve drive, relay regulator, id-diagram, regulator synthesis, SCADA system

.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1.КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ’ЄКТУ КЕРУВАННЯ	11
1.1 Опис технологічного процесу.....	11
1.2 Аналіз технологічного процесу виробництва деревних пелет.....	14
1.3 Фінішні технологічні операції.....	20
2. ПОБУДОВА КОНТУРІВ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ	22
2.1 Контур керування процесом подрібнення сировини.....	22
2.2 Контури керування процесом сушіння сировини.....	24
2.3 Контур керування процесом пресування пелет.....	26
2.4 Контур керування охолодженням пелет.....	29
3. ПОБУДОВА МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА ПЕЛЕТ.....	31
3. 1 Модель керування процесом подрібнення сировини.....	31
3. 2 Модель керування процесом сушіння сировини.....	37
3. 4 Модель керування процесом охолодження пелет.....	48
4. РОЗРОБКА SCADA-СИСТЕМИ.....	52
4.1 Структура системи керування виробництвом пелет.....	52
4.2 Реалізація SCADA системи керування виробництвом пелет.....	55
ВИСНОВКИ.....	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	Ошибка! Закладка не определена.
ДОДАТОК А.....	Ошибка! Закладка не определена.
ДОДАТОК Б.....	Ошибка! Закладка не определена.
ДОДАТОК В.....	Ошибка! Закладка не определена.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

АД– асинхронний двигун

АРМ– автоматизоване робоче місце (оператора)

АСУ – автоматизована система управління

ОК – об'єкт керування

РР – релейний регулятор

ФСА – функціональна схема автоматизації

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція

ВСТУП

Деревні пелети є відновлюваним джерелом енергії, оскільки вони виготовляються з деревини, яка може бути вирощена і замінена. В результаті спалювання пелети біологічно розкладаються та викидають в атмосферу незначну кількість шкідливих речовин, у порівнянні з викопними паливами. Паливо з пелетів є поширеним у країнах Європейського Союзу. Оскільки попит на деревні пелети в Україні не є високим, то вчені та еко-активісти працюють над розширенням цього сектору енергетики в нашій країні. Ціни на пелети залишаються високими, оскільки виготовлення цієї сировини має ряд технологічних складностей, які гальмують розвиток цієї галузі.

Цілеспрямоване подолання складностей базується на оцінці рівня параметрів що характеризують якість пелет. Якщо екологічні параметри пелетів (зольність, викиди) залежать від характеристик сировини, що використовується для виробництва пелет, то головний споживчий параметр – теплотворна здатність суттєво визначається параметрами технологічного процесу. Додаткові параметри – щільність та міцність пелет також залежать від режимів роботи обладнання.

В той же час, енергетичні характеристики обладнання, що використовується для виробництва пелет, не є безмежними. Тому напрямки модернізації та удосконалення цього обладнання визначаються критеріями економічної ефективності задіяних процесів, оскільки вартісні показники як енергетичних ресурсів, так і самих пелет є перепоною для поширення виробництва пелет.

Зменшити вартість енергоресурсів для виробництва, тобто підвищити ефективність виробництва пелет вдається завдяки використанню програмно технічних засобів автоматизації. Втім, до теперішнього часу результатом заходів по автоматизації процесів виробництва пелет було застосування окремих контурів керування [1], які забезпечують стабілізацію важливих параметрів процесу.

Ідеологія стабілізації окремих параметрів процесу виробництва дозволяє підвищити споживчі параметри пелет, таких як розмір, щільність та вологість. Спроби використати пов'язане керування між різними технологічними операціями ви-

робництва пелетів не досягають суттєвого успіху, оскільки складові виробництва відрізняються динамікою та характером взаємодії сировинних та проміжних компонент. Наприклад, експерименти по збільшенню продуктивності лінії пелет за рахунок збільшення швидкості подачі компонента до гранулятора показали, що крім погіршення якості пелет, відчутно зменшуються показники надійності обладнання. Тому керування виробництвом пелет зазвичай здійснюється у полуавтоматичному режимі, дозволяє, спираючись на практичний досвід оператора мінімально оптимізувати режими виготовлення пелет.

Складність згаданих налаштувань пов'язана з тим, що режими сушіння, дроблення, гранулювання, в залежності від властивостей сировини, змінюють значення оптимальних налаштувань. тому побудувати регулятори без використання математичного моделювання проблематично.

Відомі математичні моделі (ММ) присвячуються процесу пресування (грануляції), оскільки якість пелет в значній мірі визначаються цим процесом, проте результати моделювання досі не дійшли до побудови регуляторів, які б покращили якість пелет.

Інші ММ (сушіння, дроблення), на базі яких будуються регулятори енергозбереження, внаслідок їх складного опису, базуються на дотичних критеріях і мають низьку точність.

Таким чином **об'єктом дослідження** є засоби автоматизації лінії по виробництву деревних пелетів.

Предметом дослідження є алгоритми та оптимальні регулятори системи керування лінії по виробництву деревних пелетів.

Мета роботи полягає в оцінці можливостей побудови алгоритмів оптимального керування системою, яка забезпечить підвищення якості продукції та енергоефективності обладнання.

Практична значимість отриманих результатів буде полягати у:

- Використанні методик структурно-параметричного синтезу регуляторів зазначеного об'єкту керування (ОК);
- збільшення надійності та енергетичної ефективності досліджуваного ОК.

1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ

1.1 Опис технологічного процесу

Розгляд різних технологічних схем виробництва пелет показує, що вони складаються з процесів підготовки сировини до процесу пресування та процесу пресування з фінішними операціями. До процесів підготовки відносять:

- первинне подрібнення;
- процес сушіння;
- вторинне подрібнення;
- сортування з видаленням домішок.

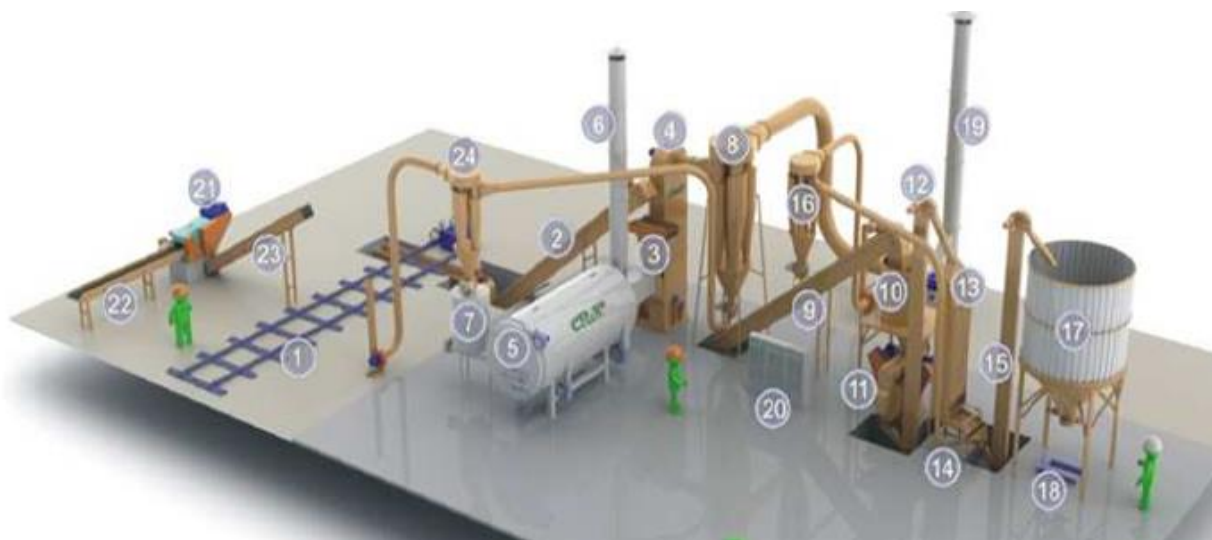
Процеси підготовки повинні забезпечити стабільність параметрів подрібненої сировини для гранулювання, тим самим оптимізуючи якісні показники кінцевого продукту: фракційний склад, насипна щільність, вологість, відсутність побічних включень. Крім того, підготовчі операції сприяють стабілізації безперервного пресування, що також оптимізує енергетичні витрати працюючого обладнання.

Виходячи із типової технологічної схеми лінії виробництва пелетів, що показана на рис. 1, можна розглянути технологічні завдання, що визначають фактори створення автоматизованої системи керування (АСК) процесом виробництва пелетів.

Робота лінії по виготовленню пелет починається з подавання сировини у подрібнювальну машину 21 з використанням транспортера 22. Подрібнена сировина надходить до транспортеру 23 та потрапляє до механізованого рухомого складу 1. При наявності сировини дрібних фракцій вона відразу зсипається у згаданий склад 1. Для сепарації похідної сировини від шкідливих домішок, з допомогою ланцюгового транспортеру 2, сировина з регульованою швидкістю подачі надходить до дискового сепаратора 3. Після первинної сепарації сировина самопливом завантажується у агрегат сушки-подрібнювача 4.

В роботі за редакцією Клименка В.В. [2] описана наступна послідовність тех-

нологічних операцій виготовлення пелет:



1 - рухомий склад; 2, 9, 22, 23 - транспортери; 3 - сепаратор; 4 - сушильно-подрібнювальний агрегат; 5 - теплогенератор; 6 - труба атмосферного повітря; 7 - бункер палива; 8, 16 - циклони; 10 - бункер пелетоутворювача; 11 - пелетоутворювач; 12, 15 - норії; 13 - охолоджувач; 14 - сортувальник; 17 - бункер готової продукції; 18 - ваги; 19 - димова труба; 20 - пульт управління; 21 - подрібнювальна машина; 24 - система пневмотранспорту

Рисунок 1.1 – Типова технологічна схема лінії виробництва пелетів

«До агрегату 4 подаються продукти горіння з теплогенератора 5 і засмоктується холодне атмосферне повітря через трубу 6. Початково змішуються продукти горіння і холодне повітря. Пропорція змішування регулюється автоматично, що забезпечує підтримку заданої температури теплоносія. Потім теплоносій змішується з вологою сировиною і засмоктується в агрегат сушки-подрібнювача 4.

В останньому сировина подрібнюється і потім висушується, піднімаючись в потоці теплоносія до динамічного класифікатора, що знаходиться у головній секції агрегату сушки-подрібнювача. Динамічний класифікатор, продуктивність якого задається з пульта управління 20, пропускає дрібну і суху сировину, а великі і вологі частинки сировини повертає до ротора агрегату. Такий процес повторюється до одержання необхідної вологості і ступеня подрібнення сировини.

Подрібнена і висушена сировина засмоктується в осадочний циклон 8 за рахунок розрідження, що створюється димососом. В циклоні сировина осідає за рахунок відцентрової сили і рухається вниз, а відпрацьований теплоносій викидається в димову трубу 19. З циклона сировина через шлюзовий затвор, а далі з допомо-

гою транспортера 9, надходить до бункера пелетоутворювача 10.

Всередині бункера знаходиться пристрій, що перешкоджає злежуванню сировини. З бункера сировина подається шнековим живильником з регульованою швидкістю подачі до змішувача (кондиціонера) преса, сюди ж подається вода або пара. У змішувачі здійснюється кондиціонування продукту, тобто доведення вологості сировини до рівня, який необхідний для процесу пресування. Зі змішувача зволожена сировина через віддільник феромагнітних домішок виводиться у преспелетоутворювач 11.

В камері пресування пелетоутворювача сировина зтягується між матрицею, що обертається і пресувальними роликками (вальцями) і продавлюється в радіальні отвори матриці, де під дією великого тиску відбувається формування гранул. Виштовхнуті з отворів гранули зрізаються нерухомим ножом, зсипаються через рукав кожуху на вертикальний транспортер-норію 12, який подає їх в охолоджувальну колонку 13.

В охолоджувальну колонку 13 через шар пелет вентилятором циклона 16 засмоктується повітря, яке охолоджує пелети і одночасно видаляє частину сировини, що не спресувалася, у циклон 16. В процесі охолодження вологість гранул зменшується за рахунок випареної вологи, і в них відбуваються фізико-хімічні зміни, які забезпечують необхідну твердість, вологість і температуру пелет. З охолоджувальної колонки, пелети надходять на сортувальник 14, де відбувається відокремлення кондиційних виробів від крихти. Відокремлений продукт направляється на повторне пресування. Норією 15 пелети подаються в бункер готової продукції 17, де розміщується дозатор на базі електронних вагів 18.

Готову продукцію завантажують у великі мішки (біг-беги), або здійснюють розфасовку у 15-и кілограмові поліетиленові мішки, які укладаються на піддон. Заповнені біг- беги або піддони транспортуються на склад готової продукції.

Теплогенератор 5 завантажується паливом в автоматичному режимі з бункера палива 7. Поповнення бункера паливом відбувається автоматично за рахунок повернення частини підготовленої до пресування сировини від осадочного циклону 8 системою пневмотранспорту 24.»

1.2 Аналіз технологічного процесу виробництва деревних пелет

Аналіз ходу технологічного процесу спрямовується оцінку факторів впливу на процес та отримання опису взаємозв'язків між основними складовими параметрами процесу. Дані, що отримані в результаті аналізу, використовуються для створення системи керування процесом пресування гранул. Для конкретизації завдань керування розмежуємо ділянки виробництва наступним чином:

- I – ділянка підготовки сировини, де сировина дробиться до стану тирси;
- II – ділянка сушіння, де тирса висушується до вологості $15 \% \pm 2 \%$;
- III – ділянка пресування, де висушена тирса пресується на пелети діаметром 6 – 8 мм;
- IV – ділянка охолодження, де компонент деревини лігнін фіксує геометричні розміри пелет;
- V – ділянка пакування у поліетиленові мішки або великі мішки (бігбеги), або насипом.

Взаємозв'язок складників процесу виготовлення пелетів показано на схемі рис.1.2.

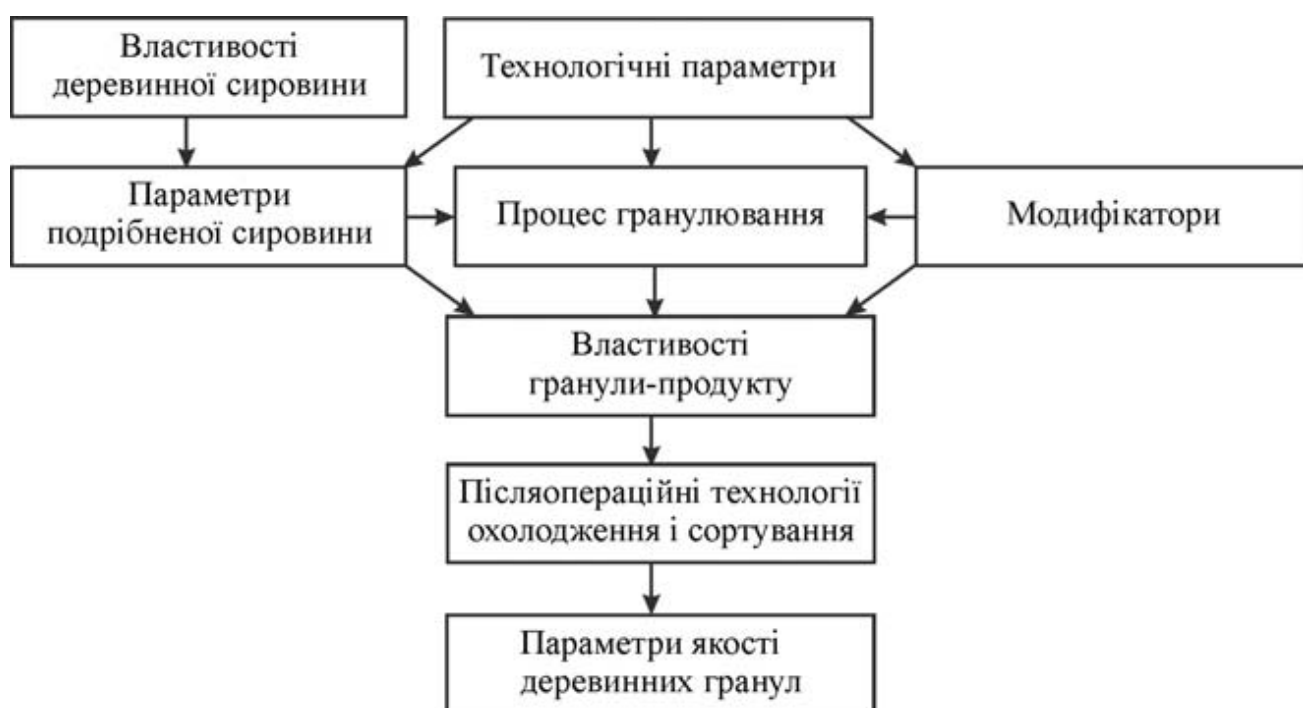


Рисунок 1.2 – Схема взаємозв'язків складників процесу виготовлення пелетів

Як видно із наведеної схеми [3], параметри якості пелетів залежать не тільки від параметрів процесу пресування сировини, але й від супроводжуючих операцій.

Відповідно до викладеного змісту технологічних операцій, наступним кроком аналізу передбачається визначення параметрів процесів, які забезпечують необхідні результати технологічних операції лінії.

Звертаючись до початкового етапу виробництва, визначимо вимоги до дробарного устаткування. Ці вимоги формуються наступною операцією – сушіння. Чинник, що визначає енерговитрати на сушіння, це розмір фракцій подрібнення, тобто для менших розмірів фракцій потрібно менше теплової енергії для видалення вологи. В той же час отримання сировини, що характеризується фракціями менших розмірів, вимагає більших витрат подрібнення. Таким чином керування процесом подрібнення вимагає вирішення протиріччя між продуктивністю, яка визначається частотою обертання дробарного валу та можливими перенавантаженнями електроприводу.

Складність *оптимізації керування* процесом подрібнення ще пов'язана із можливими змінами типу деревини (різна твердість), що надходить до дробарки.

Виходячи з того, що ефективність функціонування дробарок оцінюється відношенням кількості подрібненої деревини до кількості витраченої електроенергії, то можна стверджувати, що знаходження оптимального режиму буде залежати від декількох параметрів.

Таким чином *оптимальне значення* обертів дробарки буде залежати від породи (твердості) деревини, її розмірів, необхідної фракційності, похідної вологості та заданого значення *ефективності* роботи дробарки.

Процеси підготовки сировини до пресування закінчуються сушкою, при цьому до обладнання, що використовується у підготовчому процесі висуваються наступні вимоги. Обладнання для сушіння повинно забезпечити відносну вологість сировини в межах 6-20 %, оскільки за цими межами досягти ефективного пресування неможливо. При цьому розміри фракцій сировини повинні обмежуватися значенням – 1–3мм, а вміст деревинного пилу – не повинен перевищувати 3 %. Діапазон температур, в якому вимірюється вологість +10...+50°C.

Якість процесу сушіння сировини для пелет, як і будь якої деревини залежить від динаміки сушки, тобто швидкості покидання вологи об'єму сушіння.

При експериментальних дослідженнях динаміки сушіння пелетної сировини [4] отримані залежності зміни вологості тирси і вологовмісту сушильного агенту, які показані на рис. 1.3.

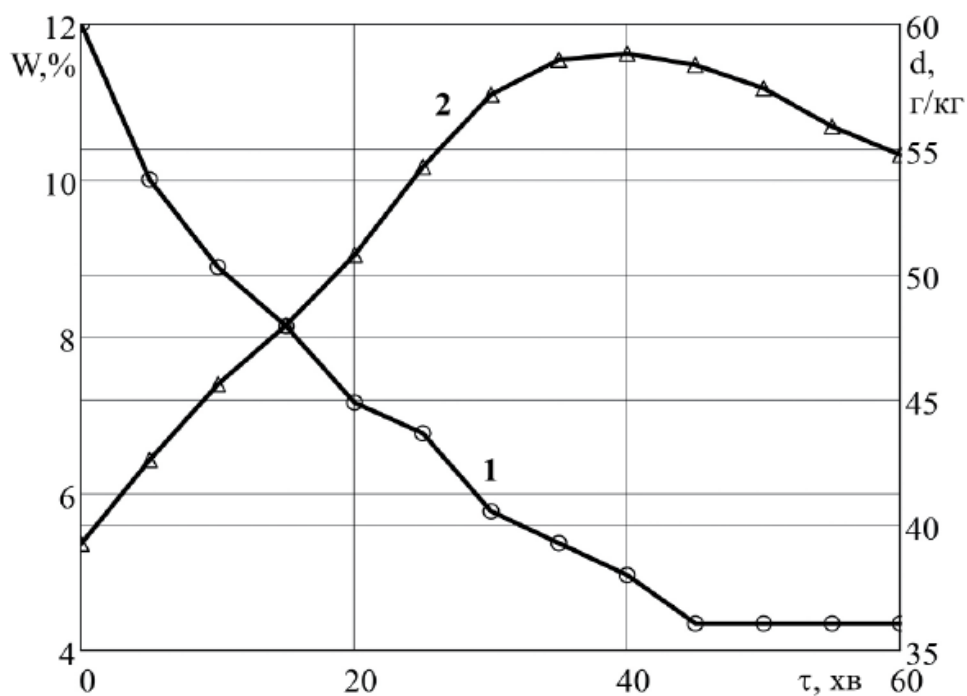


Рисунок 1.3 – Динаміка процесу сушіння: крива 1 – зміна відносної вологості тирси; крива 2 – зміна вологовмісту сушильного агенту

Із рис. 1.3 видно, що «Зменшення температурного потенціалу сушильного агенту при низькотемпературному сушінні відходів деревини призводить до суттєвого зниження швидкості процесу зневоднення і збільшення тривалості процесу. Побудова кривих сушіння і кривих швидкості сушіння, що базується на експериментальному матеріалі, дає змогу більш точно оцінити вплив температури і вологості сушильного агенту на швидкість процесу висушування сировини.

Процесом сушіння деревної тирси низькопотенційними джерелами теплоти можна управляти, контролюючи вологовміст сушильного агенту на виході з робочої камери.» Слід зазначити, що залежності такого типу необхідні при розробці алгоритмів оптимального керування процесом сушіння, але при зміні типу сиро-

вини (жом, солома) або типу деревини (ясен, дуб, береста) ці алгоритми підлягають корегуванню, відповідно до експериментальних даних.

Аналіз процесів пресування також передбачає встановлення взаємозв'язків між характеристиками пелет (показниками ефективності процесу) та параметрами процесу, від яких ці характеристики залежать. Це необхідно, оскільки в ході процесу згадані характеристики безпосередньо поміряти неможливо, тим більше вплив на характеристики пелетів теж дотичний. Тому формування завдань оптимального керування, при наявності необхідних експериментальних даних, які зібрані при дослідженні якісних параметрів пелет, здійснюється відповідно до параметрів процесу пресування, які підтримувалися в ході виготовлення певної партії. Алгоритми керування будуються таким чином, щоб забезпечити необхідні співвідношення параметрів процесу.

На рис. 1.4 зображена технологічна схема пресування пелет з допоміжними технологічними операціями, зокрема ворушіння, зволоження та вентиляції.

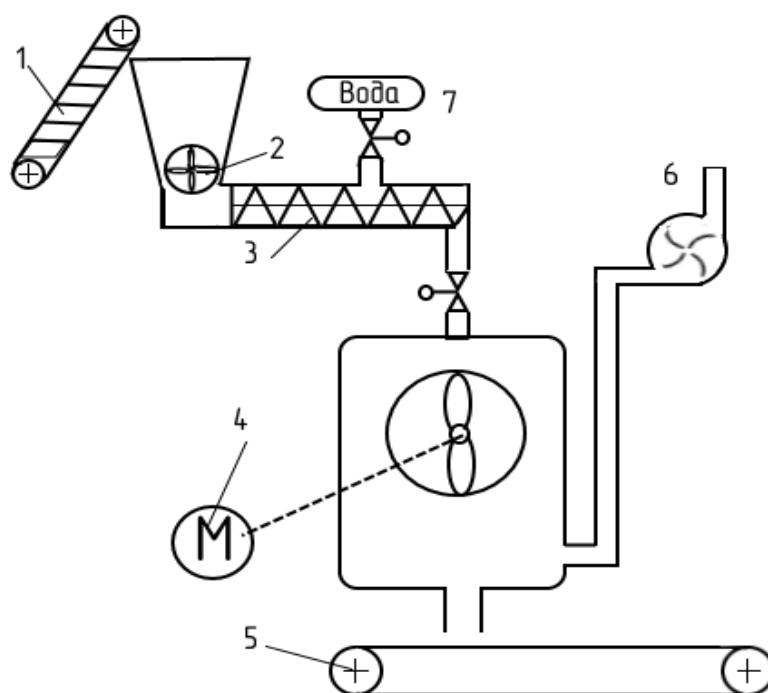


Рисунок 1.4 – Технологічна схема пресування пелет: 1– транспортер подачі сировини; 2–ворушитель тирси; 3– шнек завантаження пресу; 4 – привод вальців преса; 5– транспортер гарячих пелет; 6–вентилятор пилу; 7– вузол зволоження.

Розгляд схеми пресування пелет зводиться до формування каналів керування та позицій контролю, які відповідно до якісних показників пелет, дозволять отримувати оптимальні режими процесу пресування.

Перелік параметрів процесу пресування пелет представлено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 Перелік параметрів керування.

Номер п/п	Назва параметру	Одиниці вимірювання	Діапазон
1	витрати сировини для гранулювання	кг/год	0-1000
2	відстань між матрицею і вальцями	мм	0-2
3	зусилля пресування	МПа	100
4	тиск в зазорі між матрицею і вальцями	МПа	1000
5	швидкість обертання шнеків подачі	об/хв	500
6	температура матриці, град. С	°С	120
7	швидкість обертання матриці	об/хв	300
8	рівень сировини у бункері пресу	м	0- 10
9	витрати повітря вентилятора	м ³ /год	30
10	витрати зволожувача	м ³ /год	2

Як видно із табл. 1.1, до переліку контурів керування процесом входять не тільки параметри, від яких залежить якість пелет (зусилля пресування, відстань між матрицею і вальцями, швидкість обертання матриці), але й допоміжні – температура матриці, витрати повітря вентилятора, витрати води. Останні параметри безпосередньо не впливають на пресування, але покращують його умови. Наприклад, при значеннях вологості сировини менше 8% необхідні великі зусилля пресування, тому покращення умов пресування здійснюється додатковою подачею води (поз. 7, рис. 1.4). Хоча якість пелет покращується при збільшенні зусиль пресування, проте при температурах понад 120° С спостерігається погіршення параметрів пелет через зміну характеристик лігніну. Тому при пресуванні пелет ведеться постійний контроль за температурою матриці пресування. Щоб запобігти перевищенню температури матриці пресування, системою керування збільшується

ся частота обертання приводу пресуючих вальців установки. Слідкування за температурою пресування дає можливість збільшити пожежну безпеку.

Запобігаючи погіршенню якості велет після нагрівання у процесі пресування, використовується установка *охолодження пелет*. Це охолодження необхідне для кондиціонування пелет [5]. Проте, при високій швидкості охолодження пелет, спостерігається утворення тріщин на їх поверхні пелет, які провокують крихкість продукту. Тому при охолодженні пелет підтримується температура, яка на 5°C більша, ніж температура навколишнього середовища. Такий темп охолодження забезпечує мінімальну конденсацію вологи на поверхні пелет та мінімізує їх крихкість. Додатковим чинником охолодження є фіксує дія лігніну, який при охолодженні склеює гранули в щільні циліндри.

Якість пелет істотно покращує використання очищення готових пелет від пилу, тому у деяких виробників після охолоджуючої установки, схема якої зображена на рис. 1.5, встановлюють системи видалення пилу.

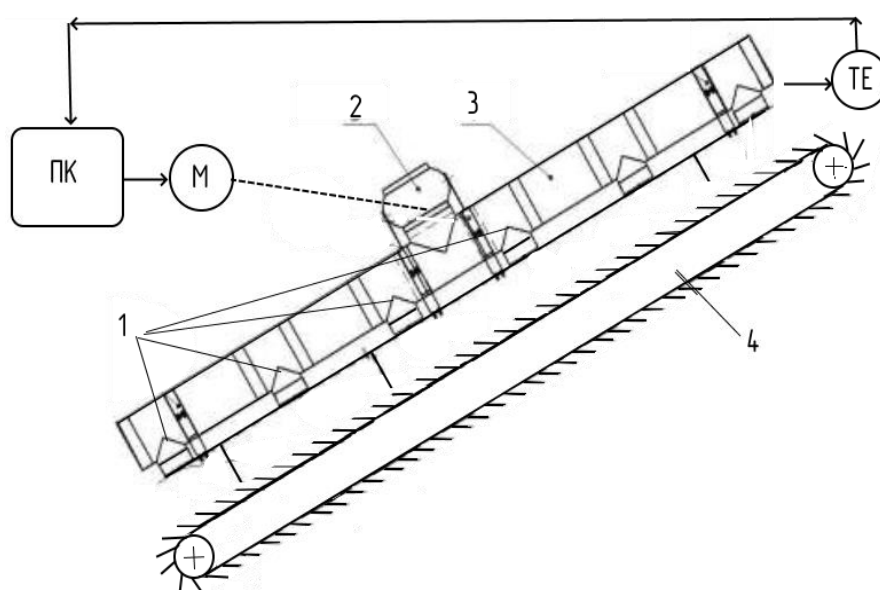


Рисунок 1.5 – Технологічна схема охолоджуючої установки: 1– патрубки обдуву; 2 – вентилятор; 3 – повітропровід; 4 – стрічковий конвеєр; ПК– пристрій керування; М –двигун вентилятора; ТЕ– давач температури.

Із схеми рис. 1.5 видно, що шар пелет, рухаючись стрічкою транспортера, охолоджується потоком повітря, що розподілений по довжині простору повітроп-

роводу. Швидкість охолодження та температура буде залежати від потужності вентилятора та швидкості його обертання. Регулювання швидкості обертання вентилятора узгоджується із температурою пелет, що надходять на охолодження.

1.3 Фінішні технологічні операції

Фінальним етапом виробництва пелет операції фасування та пакування. Ці операції забезпечують дозування продукції, завантаження її в тару, закупорку тари та маркування. На рис. 1.6 показана фасувальна станція, яка монтується на рамі, де розміщуються пристрої завантажування та дозування.

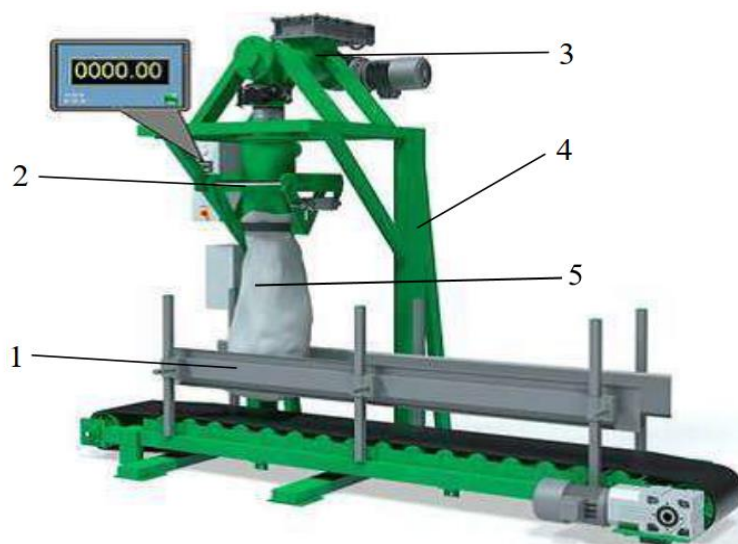


Рисунок 1.6 – Установа фасування: 1– стрічковий конвеєр; 2 пристрій дозування; 3 – пристрій завантаження; 4–рама; 5 – «біг– бег».

У пристрій завантаження продукт транспортером подається із бункеру готової продукції. При цьому на завантажувальному патрубку оператор зазлегідь підготовлює пустий мішок. На завантажувальному патрубку він безперервно зважується разом із мішком по мірі його наповнення. Потік пелет відсікається засувкою в кінці циклу дозування. Після закриття горловини затареного мішка, він опускається на транспортер і спрямовується на склад.

Оптимізація цього процесу відноситься до галузі робототехніки та досліджується відповідними методами і інструментами, тому може розглядатися у іншій роботі.

Дослідження раніше описаних процесів виробництва пелет є основним завданням цього дослідження. Тому подальші кроки цієї роботи спрямовуються на побудову математичних моделей, які зможуть забезпечити оптимальне керування процесами виробництва пелет у напрямку підвищення ефективності цих процесів.

2. ПОБУДОВА КОНТУРІВ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

2.1 Контур керування процесом подрібнення сировини

В механізмах подрібнення в основному застосовуються асинхронні реверсивні електроприводи з частотним та частотно-струмовим керуванням, керовані муфти і т. і. Електроприводи постійного струму використовуються обмежено, коли враховуються специфічні умови роботи.

Автоматизоване керування режимами дроблення вирішує наступні завдання:

- керування завантаженням матеріалу в дробарку;
- регулювання швидкості дроблення, з мінімуму витрат електроенергії;
- регулювання гранулометричного складу продуктів дроблення.

Продуктивність дробарки, в залежності від міцності та розмірів сировини, що підлягає дробленню, визначається пропускною здатністю установки або навантаженням двигуна дробарки. При дробленні міцних порід дерева кількість сировини, що подається в дробарку, повинно обмежуватися допустимим навантаженням двигуна приводу дробарки. У разі використання сировини малої міцності (солома, лузга), продуктивність дробарки обмежується її пропускною здатністю.

Тому керування завантаженням сировини в дробарку здійснюється залежно від навантаження двигуна і рівня матеріалу у бункері дробарки.

Підвищення ефективності процесу дроблення можна отримати, якщо керувати завантаженням сировини залежно від розмірів подрібненого матеріалу або по результатам вимірювань параметрів, що характеризують значення подрібненості дотично. Такими параметрами можуть бути, наприклад, значення амплітуд коливань корпусу дробарки [6]. Непряме вимірювання передбачає співставлення режимів дроблення із результатами вимірювання фракційного складу після закінчення процесу. Після таких дослідів складаються електронні таблиці, які використовуються контролером при обчисленнях необхідних впливів керування.

У випадку виробництва пелетів, коли продукти дроблення використовують-

ся для подальшого подрібнення, більш прийнятним критерієм керування є мінімізація розмірів продуктів дроблення при заданій продуктивності роботи дробарки. При такому критерії керування процесом дроблення можна отримувати сировину для пресування найменших розмірів, що знижує витрати на подрібнення.

Таким чином для організації процесу дроблення система керування повинна:

- контролювати мінімальний рівень продукту в бункері, з якого продукт надходить у дробарку;
- контролювати стан підшипників дробарок, що передбачає сигналізацію про перегрівання підшипників, вимірювання температури мастила;
- обчислювати кількість переробленої речовини за допомогою конвеєрних ваг, встановлених за дробарками великого дроблення та після проміжного бункера;
- контролювати розмір фракцій продукту дроблення.

Завдання регулювання дробарної установки передбачає стабілізацію рівня сировини у робочому просторі установки. У випадку перевищення заданого значення рівня, витрати потоку, що надходить, необхідно зменшити. Якщо вимірюваний рівень менше заданого значення – навпаки. Схеми автоматизації процесу дроблення повинні також забезпечувати певну технологічну послідовність пуску та зупинки установки та допоміжних механізмів.

Тоді алгоритми оптимізації процесу дроблення формуються в результаті реалізації наступних завдань:

- забезпечити мінімальне електроспоживання при довільних збуреннях маси, вологості, розміру та фізичних властивостей сировини при заданій продуктивності дробарної установки;
- максимізувати продуктивність дробарної установки при обмеженнях потужності споживання від системи живлення за умов довільного збурення маси, вологості, розміру та фізичних властивостей сировини.

Для побудови системи керування за сформульованими критеріями оптимізації необхідно розробити математичні модель процесу дроблення, що відображає фізичні та енергетичні складові процесу дроблення.

Відповідно до наведених міркувань за контрольовані параметри прийма-

ються струм асинхронного двигуна (АД) приводу дробарки, момент двигуна, активна потужність, коефіцієнт потужності.

Зрозуміло, що для кожного виду сировини, що використовується для виробництва пелет, може існувати значення продуктивності дробарки, при якій питома витрата електроенергії буде мінімальною. Відповідно, можна вибрати таку потужність АД, при якій будуть спостерігатися мінімальні втрати потужності. Проте, при такому підході враховуються не всі фактори, зокрема:

1. В залежності від типу використаної сировини змінюються її фізико-механічні властивості, що призводить до зміни значення оптимуму, який отримано при дослідження для інших видів.
2. Втрати на досягнення максимальної продуктивності мають інший характер змін, ніж питомі втрати на електроенергію.

Тому остаточне рішення по вибору критерію оптимізації може прийматися в результаті оцінки даних моделювання ОК.

2.2 Контури керування процесом сушіння сировини

При організації керування сушильним обладнанням до уваги приймаються наступні вимоги, які є визначають ефективність виробництва пелет [7]:

- «низькі питомі експлуатаційні витрати на сушіння біомаси;
- пожежобезпека;
- стабільності роботи незалежно від сезону;
- налаштування системи керування на роботу з сировиною різного походження та якості.

Відповідно до раніше розглянутих чинників сушіння сировини для пелет, будується технологічна схема з необхідними контурами керування процесом, які забезпечують виконання окремих технологічних завдань. На технологічній схемі рис. 2.1 зображені наступні виконавчі механізми:

- М1 – привод рівня бункеру теплогенератора; М2 – привод вивантаження золи;
- М3 – привод подачі повітря до топки; М4 – привод подачі повітря теплогенератора; М5 – привод рівня бункеру сушарки; М6 – привод барабану сушарки;

М7 – керування циклоном-аспіратором; М8 – конвеєр подачі палива;

М9 – конвеєр подачі сировини; М10 – відвід пилу повітряний;

М11 – шлюз відводу сушеного матеріалу; М12 – шлюз циклона аспірації.

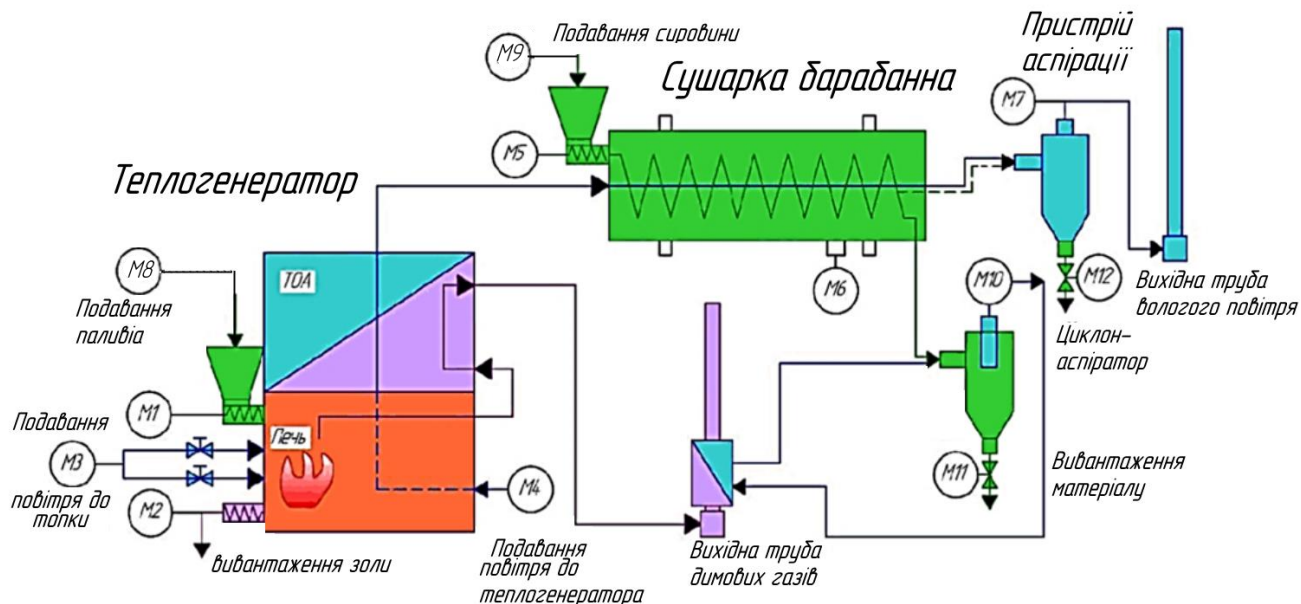


Рисунок 2.1 – Технологічна схема керування процесом сушіння сировини

Установка сушіння сировини визначає об'єм енергоспоживання всього процесу виготовлення пелет, відповідаючи параметрам потужності теплогенератора. Від цієї потужності залежить і час знаходження сировини в барабані сушарки. Конструкція і привод барабану повинна передбачати можливість корегування кута нахилу барабана. Це важливо, оскільки змінюючи кут нахилу барабана, можна змінювати час знаходження сировини в барабані сушіння. Цей час необхідно узгоджувати із фракційним складом та вологістю сировини, що надходить на сушіння. Новим кроком оптимізації керування вологістю сировини є регулювання швидкості просування сировини вздовж барабану, на противагу регулювання швидкості обертання барабана [8]. Цей крок ґрунтується на намаганнях збільшити пролітання частинок сировини у просторі барабана, в результаті чого покращується ефективність сушіння.

Завдання енергозбереження в процесі сушіння вирішуються з допомогою наступних функцій:

1) контроль температури зони спалювання;

- 2) контроль температури повітря, що на виходить із димової труби;
- 3) контроль температури сушильного агента;
- 4) регулювання витрат повітря, що надходить у топку;
- 5) регулювання витрат палива шляхом зміни обертів шнека подачі.

В результаті їх виконання оператором АРМ досягається оптимальний режим спалювання, що дає змогу економити певну кількість сировини, що використовується як паливо. Крім оптимізації режиму спалювання, процес сушіння передбачає моніторинг вологості сушильного агента та продукту сушіння. Регулювання цими параметрами здійснюється наступними контурами:

- привод шнекового живильника тирси на вході в барабан сушарки;
- привод витяжного вентилятора видалення випаровування;
- привод обертання сушарки;
- привод бункера тирси на виході з барабану сушарки

Конкретизуючи позиції керування об'єктом, можна виділити два головних канали керування процесом сушіння сировини:

- початкова вологість сировини на вході сушарки /кількість подачі сировини у бункер сушарки (регулювання витрат шнекового живильника);
- вологість матеріалу на виході сушарки/теплова енергія топкових газів

Складність побудови останнього контуру керування процесом сушіння пов'язана з тим, що результат сушіння (мінімізація вологості) залежить не тільки від температури (енергії) топкових газів, але й від системи вентиляції, яка видаляє надлишкову вологу із простору сушарки.

2.3 Контур керування процесом пресування пелет

Аналізуючи дослідження, що присвячені підвищенню якості пелет [9,10], можна констатувати, що більшість з них показує, залежність якості пелет від рівня керування операцій, що виконуються перед пресуванням. Це пов'язано з необхідністю забезпечення кращих результатів пресування. Проте, такі параметри, як: тертя в матриці; поверхня та матеріал, з якого виготовлені матриця та прес; довжина та діаметр отворів у матриці; товщина матеріалу сировини; тиск вальців на

поверхню матриці; швидкість, з якою рухається прес-валок –також суттєво впливають на якість пелет.

Зв'язок між основними параметрами процесу пресування описується наступним співвідношенням [10]:

$$R = \mu * P * d * l < |F| \quad (2.1)$$

де: R – тертя ; μ – коефіцієнт тертя; P – тиск, який чиниться на поверхню отвору в матриці ; d - діаметр отвору в матриці; l - довжина отвору в матриці; F - сила пресування.

Співвідношення (2.1) відображує умови утворення пелет $R < |F|$. З нього можна оцінити значення обертального моменту, який необхідно розвинути приводу щоб досягти необхідного тиску на поверхні матриці. Враховуючи взаємозв'язок обертального моменту двигуна та його струму [11], деякі оператори процесу пресування обмежуються моніторингом значення струму навантаження приводу вальців пресу. Це дає змогу запобігти аварійним ситуаціям, а також зменшити знос матеріалів матриці та вальців пресування. Відповідно, оптимізація режимів пресування пелет зводяться до регулювання струмів на базі експертних даних.

Процес пресування пелет є високоенергетичним процесом, при цьому його енерговитрати, в залежності від матеріалу пресування, можуть коливатися на порядок. Це обумовлює необхідність заходів по точній стабілізації тиску на вальцях пресування, тобто стабілізації моменту та швидкості обертання приводу вальців в умовах дії збурень параметрів потоку сировини, що пресується.

Якщо уявити, що параметри потоку пресування не змінюються у часі, то жорстких вимог до регулювання зусиль пресування не ставиться. Сталість режиму оцінюється по струмам навантаження діючого приводу вальців.

Іншим збурюючим фактором процесу пресування є неоднорідність потоку сировини, що надходить до бункеру пресування. Він викликає зміни шару матеріалу в зазорі пресування, як наслідок – зміни щільності пелет. Необхідність регулювання швидкості руху матеріалу, що спрямовується для пресування показана при моделюванні процесів виготовлення пелет у середовищі Solid Works Flow Simulation [10].

Стабілізація умов пресування здійснюється шляхом регулювання рівня сировини у бункері пресування. Рівень, бункеру H залежить від витрат вхідного q_1 та вихідного потоків q_2 і описується наступним співвідношенням:

$$\frac{dH}{dt} = q_1 - q_2 \quad (2.2)$$

де H – рівень сировини у бункері; q_1 – вхідні витрати сировини, що надходить до бункеру; q_2 – витрата пелет, що надходять із бункеру до конвеєру.

Оскільки зв'язок рівня сировини у бункері H є нелінійною функцією від витрат q_1, q_2 , то для побудови необхідних керуючих засобів стабілізації рівня бункеру необхідна лінеаризація передатної функції досліджуваного контуру керування. Умовою лінеаризації передатної функції цього ОК є невеликі відхилення параметрів передатної функції від обраної робочої точки режиму пресування. Таким чином, зауваження щодо необхідності стабілізації параметрів сировини, які формуються на попередніх етапах виробництва пелет, є чинниками, які забезпечують стійкість процесу.

Регулювання витрат зазвичай здійснюється за рахунок керування швидкістю обертання шнеку завантаження пресу з використанням спеціальних приводів. При цьому зниження енергоспоживання (його оптимізація) можливе в результаті застосування регульованого електроприводу. Необхідна частота обертання, встановлюється за допомогою регулятора в залежності від режиму роботи. Якщо зміна швидкості обертання шнеку завантаження пресу регулюється відповідно до зміни завантаженості конвеєра, то статичне навантаження приводу буде відповідати його розрахунковим параметрам енергоспоживання.

Спираючись на дослідження динамічних показників та енергоспоживання роботи приводу у різних технологічних режимах його роботи [12], можна стверджувати про ефективність та доцільність застосування частотно-регульованого асинхронного електроприводу. Використання такого електроприводу дозволяє забезпечити високі динамічні показники, а також стабілізувати навантаження на обертання шнеку та пресувальне обладнання.

Часові співвідношення регулювання рівня сировини в бункері визначаються динамікою згаданих приводів і можуть бути оцінені на етапі ідентифікації параметрів моделі ОК.

2.4 Контур керування охолодженням пелет

Процес охолодження пелет проходить в результаті руху охолоджуючого повітря повз шар матеріалу на конвеєрі. На процес охолодження гранул впливають такі параметри:

- температура повітря, що використовується для охолодження;
- вміст домішків (лігніну) в пелетах;
- вологість повітря, що використовується для охолодження.

При розробці алгоритмів керування процесом охолодження пелет приймають до уваги наступні параметри:

- витрата охолоджуючого повітря (для вибору потужності вентилятора);
- різниця температур пелет і охолоджуючого повітря (не менше 5°C);
- значення витрат пелет, що надходить до охолодження (визначається продуктивністю та змінюється у часі).

Для ОК, що розглядається, використовується протиточний охолоджувач, який характеризуються меншими витратами повітря у порівнянні з іншими типами охолоджувачів [13]. Недоліком таких охолоджувачів є можливості конденсації вологи із охолоджуючого повітря, проте ці можливості враховуються при побудові конструкції охолоджувача.

У загальному вигляді процес теплообміну, що відбувається при охолодженні пелет атмосферним повітрям, можна описати наступним диференціальним рівнянням:

$$-\frac{m}{S} \frac{dT}{d\tau} C_{pel} = \alpha(T - t_{pov}) \quad (2.3)$$

де m/S – маса пелет, що припадає на 1 м² теплообміну, кг/м²;

$dT/d\tau$ – швидкість зміни температури пелет в часі (τ);

T – температура пелет, °C;

$t_{пов}$ – температура зовнішнього повітря, °С;

C_{pel} – теплоємність пелет, Дж/кг °С;

α – коефіцієнт теплопровідності від пелет до циркулюючого повітря, Дж/м² °С.

Неважко показати, що диференційному рівнянню (2.3) відповідає передатна функція аперіодичної ланки із сталою часу, яка залежить від потужності вентилятора, об'єму простору теплообміну та швидкості руху стрічки конвеєра.

На рис. 2.2 показана схема зміни теплових потоків, що відбуваються при охолодженні пелет.

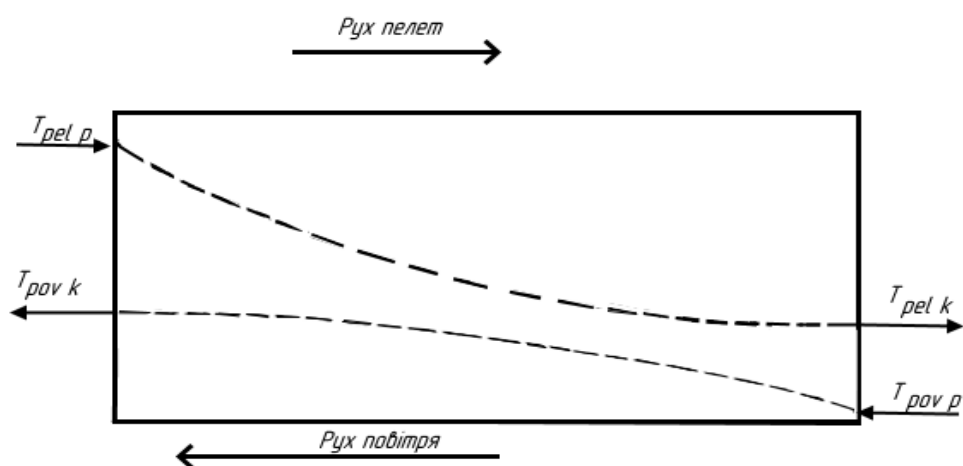


Рисунок 2.2 – Схема теплових потоків: $T_{pel p}$ – температура пелет початкова;

$T_{pel k}$ – температура пелет кінцева; $T_{пов p}$ – температура повітря початкова;

$T_{пов k}$ – температура повітря кінцева

По результатам оцінки часу та швидкості охолодження пелет, а також відомої площі їх охолодження, можна налаштувати необхідну швидкість переміщення стрічки конвеєра з охолоджуваними пелетами, а також корегувати швидкість та витрати потоку охолоджуючого повітря..

Таким чином, завдання керування процесом охолодження пелет формулюється як забезпечення температури вихідного потоку пелет з різницею температур потоку пелет та охолоджуючого повітря величиною 5°С при мінімумі енергетичних витрат.

3. ПОБУДОВА МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА ПЕЛЕТ

3.1 Модель керування процесом подрібнення сировини

Відповідно до раніше сформульованих завдань керування процесом подрібнення сировини, складовими цього процесу є:

- керування завантаженням матеріалу в дробарку, яке передбачає утримання заданого рівня в бункері, що забезпечує сталість процесу подрібнення;
- регулювання швидкості дроблення, яке мінімізує збурення сил дроблення, при цьому вирішується завдання зменшення витрат електроенергії;
- регулювання розміру шматочків продуктів дроблення, яке складає головну мету керування, тобто визначає якість продукту.

Перелічені завдання керування вирішуються на базі різних типів приводу, тому моделі регулювання рівня та гранулометричного складу сировини пресування мають різні вхідні та вихідні параметри.

Для отримання передатної функції процесу завантаження матеріалу в дробарку скористаймося рівнянням матеріального балансу потоків бункеру:

$$\frac{dM}{dt} = m_n - m_{dr} \quad (3.1)$$

де M – кількість матеріалу в дробарці; m_n – кількість матеріалу, що надходить у дробарку; m_{dr} – кількість матеріалу, що залишає дробарку.

Оскільки кількість матеріалу, що залишає дробарку залежить від кількості матеріалу у дробарці, то можна записати:

$$\frac{dM}{dt} = m_n - f(M) \quad (3.2)$$

Рахуючи, що відхилення від робочої точки режиму мають невеликі значення, то можна рівняння (3.2) лінеаризувати у відхиленнях Δ навколо вибраної робочої точки режиму наступним чином :

$$\frac{d\Delta M}{dt} + k_M \Delta M = \Delta m_n \quad (3.2)$$

де k_M – коефіцієнт перетворення ОК.

Тоді лінеаризована передатна функція процесу завантаження буде мати вигляд:

$$W(s) = \frac{k_M}{T_M s + 1} \quad (3.4)$$

тобто представляється аперіодичною ланкою із сталою часу T_M . Стала часу зазвичай отримується із експериментальних даних.

Враховуючи, що керування завантаженням матеріалу у дробарку не вимагає дуже точного керування значенням рівня матеріалу, то для реалізації регулятора можна використати релейний регулятор (PP).

Відповідна схема моделювання керуванням завантаження матеріалу в дробарку буде мати вигляд, що зображений на рис. 3.1.

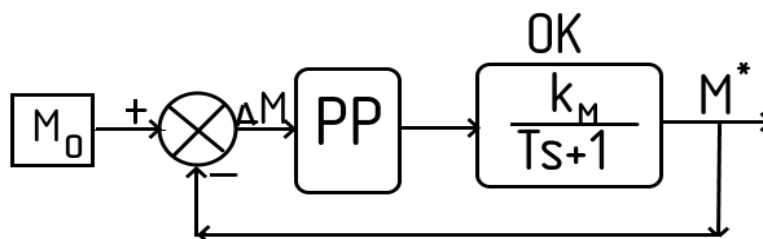


Рисунок 3.1– Схема моделювання регулятора завантаження

Вихідний сигнал релейного елемента залежить від значення відхилення ε від положення рівноваги $z = F(\varepsilon)$ (рис. 3.2а). На рис. 3.2б показана схема реалізації цього елемента в середовищі MATLAB.

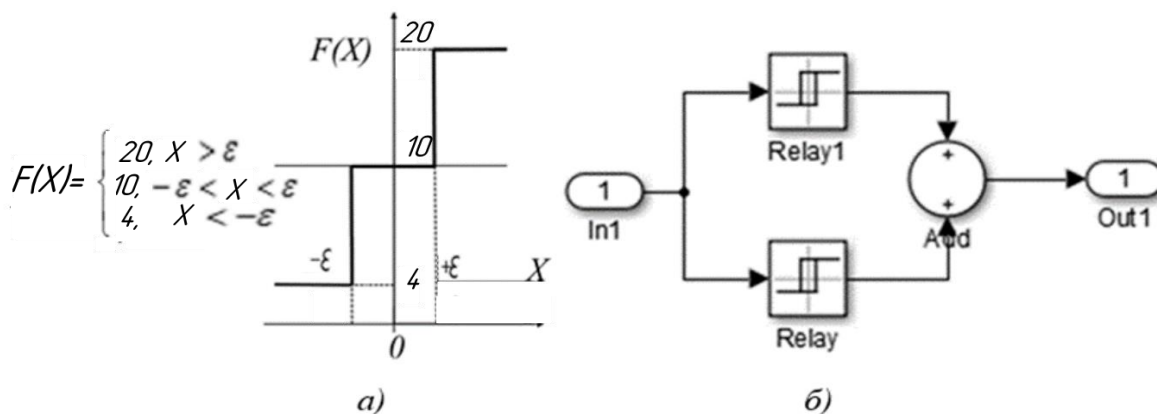


Рисунок 3.2 – Характеристика релейного елемента (а); схема реалізації (б)

Схема моделювання 3-х позиційного реле утворюється при використанні комбінації двох 2-х позиційних релейних елементів із відповідними рівнями їх вимкнення та увімкнення.

Вихідний сигнал РР реалізує три режими роботи дозуючого конвеєра, що подає сировину: наповнення бункеру– значення вихідного сигналу {20}; нормальний режим – значення вихідного сигналу {10}; та вимкнення приводу конвеєра, коли рівень сировини досяг максимального значення –вихідний сигнал {4}. Величини сигналу 4–20 мА відповідають значенням завдання швидкості обертання двигуна конвеєра, яким керує частотний перетворювач (ЧП). Точність регулювання рівня матеріалу задається значенням відхилення ϵ від положення рівноваги, яке підбирається при налаштуванні режимів дробарки.

Беручи до уваги залежність розмірів подрібнених шматків сировини від режимів дроблення, позначимо параметри, що визначають процес дроблення:

$\omega_p(t)$ – частота обертання валу дробарки;

$M(t)$ – момент на валу дробарки;

$I_p(t)$ – струм ротора електродвигуна приводу дробарки, що характеризує споживану потужність.

Завданням регулювання є забезпечення швидкості дроблення, на якій мінімізується дія збурюючих сил дроблення. Завдання оптимізації режиму дроблення формулюється, як завдання зменшення витрат електроенергії на умовну одиницю виробленої продукції. При цьому оцінюються потужність та струм, що споживається обладнанням при виробництві умовної одиниці виробленої продукції. Розгляд закономірностей процесу дроблення дає можливість представити ОК у вигляді аперіодичної ланки з запізненням [14]:

$$W(s) = k_{dr} * \exp(-\tau * s) / (T_{dr}s + 1) \quad (3.5)$$

де k_{dr} – коефіцієнт передачі моделі дробарки;

T_{dr} – стала часу дробарки;

$$T_{dr} = V/R;$$

де V – робочий об'єм дробарки; R – продуктивність дробарки;

τ – транспортне запізнювання.

Враховуючи значення часу транспортного запізнення для процесу подрібнення деревини, передатну функцію (3.5) можна спростити до вигляду аперіодичної ланки.

Якщо позначити P – потужність приводу дробарки, а Q – кількість сировини у дробарці, то коефіцієнт передачі дробарки k_{dr} визначиться співвідношенням:

$$k_{dr} = \frac{\Delta P * Q_0}{P_0 * \Delta Q} \quad (3.6)$$

Для побудови моделі мехатронного вузла, яким є поєднання механічної частини дробарки та електроприводу на базі асинхронного двигуна (АД), необхідно врахувати їх динамічні параметри та визначити передатні функції електроприводу.

Враховуючи, що завдання регулятора швидкості полягає у стабілізації швидкості обертання дробарки в умовах зміни обертаючого моменту приводу, то у схемі регулятора доцільно використати перетворювач частоти (ЧП). Такий ЧП дозволяє регулювати швидкість без втрати обертаючого моменту АД та підвищити ефективність керування [15]. Це забезпечується поліпшенням статичної та динамічної характеристики електропривода, що важливо саме в умовах зміни обертаючого моменту M .

Схема моделі керування продуктивністю дробарки представлена на рис. 3.3.

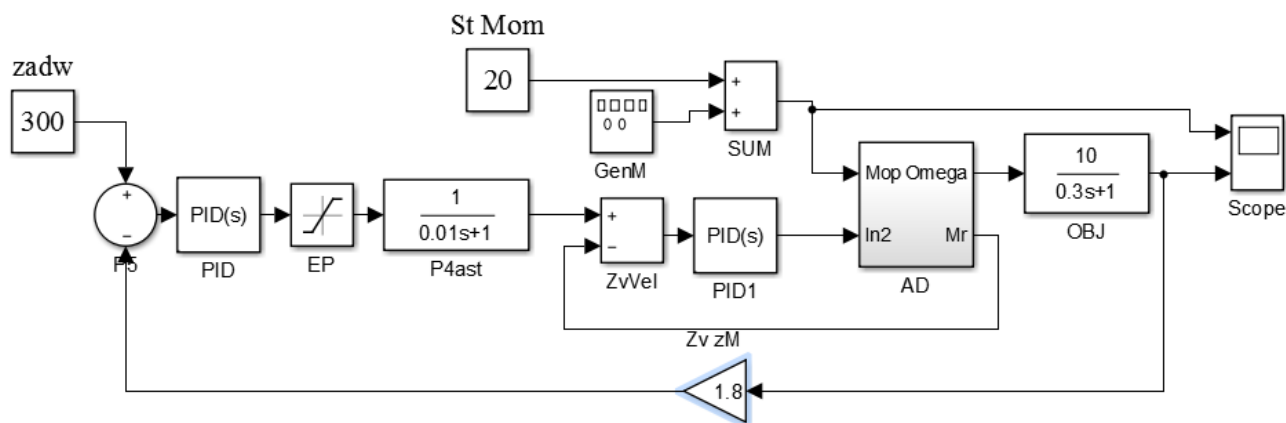


Рисунок 3.3 – Схема регулювання продуктивності дробарки

До складу схеми входить ланка об'єкту керування(ОБЈ) – дробарка, асинхронний двигун (AD), ланка ЧП , симулятор збурень моменту та два регулятори. Модель приводу будується на основі лінеаризованої моделі АД [16]. Ця модель представлена електричною та механічними частинами. В моделі приводу через значення моменту інерції дробарки враховується стала часу механічної частини приводу.

Оскільки продуктивність дробарки визначається її швидкістю обертання, то головний (зовнішній) контур регулювання продуктивності системи керування стабілізує задану швидкість обертання дробарки. Для мінімізації дії збурень моменту обертання дробарки використовується внутрішній, більш динамічний контур, від'ємний зворотній зв'язок якого під'єднаний до сигналу значення моменту двигуна (струму).

На рис. 3.4 показані осцилограми зміни сигналів та швидкості обертання дробарки (б) у часі, коли регулятори системи відключені.

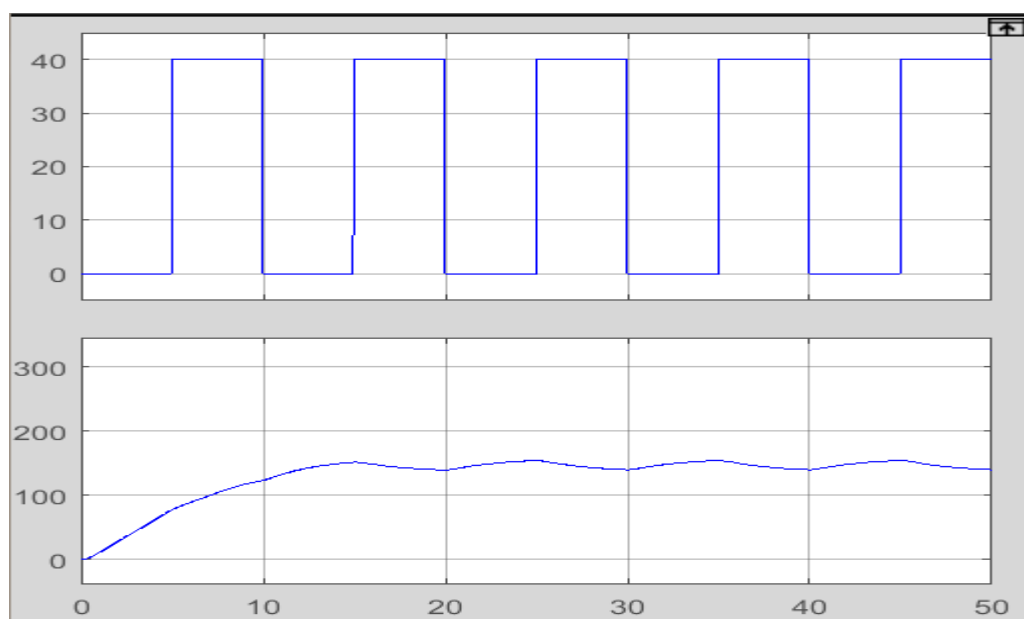


Рисунок 3.4 – Осцилограми зміни сигналів: а) – зміна механічного навантаження
б) – кутова швидкість обертання дробарки

Для оптимізації процесу дроблення необхідно налаштувати параметри регуляторів, відповідно до вибраних критеріїв – швидкодія, точність регулювання, мінімізація дії збурень моменту опору при дробленні.

Відповідно до методу налаштувань регуляторів Зіглера -Нікольса, що задіяний у середовищі MATLAB, скористаймося інтерфейсом користувача MATLAB Simulink, що показаний на рис.3.5.

Після встановлення отриманих параметрів налаштувань регулятора до схеми моделювання рис. 3.3, отримано осцилограми зміни швидкості у часі, які приведені на рис. 3.5.

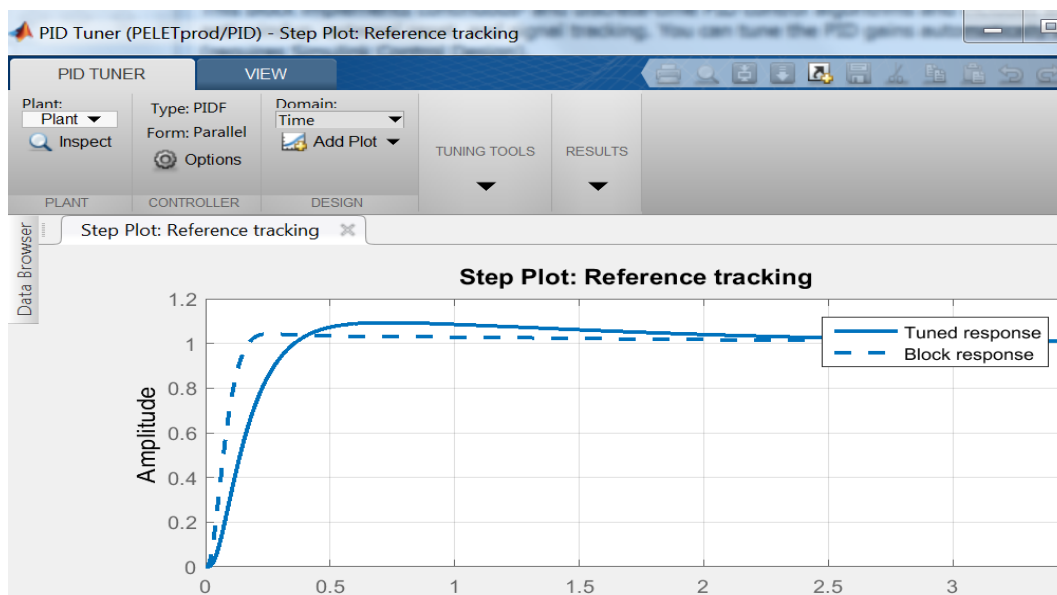


Рисунок 3.5 – Інтерфейс налаштувань ПІД регулятора в середовищі MATLAB

Із порівнянь значень коливань швидкості обертання дробарки, які показані на рис. 3.3 та рис. 3.6, видно, що завдяки використанню внутрішнього контуру регулювання моменту(струму) вдалося суттєво покращити стабільність процесу дроблення, відповідно стабілізувати швидкість обертання та продуктивність дробарки.

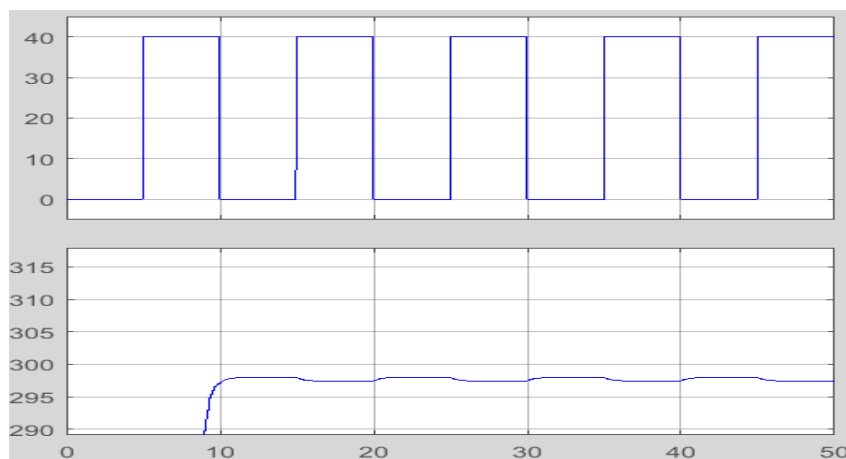


Рисунок 3.6 – Осцилограми зміни сигналів: а) – зміна механічного навантаження
б) – кутова швидкість обертання дробарки

3. 2 Модель керування процесом сушіння сировини

Відповідно до технологічної схеми процесу сушіння сировини (рис. 7), спрощену схему для побудови моделі процесу сушіння можна представити у вигляді, що показано на рис. 3.7.

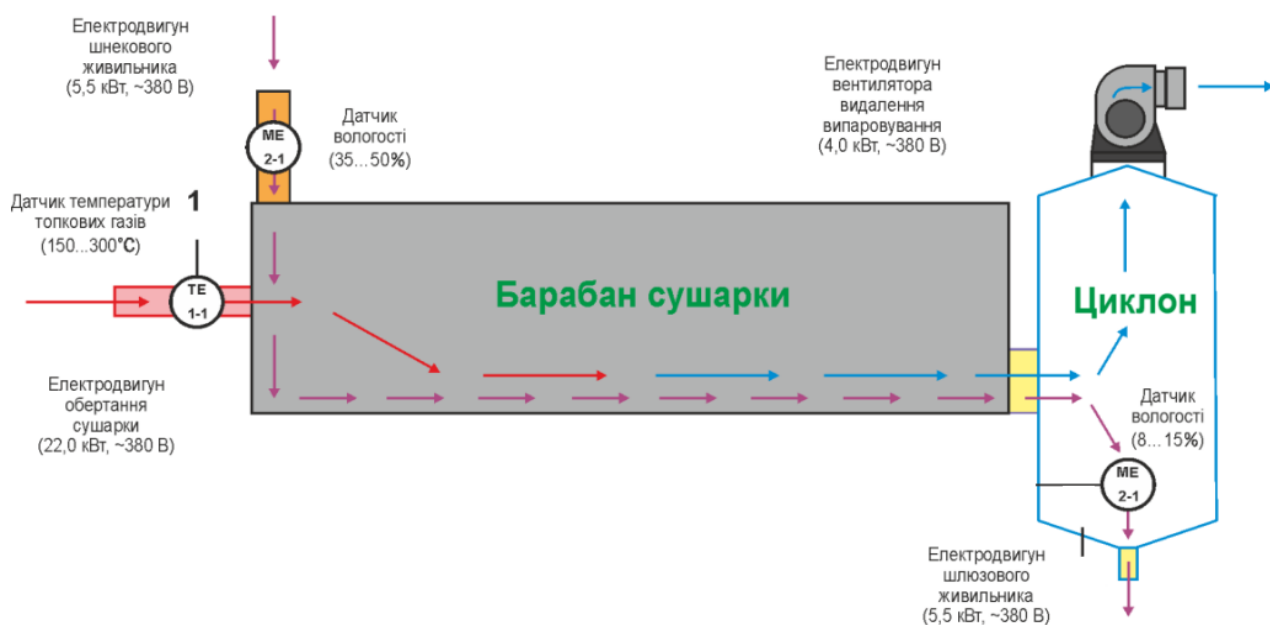


Рисунок 3.7 – Схема керування процесом сушіння сировини пелет

По результатам вимірювання значень температури топкових газів і вологості повітря на вході і виході барабану сушарки, формуються керуючі впливи, які забезпечують задану вологість сировини на виході сушарки. Саме вологість сировини є показником ефективності процесу сушіння [17]. У цьому процесі використовується електропривод шнекового живильника сировини на вході в барабан сушарки, електропривод шлюзового живильника та обертання сушарки. Проте, основними керуючими впливами на обладнання процесу сушіння сировини є сигнали для приводу вентилятора видалення вологи (витяжний вентилятор), та сигнали керування подачею тепла до барабану сушарки.

Оскільки вологість сировини пелет на виході сушарки залежить від температури топкових газів та вологості у камері сушіння, то регулювання доцільно здій-

снювати за двома контурами: температури та вологості. Значення цих параметрів задаються оператором процесу та підтримуються завдяки використанню засувки, положення якої визначає витрати сушильного агента. Положення засувки регулюється засобами електроприводу засувки, в результаті переміщення якої досягаються необхідні значення температури.

Волога, що випаровується із сировини, видаляється із циклону (рис. 3.7) вентилятором.

Збуреннями до сталих значень вологості сировини для пелет є зміна витрат шнекового живильника та зміна вологості сировини на вході сушарки.

Розгляд різних систем автоматизації процесів сушіння показує, що зазвичай метою керування цим процесом є регулювання температури агента сушіння на виході. Проте, зважаючи на наявність коливань вологості сировини пелет, відповідно, і вологості висушеного продукту, є доцільним будувати *основний* канал регулювання по структурі «температура газів (вхід) / вологість продукту(вихід)». Саме наявність на ринку датчиків вологи, як сушильного агента, так і продукту, дає змогу реалізувати згаданий канал без особливих конструктивних ускладнень. В той же час, зв'язок вологості та температури процесу сушіння вимагає відповідної корекції температури сушильного агента (повітря). Таким чином температура повітря у сушильному барабані регулюється зміною витрат теплового агента, що подається у сушарку, а вологість сировини – зміною витрат повітря, що циркулює в циклоні. Для оцінки можливостей пов'язаного керування температурою та вологістю сушарки розроблена модель, структурна схема якої зображена на рис.3.8.

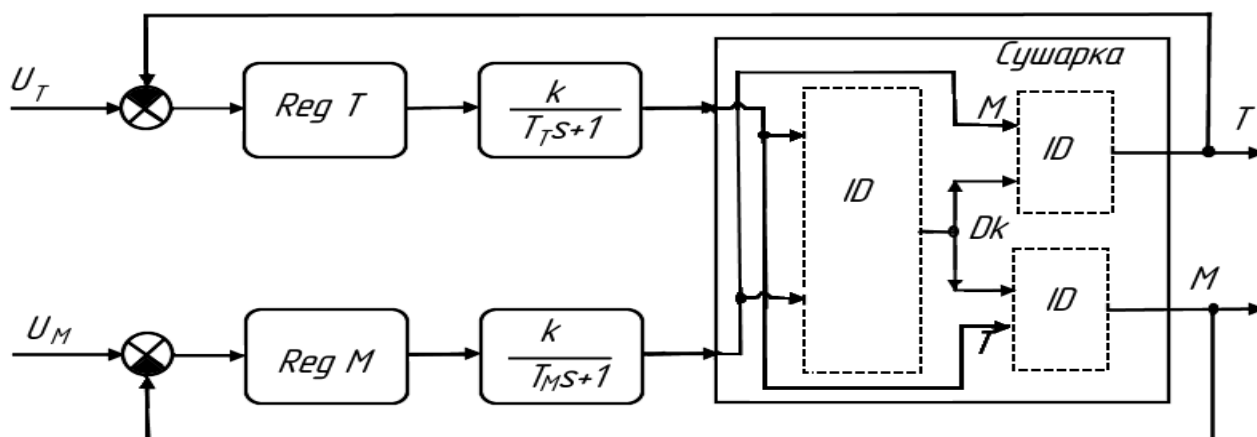


Рисунок 3.8 – Структурна схема моделювання процесу сушіння

Дослідження процесів сушіння базується на уявленні ОК аперіодичною ланкою першого порядку [17], що підтверджується багатьма дослідженнями. Проте, для побудови коректної моделі каналу регулювання «температура газів / вологість продукту» необхідно враховувати абсолютний вміст води в об'ємі агенту сушіння. Взаємозв'язок параметрів, що визначають тепловологісний стан повітря: відносної вологості, температури, ентальпії, вологовмісту— відображується *id*-діаграмою вологовмісту та вологого повітря [18].

На базі структурної схеми моделювання процесу сушіння та даних *id*-діаграми, яка наведена у Додатку А, можна побудувати схему моделі у середовищі MATLAB Simulink, яка зображена на рис. 3.9.

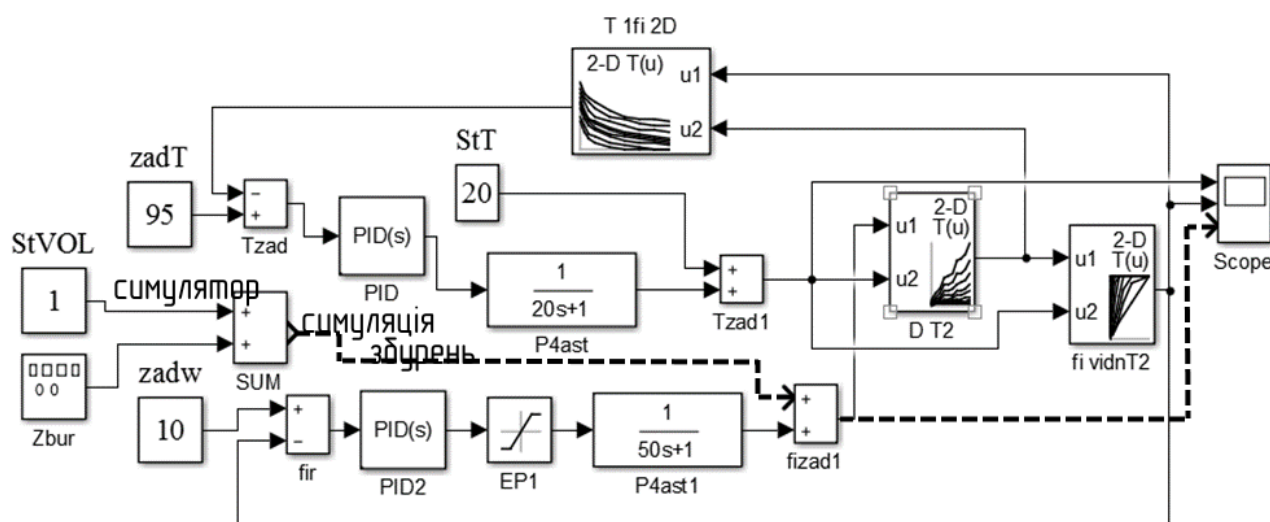


Рисунок 3.9 – Схема моделювання у середовищі MATLAB Simulink

Введення даних *id*-діаграм в поле моделі здійснюється з допомогою «Look-Up Table 2D» середовища MATLAB Simulink. Сутність *id*-діаграм полягає в тому, що кожному значенню температури повітря в діапазоні 0 – 100°C та абсолютного вологовмісту в його об'ємі для значень 1 – 583 г/кг відповідає значення відносної вологості 0 – 100%. В той же час кожному значенню температури повітря та його вологості в *id*-діаграмі знаходиться відповідне значення вологовмісту. Із таблиць, що показані на рис. 18, видно що вони будуються за вузловим принципом. Завдяки опціям MATLAB Simulink дані, що не попадають у вузол таблиці «Look - Up Table 2D» можуть бути обчислені з використанням операцій інтерполяції та екст-

раполяції. Це дає змогу в процесі моделювання отримувати значення температури та вологовмісту, які не вносилися до таблиці Look - Up Table 2D.

Таким чином з таблиці моделі «D T2» по значенням температури T та відносної вологості ϕ обчислюється значення вологовмісту повітря сушіння D .

Оскільки при видаленні випаруваної вологи її вологовміст у повітрі змінюється, то виникає необхідність обчислень результуючої відносної вологості з допомогою таблиці « f_i відnT2». Зміна вологовмісту повітря корегує температуру агенту сушіння. Тому вихідна температура, яка вимірюється датчиком температури, в моделі обчислюється з використанням таблиці «T1fi2».

ϕ %	
T °C	
10	0
20	1
30	2
40	4
50	7
60	12
70	18
80	27
90	40.3
100	50

Dk	
T °C	
10	3
20	3
30	3
40	3
50	1.7
60	0
70	0
80	0.3
90	0.2
100	0

ϕ	Dk	1	2	4	6	8	10	20	40	70
1		55.6	70.9	87.8	98.7	100	110	120	130	140
3		34.3	47.3	61.7	70.7	77.5	82.9	100	110	120
6		22.4	31.5	47.3	55.4	61.5	66.4	82.5	100	110
10		14.2	25.4	37.5	45.1	50.8	55.3	70.2	86.4	100
20		3.99	14.2	25.3	32.3	37.4	41.5	55	69.5	81.9
30		0	8.13	18.7	25.3	30.1	34	46.8	60.4	72.1
40		0	4	14.1	20.5	25.2	29	41.2	54.3	65.5
50		0	0.83	10.7	16.9	21.5	25.1	37	49.8	60.5
60		0	0	8.1	14.1	18.6	22.1	33.7	46.2	56.6

температура $T=f(D,\phi)$

Рисунок 3.10 – Таблиці параметрів іd-діаграми, яка визначає стан повітря

Налаштування таблиць Look - Up Table 2D здійснюється по схемі, що наведена на рис. 3.11 – задаються вхідні змінні і перевіряється вихідне значення таблиці.

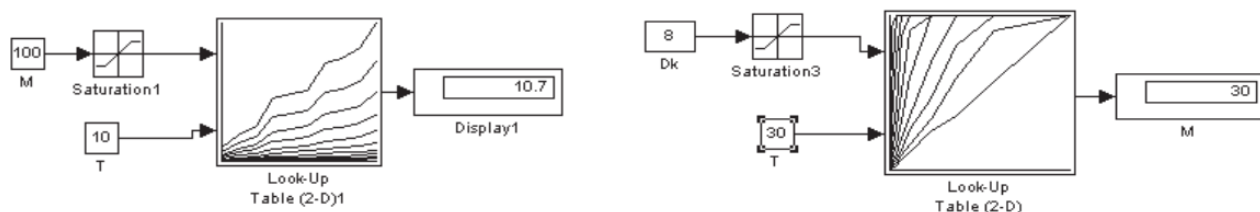


Рисунок 3.11 – Схема налаштувань таблиці Look - Up Table 2D

Регулювання процесів сушіння сировини здійснюється шляхом зміни положення засувок випаруваної вологи та теплого повітря, в результаті чого досягається заданий оператором рівень вологості та температура сушіння.

Аналіз процесів регулювання процесів сушіння деревини [19, 20] дозволив ідентифікувати сталі часу передатних функцій ланок ОК та ланок електроприводу засувок. Використовуючи експериментально отримані значення сталих часу, отримані перехідні функції ОК по каналам температури та вологості. Їх візуалізація показана на рис. 3.12.

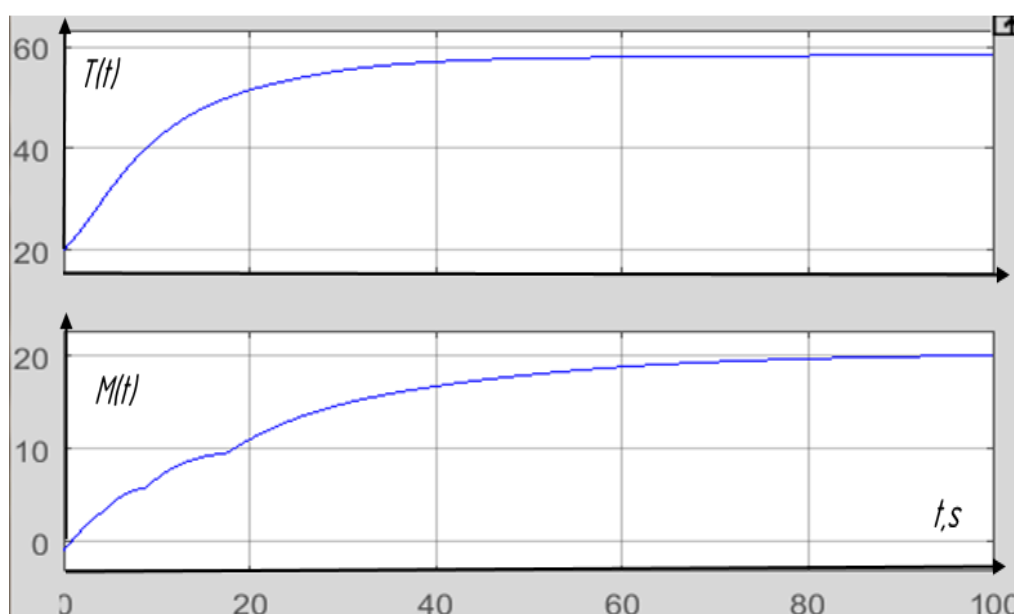


Рисунок 3.12– Перехідна характеристика каналу температура / вологість продукту

Отримана характеристика стійка, про це свідчить монотонний характер перехідного процесу. Проте, при замиканні зворотнього зв'язку вихідні значення параметрів не досягають заданого рівня. Налаштування регуляторів процесу сушіння по методу Зіглера-Нікольса, як видно із рис. 3.13, дозволило отримати кращі показники регулювання– в обох каналах зменшився час регулювання та підвищилася точність регулювання до 2%.

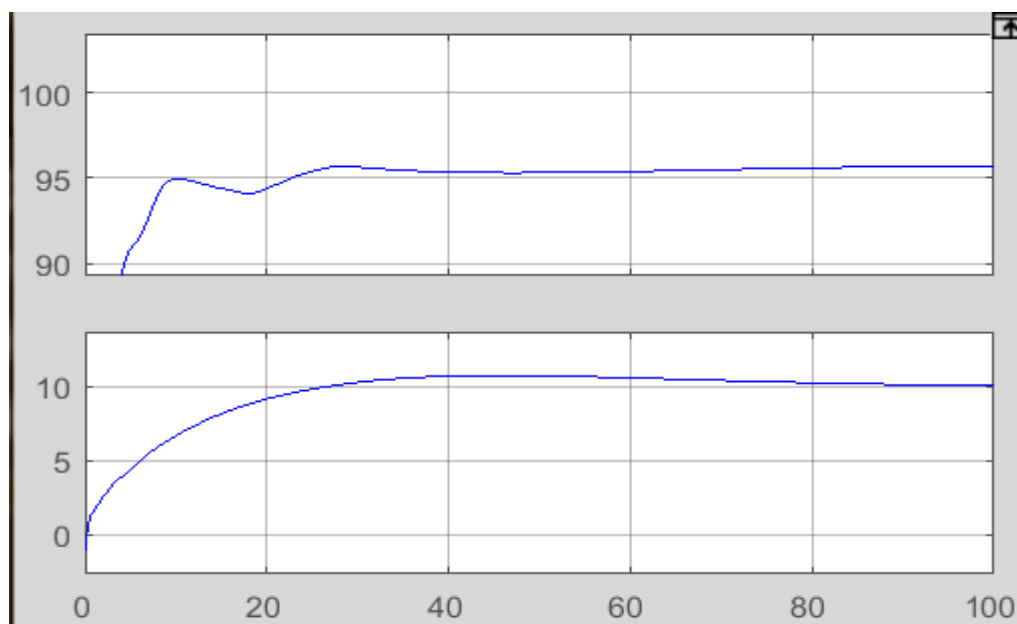


Рисунок 3.13 – Перехідна характеристика з налаштованим регулятором.

Наступним кроком перевірки ефективності регулятора є оцінка ступеня пригнічення збурень. В нашому випадку такими збуреннями виступають зміни вологості сировини, що надходить у сушарку. Для імітації збурень в моделі (рис.3.9) використовувався генератор імпульсів, який змінював значення вологості у часі.

Мінімізація впливу збурень вологості ілюструється осцилограмою, що зображена на рис. 3.14.

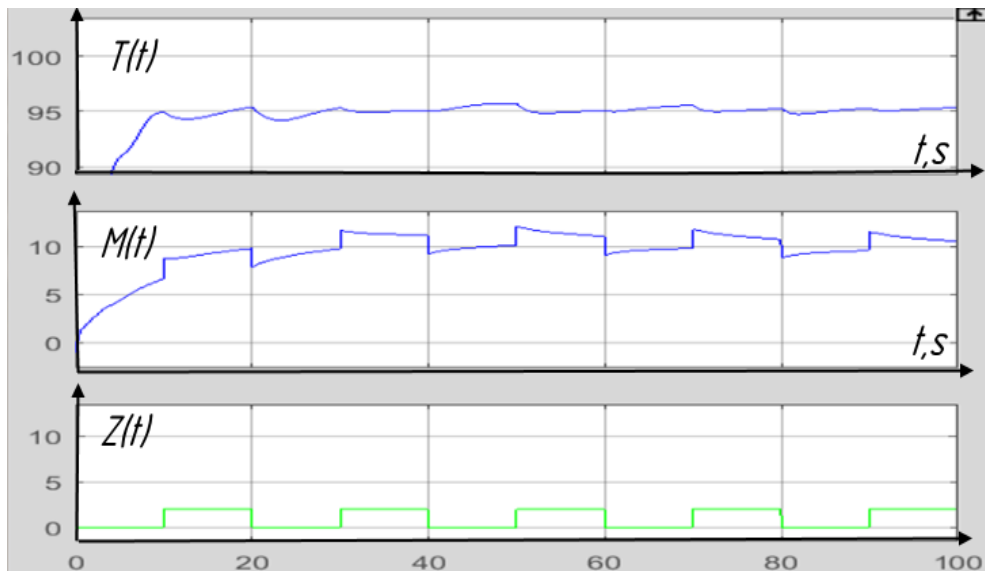


Рисунок 3.14 – Осцилограми мінімізації збурень вологості сировини

При зміні значення збурень 20% отримано стабілізацію рівня вологості на рівні 5%. Отримані показники стабілізації вологості дозволяють запропонувати ПІ регулятор для керування процесами сушіння при виробництві пелет.

3.3 Модель керування процесом пресування пелет

У розділі 2 цієї роботи, відповідно до описаних факторів, що впливають на якість пелет, визначені контури керування, які необхідні в процесі пресування пелет. Цими контурами є:

- привод обертання вальців преса;
- дозування витрат сировини, яке реалізується керуванням рівнем у бункері;
- регулювання температури матриці пресування.

Із переліку параметрів процесу пресування (табл. 1.1) можна побачити, що визначальним параметром процесу є тиск пресування, який залежить від моменту та швидкості обертання валу пресу. Побудова моделі цього контуру базується на співвідношеннях, які аналогічні опису функціонування контуру керування продуктивністю дробарки (8), (9) та схеми моделювання, що зображена на рис. 11. Як і у випадку потрібної потужності (моменту) дроблення, так і для здійснення проце-

су пресування, необхідно забезпечити певні зусилля пресування. Ці зусилля отримуються завдяки обертальному моменту асинхронного двигуна, на базі якого побудований привод вальців. Необхідність керування згаданим параметром витікає із за збурень товщини похідного шару сировини, яка надійшла на пресування. Як у процесі дроблення, так і у процесі пресування пелет, що розглядається, умовою забезпечення якості пресування пелет є стабілізація обертального моменту приводу вальців. Тому у схемі моделювання (рис. 3.3), яка є типовою для стабілізації моменту приводу, завдяки використанню двох контурів керування, стабілізується споживаний струм, який визначає обертаючий момент, та швидкість обертання. Ці контури утворюються завдяки використанню необхідних давачів та від'ємного зворотнього зв'язку по сигналам від цих давачів, що відображають стан ОК. Відмінність регуляторів процесу дроблення та пресування полягає у конструктивно-технологічних параметрах обладнання, засобах автоматизації, що формують контури керування та сталі часу, які залежать не тільки від параметрів обладнання, але й від режимів виробництва продукту.

Зміна механічного навантаження, яка супроводжує процес пресування, відбувається не тільки з причин коливання фізико-механічних параметрів сировини після дробарки та сушіння, але й при неточному дозуванні сировини при роботі шнека завантаження пресу.

Побудова регулятора дозування сипчастої сировини ґрунтується на стабілізації *рівня* бункеру завантаження, що описується рівнянням (2.2) і реалізується аналогічно схеми регулятора завантаження бункеру [21]. Сталі часу моделі та коефіцієнти налаштувань такого регулятора (рис. 3.1) можуть бути отримані шляхом розрахунків і налаштовуються по результатам експериментальних досліджень.

Нетиповим контуром керування процесом пресування є використання контуру керування температурою матриці пресування. Це, як зазначалося раніше, необхідно для забезпечення якості пелет [22] та забезпечення пожежної безпеки. Особливість роботи цього контуру полягає у дотичному керуванні температурою матриці пресування за рахунок зміни швидкості обертання вальців матриці.

Схема моделювання регулятора температурою матриці пресування зображена на рис. 3.15.

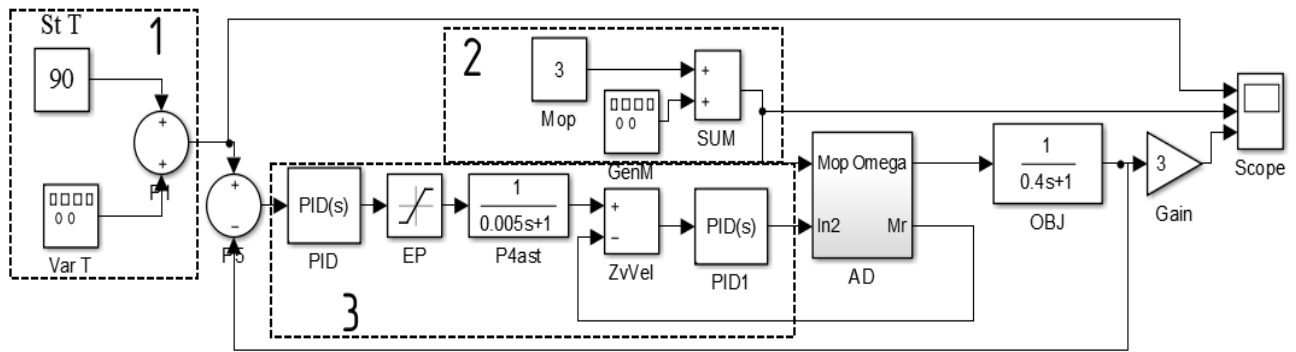


Рисунок 3.15 – Схема регулювання процесу пресування пелет

Об'єкт керування у схемі представлений ланкою (OBJ) – прес, вальці якого обертаються з допомогою асинхронного двигуна (AD). Цей двигун керується блоком приводу 3 (рис. 3.15), в якому задіяний ЧП. Генерація збурень моменту здійснюється симулятором 2, а імітація змін температури проводиться симулятором 1. два регулятори. Головний (зовнішній) контур керування стабілізує задану швидкість обертання вальців преса, від якої залежать інші параметри пресування, зокрема температура матриці преса. Мінімізація дії збурень моменту обертання, від якого залежить зусилля пресування пелет, здійснюється за рахунок внутрішнього контуру регулятора.

На рис. 3.16 показані осцилограми моделювання процесу пресування, де відображені зміни збурень (а) та швидкості обертання вальців (б) у часі, коли регулятори системи керування відключені.

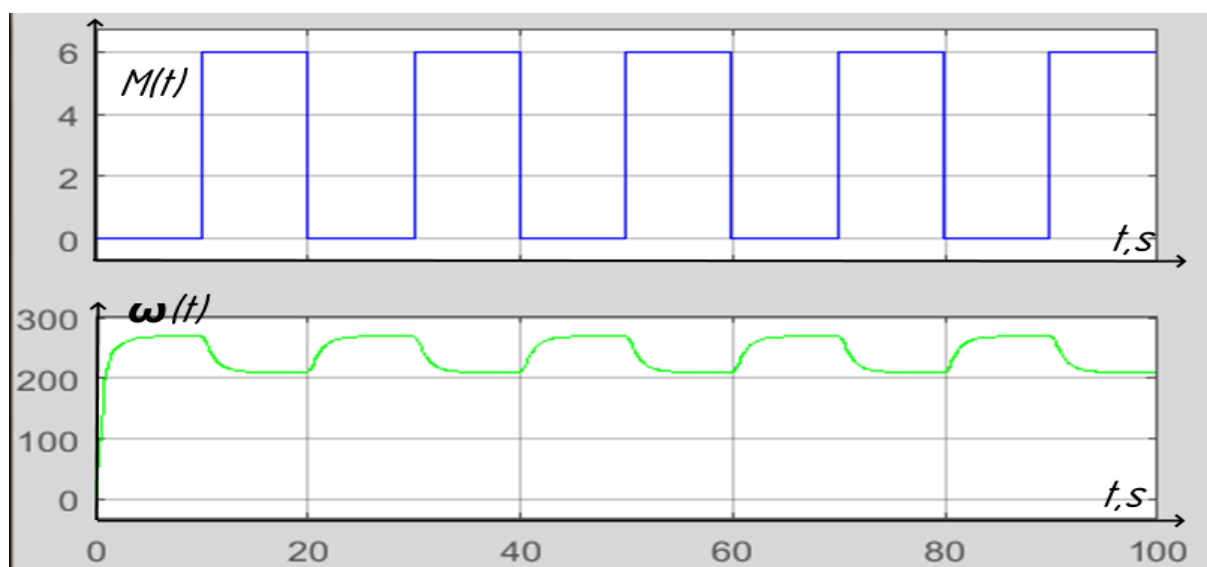


Рис. 3.16 – Осцилограми сигналів збурення моменту та швидкості обертання

Після налагодження параметрів регуляторів ПДD коливання швидкості обертання вальців пресу стабілізуються на рівні 2%, що показано на рис. 3.17

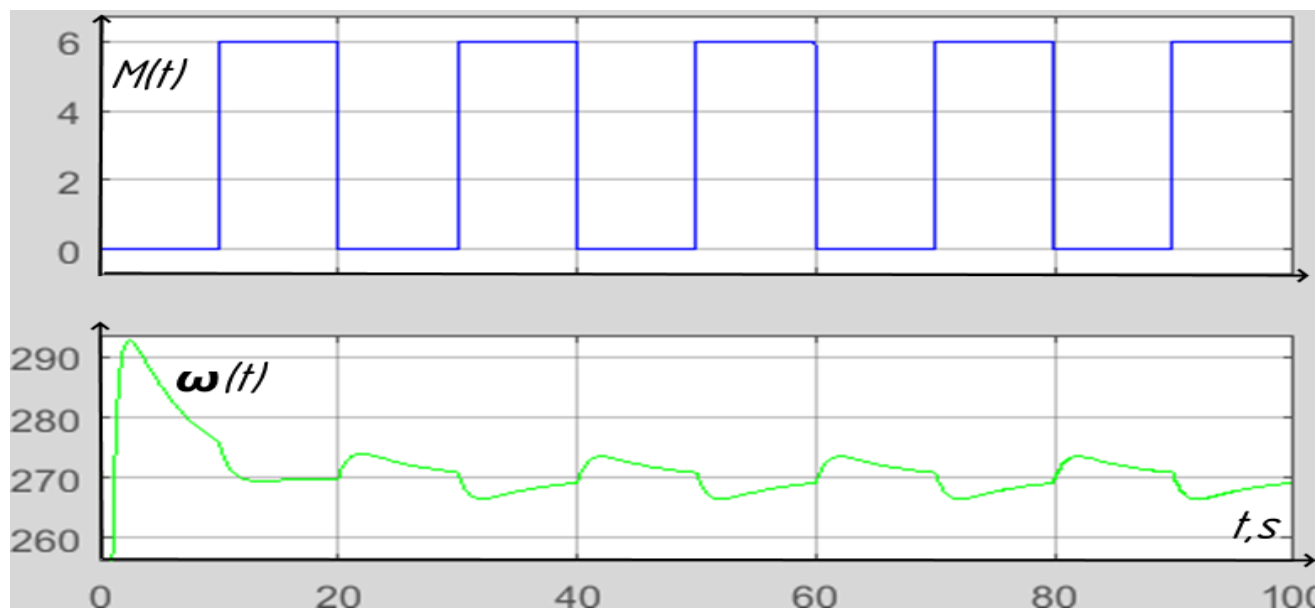


Рисунок 3.17 – Осцилограми сигналів збурення моменту та швидкості обертання

Зберігаючи параметри мінімізації впливу збурень пресування, в моделі забезпечується відслідковування зміни швидкості обертання вальців відповідно до зміни температури матриці. Тобто при збільшенні її температури відповідно змінюється швидкість обертання.

На рис. 3.18 показано процес відслідковування швидкості обертання вальців у відповідності зі зміною температури. При цьому внутрішній контур САК мінімізує вплив збурень по моменту опору, який мінімально впливає на швидкість обертання вальців пресу.

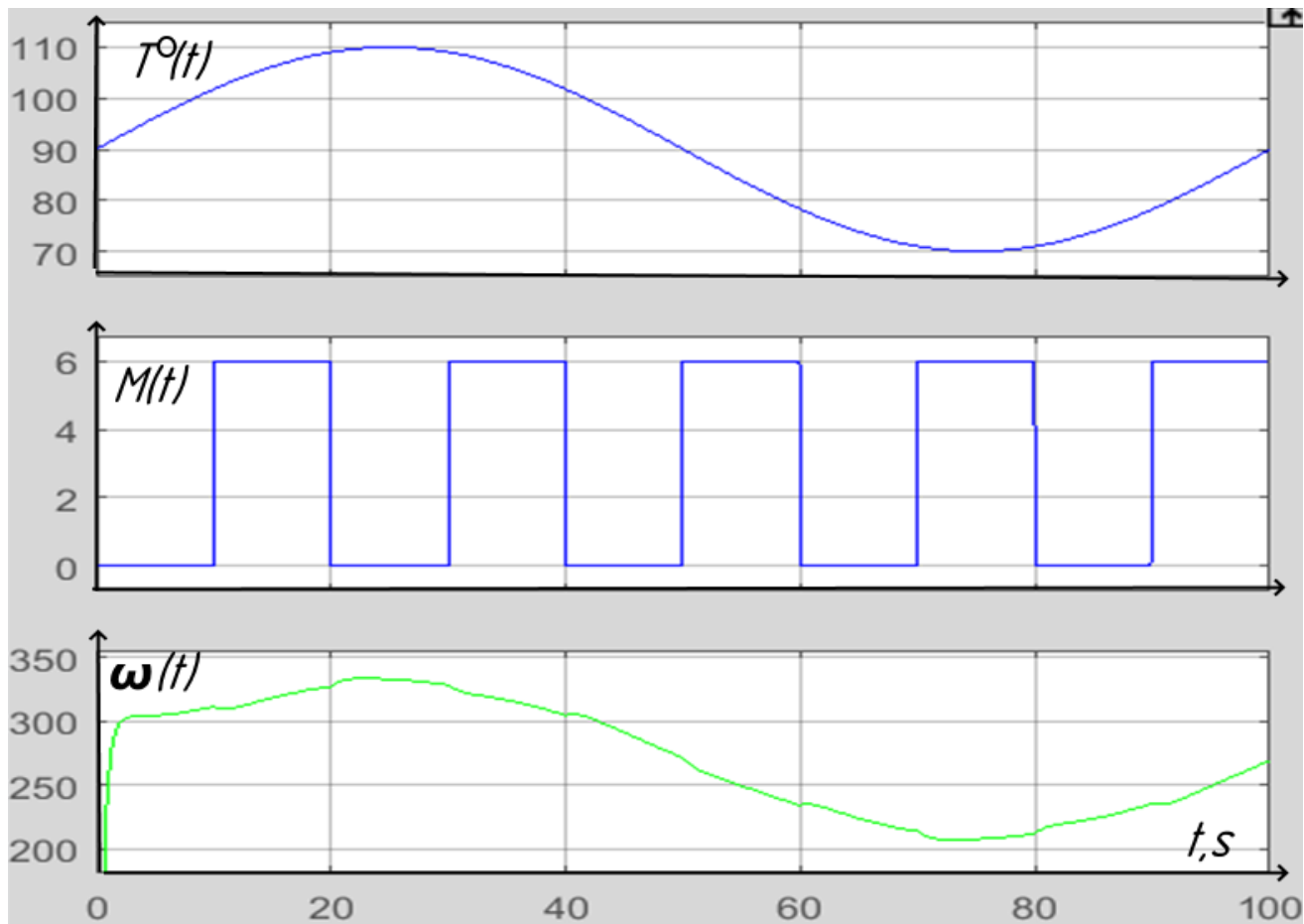


Рисунок 3.18 – Осцилограми зміни температури та швидкості обертання

Результати, отримані при моделюванні процесу пресування дозволяють стверджувати, що методи побудови та налаштування досліджених регуляторів можна використати при реалізації промислової експериментальної системи керування виробництва пелет для оптимізації її режимів.

3. 4 Модель керування процесом охолодження пелет

Відповідно до технологічної схеми охолоджуючої установки, що приведена на рис. 1.5, керування охолодженням пелет здійснюється в результаті керування приводом вентиляторів. Керування реалізується на базі асинхронного приводу, який змінює швидкість руху охолоджуючого повітря.

У загальному вигляді процес теплообміну, що відбувається при охолодженні пелет навколишнім повітрям, можна описати диференціальним рівнянням:

$$-\frac{G}{S} C_p \frac{dT^o}{dt} = \alpha(T^o - T^w) \quad (3.7)$$

де G/S – маса пелет, що припадає на 1 м^2 поверхні S теплообміну;

dT^o/dt – швидкість зміни температури пелет у часі;

T^o – температура пелет; $^{\circ}\text{C}$;

T^w – температура зовнішнього повітря.

C_p – теплоємність пелет, $\text{Дж/кг}^{\circ}\text{C}$;

α – коефіцієнт теплопровідності повітря, що охолоджує.

Із визначення здатності тепловіддачі поверхні S одиниці маси пелет $S = G \cdot k$, (де G – пропускна здатність охолоджувача; k – конструктивний коефіцієнт) витікає, що ефективність керування температурою охолодження пелет залежить пропускної здатності охолоджувача. Від’ємне значення теплоти формули (3.7) відображує відбір тепла від поверхні пелет.

Функціональна схема САК температурою охолоджуючого повітря можна представити у вигляді, що показаний на рис. 3.19.

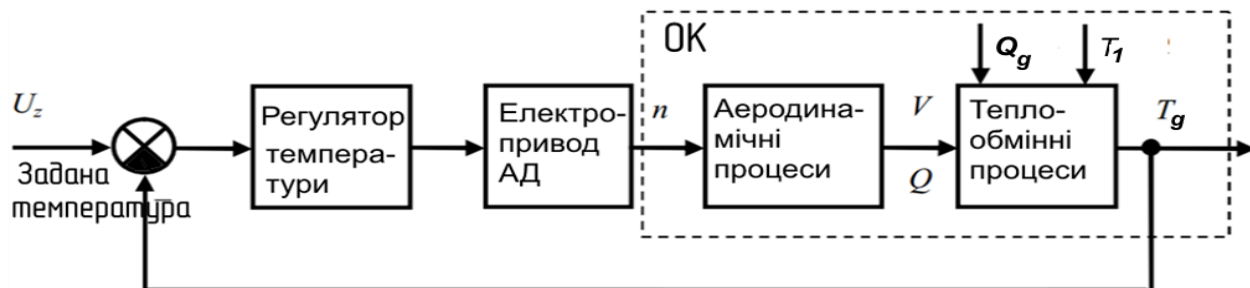


Рисунок 3.19– Функціональна схема САК температурою охолоджуючого повітря

Температура охолоджуючого повітря, яка вимірюється давачами, змінюється завдяки керуванню швидкістю потоку повітря, що перетинає шар пелет, що знаходиться на конвеєрі. Припускаючи рівномірний розподіл потоку повітря опис процесу охолодження можна представити рівняннями ОК із зосередженими параметрами. Таким чином в узагальненому ОК можна виділити дві ланки. Ці ланки відображують характер аеродинамічних процесів та процеси теплообміну. Технічні засоби автоматизації процесу охолодження комплектуються регулятором температури, давачами температури та електроприводом вентиляторів.

Регулюючим впливом на ОК є частота обертання електроприводу вентиляторів n , яка визначає швидкість потоку повітря V і пропорційні їй витрати повітря Q . Основними збурюючими зовнішніми впливами на ОК є температура зовнішнього повітря T_1 і швидкість переміщення пелет Qg .

Інерційність зміни температури при зміні швидкості руху охолоджуючого повітря у просторі охолодження описується аперіодичною передатною функцією:

$$W_T(s) = \frac{\Delta T_g}{\Delta V} = \frac{k_T}{T_O s + 1} \quad (3.8)$$

де k_T – коефіцієнт передачі ОК по керуючому впливу; T_O – стала часу ОК; s – оператор Лапласа.

Динамічні характеристики приводу вентиляторів охолоджувача також представляються аперіодичною ланкою, оскільки в якості виконавчих механізмів використовуються АД. Представлення ґрунтується на результатах порівнянь значень сталих часу різних двигунів, електричних перетворювачів та сталих часу динаміки приводу.

Критерій розбудови регулятора температури охолодження полягає у досягненні максимальної швидкодії системи керування температурою охолодження. Швидкодія може бути досягнута в результаті форсування керуючих впливів, тобто форсування зміни частоти обертання вентиляторів, що призводить до великих динамічних перевантажень на механічну частину приводу.

Тим не менше, сталі часу теплових процесів значно більше, ніж механічних. Тому налаштування регулятора повинні враховувати динаміку змін температури пелет, що охолоджуються, та зміни швидкості руху конвеєра з пелетами.

Врахування вимог до критерію керування та характеристик ланок описаних блоків моделі дає змогу побудувати загальну модель процесу охолодження в середовищі MATLAB, що зображена на рис. 3.20. Реалізація моделі здійснюється з урахуванням паспортних даних АД, вентилятора та довідникових даних по матеріалам пелет. Змінними параметрами є початкові умови охолодження та параметри режиму охолодження.

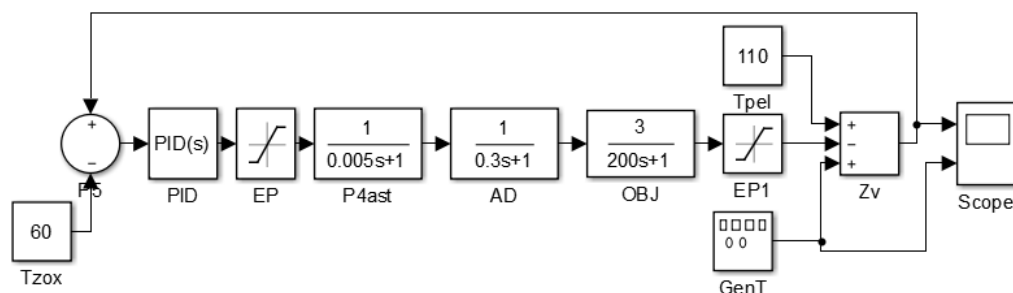


Рис. 3.20– Модель охолоджувача в MATLAB

До складу схеми моделювання входять аперіодичні ланки, що моделюють динаміку електроприводу вентиляторів та ланка OBJ, що відображує динаміку теплових процесів. Імітація збурень здійснюється за допомогою генератора GenT.

На рис. 3.21 наведено графіки перехідного процесу охолодження неналаштованого (а) та налаштованого ПІД регулятора (б) за відсутності збурень.

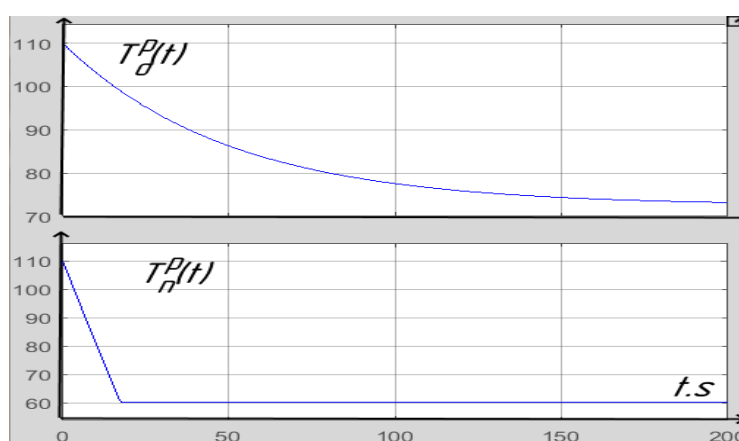


Рис. 3.21 – Графіки зміни температури повітря, що охолоджується

Підключення генератора збурень дозволяє із осцилограм, що наведені на рис.3.22, побачити, що рівень збурень температур ΔT при коливаннях вхідної температури пелет з налаштованим ПІД – регулятором значно зменшується.

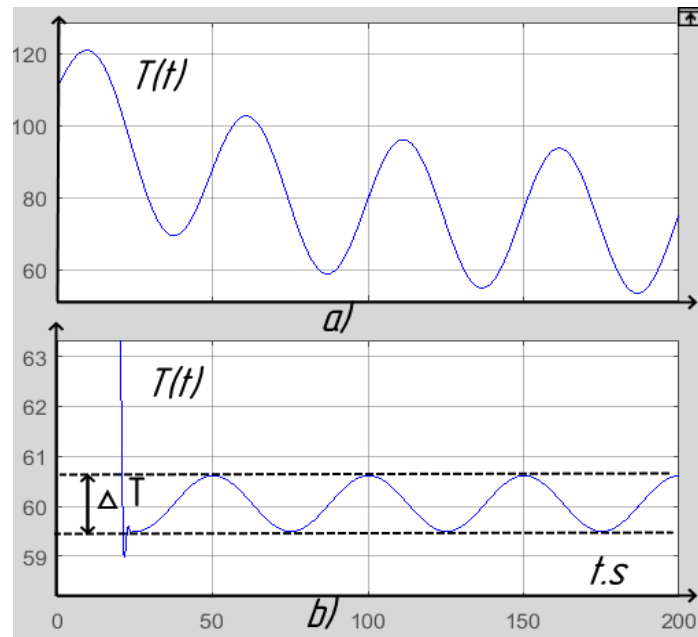


Рис. 3.22 – Графіки зміни температури повітря, що охолоджується: а) – без налаштованого регулятора; б) – з налаштованим регулятором.

Отримані результати моделювання контуру керування охолодженням пелет дозволяють використати П – регулятор при побудові оптимального керування всього процесу виробництва пелет. Цей висновок витікає із порівняння сталих часу розглянутого контуру керування охолодженням пелет. Оскільки величина сталої часу теплового процесу значно більше електромеханічних сталих часу електроприводу, то з огляду на потужність використовуваних вентиляторів досягнення необхідної якості регулювання не викликає технічних проблем.

4. РОЗРОБКА SCADA-СИСТЕМИ

4.1 Структура системи керування виробництвом пелет

З огляду на специфіку функціонування розглянутого ОК, яка полягає у різнохарактерності процесів, що формують виробництво пелет, для системи керування можна запропонувати багаторівневу Система розподіленого вводу-виводу. Ця структура, відповідно до класичних уявлень, може бути представлена наступними ієрархічними рівнями:

- верхній рівень (рівень SCADA);
- нижній рівень (рівень ПЛК);
- польовий рівень (рівень датчиків та виконавчих механізмів).

Верхній рівень утворює Автоматизоване робоче місце оператора (АРМ) на базі PC– сумісного персонального комп'ютера, зовнішній вигляд якого можна представити, як показано на рис. 4.1.

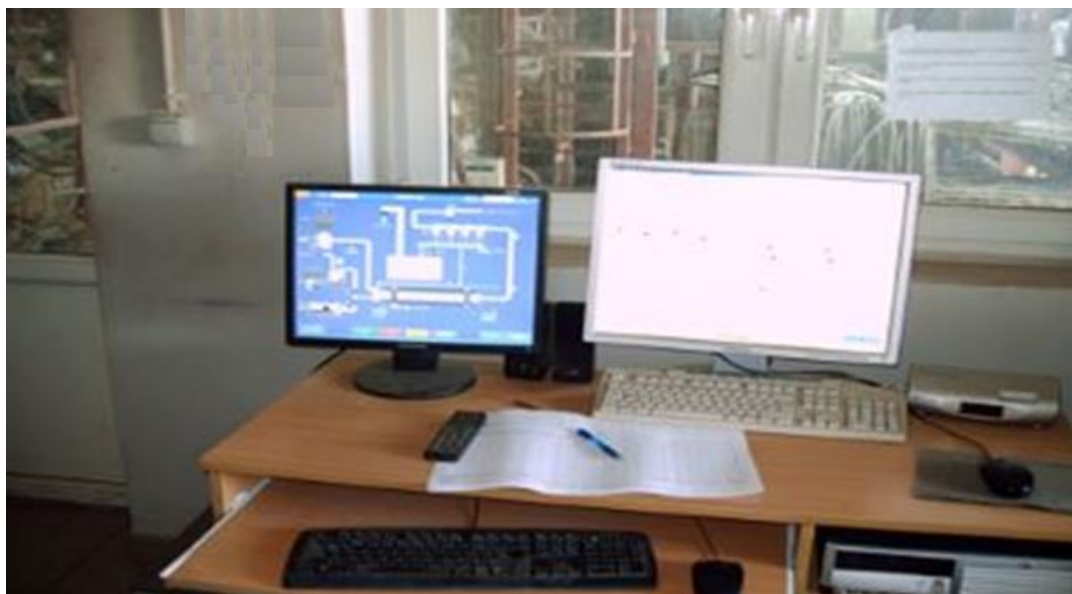


Рисунок 4.1– Зовнішній вигляд АРМ

АРМ оператора компонується на базі SCADA системи SIMATIC WinCC V7.3, структура якої приведена на рис. 4.2.

Системи SIMATIC S7-300 [23] використовуються для побудови систем автоматизації низького та середнього ступеня складності, до яких відноситься система керування виробництвом пелет. Модульна конструкція системи контролерів S7-300, пристосованість до роботи з природним охолодженням, можливість побудови архітектур локального та розподіленого вводу–виводу, достатні комунікаційні можливості, зручність експлуатації та обслуговування забезпечують вирішення завдань побудови систем автоматичного керування різноманітними технологічними процесами.

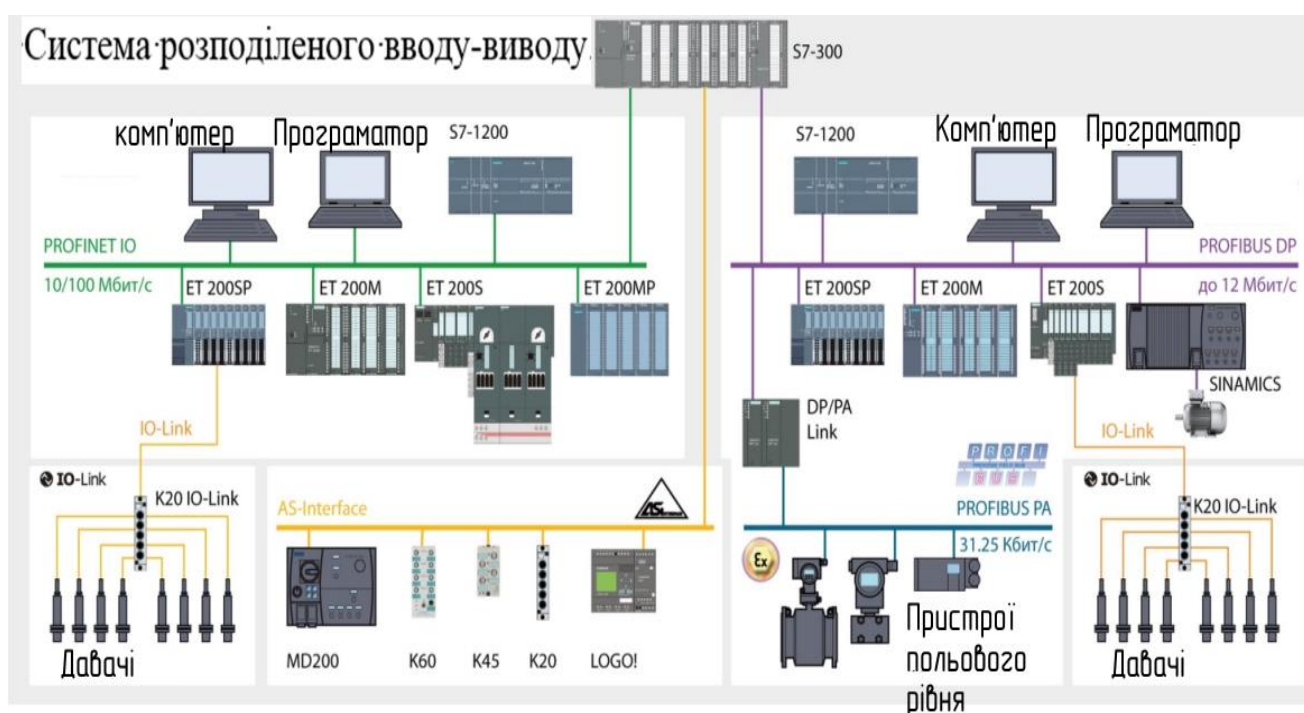


Рисунок 4.2– Структура системи SIMATIC S7-300

Програмовані контролери (ПЛК) Siemens SIMATIC S7-300 мають модульну конструкцію та складаються з таких елементів:

Центральні процесори - модуль центрального процесора (CPU). «Залежно від складності завдання у контролерах можуть бути використані різні типи центральних процесорів, які відрізняються продуктивністю, розміром пам'яті, наявністю або відсутністю вбудованих входів-виходів та спеціальних функцій, кількістю та типом вбудованих комунікаційних інтерфейсів тощо».

Сигнальні модулі SM – «Сигнальні модулі (SM), призначені для введення та виведення дискретних або аналогових сигналів з різними електричними та часовими параметрами».

Комунікаційні модулі – «Комунікаційні процесори (CP) забезпечують можливість підключення до мереж PROFIBUS, Industrial Ethernet, AS-Interface чи організації зв'язку з PtP (point to point) інтерфейсу».

Функціональні модулі – «Функціональні модулі (FM) можуть самостійно вирішувати завдання автоматичного регулювання, позиціонування, обробки сигналів».

Інтерфейсні модулі – «Інтерфейсні модулі (IM), що забезпечують можливість підключення до базового блоку (з CPU) стійок розширення вводу-виводу».

«Програмовані контролери Siemens SIMATIC S7-300 дозволяють використовувати у своєму складі до 32 сигнальних та функціональних модулів, а також комунікаційних процесорів, розподілених за 4 монтажними стійками. Усі модулі працюють із природним охолодженням».

Для ПЛК лінійки S7-300 та S7-400 фірма Siemens впровадила програмне забезпечення (ПЗ) Simatic Step 7, яке складається: – Simatic Manager (Головна утиліта Step 7). Таке програмне забезпечення дає можливість проводити конфігурацію ПЛК та використовуваних мереж (утиліти HWConfig та NetPro).

Основним призначенням системи автоматизації SIMATIC є організації людино-машинного інтерфейсу НМІ та візуалізації технологічного процесу, для якого розробляється система керування.

Завдяки ідеології відкритості WinCC здатен працювати з стандартними програмами та додатками користувача.

Відповідно до завдань графічної візуалізації техпроцесу, програмне середовище WinCC дозволяє створювати звіти і квітувати події, реєструвати повідомлення і значення вимірюваних величин, «фіксувати і архівувати дані, управляти користувачами та правами їх доступу».

Перевагою SIMATIC WinCC є наявність бібліотек та засоби для обробки величезних масивів даних. Об'єктно-орієнтований графічний модуль дає змогу проводити індивідуальні налаштування, що специфічні до об'єкту проектування.

Для відображення завдань керування у ПЗ WinCC використовуються інтерфейси та редактори. «Основними з них є:

- редактор кадрів процесів та діалогових вікон WinCC Graphics Designer;
- центр керування проектом WinCC Explorer;
- редактор рядкових/сторінкових журналів реєстрацій WinCC Report Designer;
- конфігуратор системи архівування WinCC Tag Logging»

Основні характеристики CPU S7-300 представлені у Додатку Б

4.2 Реалізація SCADA системи керування виробництвом пелет

Відповідно до модульної структури побудови системи керування виробництвом пелет взаємодія модулів (дільниць) системи відображується схемою, що представлена на рис. 4.3.

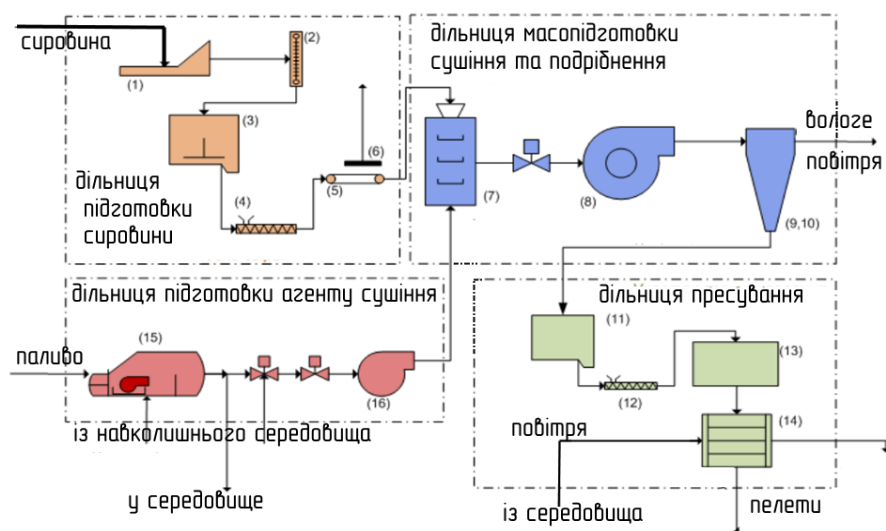


Рисунок 4.3– Взаємодія модулів (дільниць) виробництва пелет: 1– бункер; 2– конвеєр; 3 бункер з ворошником; 4– конвеєр шнековий; 5– конвеєр стрічковий; 6– сепаратор магнітний; 7– розпорошувач; 8– вентилятор; 9, 10– циклони; 11– бункер; 12– конвеєр шнековий; 13– прес; 14– система охолодження пелет; 15– теплогенератор; 16– вентилятор.

Виходячи із завдань проектування системи, засоби автоматизації системи керування розміщуються у компоновочній шафі, зовнішній вигляд якої показано на рис. 4.4. Обладнання, що в ній розміщується, здійснює первинний збір та обро-

бку інформації, в результаті чого формуються керуючі сигнали. Ці сигнали генеруються на основі алгоритмів контролю та управління, що вбудовані в ПЗ. Обладнання у шафі реалізує розподілену систему збору даних та забезпечує режими локального керування на рівні підсистем згідно із згаданими алгоритмами управління.



Рисунок 4.4– Шафа з обладнанням Siemens SIMATIC S7-300

У шафі розміщено промисловий контролер Siemens SIMATIC S7-300, блок живлення PS307 та модулі вводу/виводу аналогової та дискретної інформації. Стандартні модулі введення аналогових сигналів SM 331 з оптронною розв'язкою забезпечують обробку в реальному часі 8 вхідних струмових сигналів. Модулі виводу аналогової інформації SM 332 дають змогу виведення в реальному часі 8 вихідних струмових сигналів (Додаток Б).

Підключення ланцюгів керування до контролера SM 331 показано у Додатку В.

На польовому рівні, крім прийому/передавання аналогових сигналів, функціонування системи керування забезпечується мережею передавання даних на базі інтерфейсу RS-485. Зв'язок польового рівня з верхнім рівнем системи керування здійснюється через локальну мережу ETHERNET.

Для розробки ПЗ у середовищі програмування SIMATIC Manager створюється проект. Для цього в полі проекту вставляється станція "Station 300". Використовуючи каталог, у програмі "HW Config" у склад станції вставляється контролер S7-313C- 2DP та комунікаційний процесор CP 343-1 Lean з модулями аналогового вводу/виводу SM 334.

У подальших кроках задаються параметри обладнання, що використовується в проекті та з допомогою "Control Panel" налагоджуються комунікації блоків.

Ці налагодження пов'язані з визначенням «тегів», тобто. осередків пам'яті в ПЛК, через які здійснюється зв'язок між контролером і панеллю оператора. До тегів, зокрема відносять дискретні та аналогові входи/виходи контролера, які розміщуються у таблиці символів "Symbols".

Одне із вікон, яке відкриває програма WinCC, є вікно "Start screen" із зображенням зовнішнього вигляду панелі оператора. Приклад такої панелі наведено на рис. 4.5.

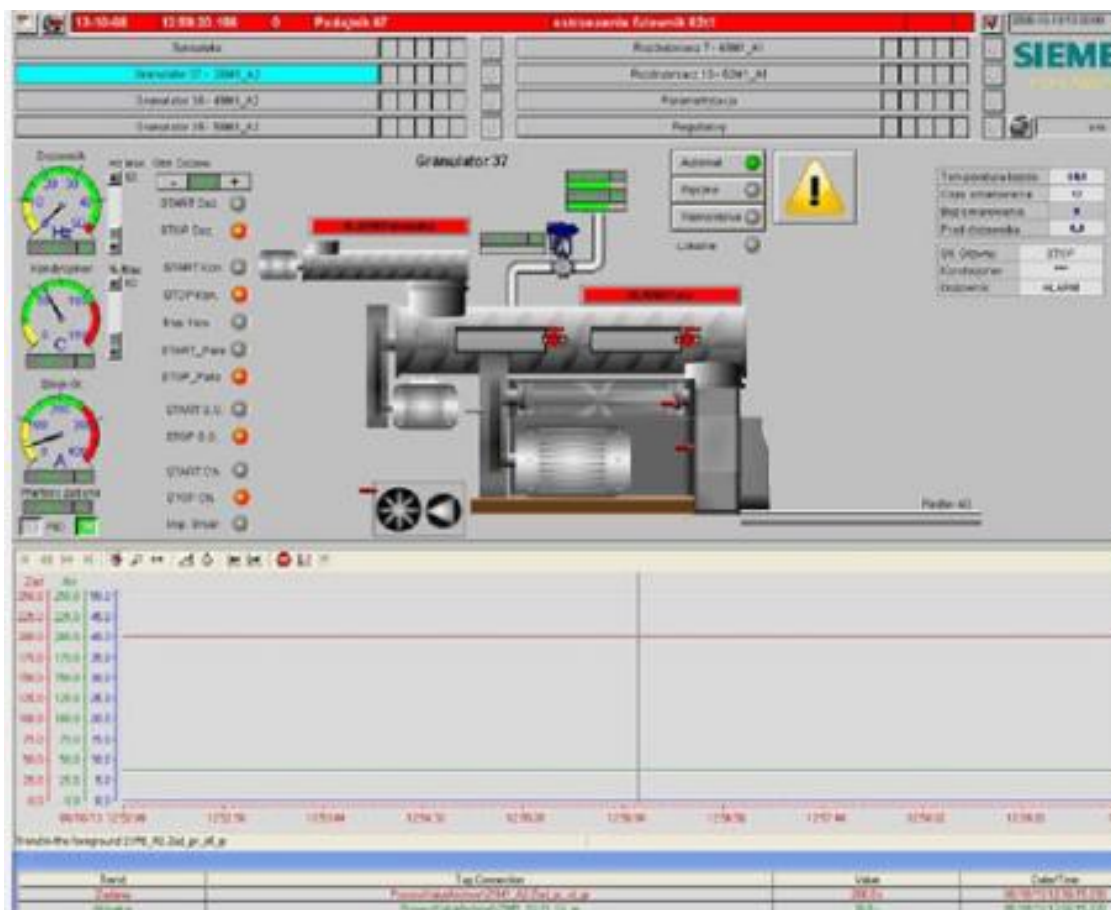


Рисунок 4.5 – Зовнішній вигляд панелі оператора процесу пресування пелет

Як видно із рисунку, на панелі з допомогою віртуальних приладів відслідковуються не тільки плинні значення параметрів процесу пресування, але й графіки трендів цих параметрів у часі. Ці тренди дають змогу сформуванню звітну документацію та оптимізувати енергоспоживання обладнання.

Програмування контролера здійснюється також за допомогою Simatic Manager, який забезпечує створення програм на мовах МЕК, зокрема FBD або LAD [24].

Програмне забезпечення нового покоління Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal), в яке інтегровані мови МЕК, формує інтегроване робоче середовище розробки комплексних проектів автоматизації на основі безлічі програмних та апаратних продуктів сімейств SIMATIC.

У рамках TIA Portal використовується «єдиний інтерфейс користувача для всіх програмних продуктів, забезпечується підтримка функцій навігації проектів, єдиної концепції використання бібліотек, централізованого керування управлін-

ня даними та забезпечення їх повної узгодженості, запуску необхідних редакторів, збереження проектів, діагностики та безлічі інших функцій. Це програмне забезпечення дозволяє отримувати високий рівень ефективності розробки будь-яких проектів автоматизації, значно скорочує витрати на конфігурування та організацію взаємодії між контролерами, приводами, приладами та системами людиномашинного інтерфейсу.»

Параметри налаштування ПЛК, програмні блоки, теги та повідомлення дають змогу колективного створення проектів, що прискорює і знижує вартість розробки комплексного проекту автоматизації.

Склад програмного забезпечення, що інтегрується в середу TIA Portal, створюється відповідно до сформованих завдань керування і може змінюватись при модифікації проекту.

ВИСНОВКИ

Для оптимізації процесів, що складають виробництво пелет, є необхідним створення адекватних математичних моделей, що описують ці процеси.

У ході досліджень було визначено об'єкт та предмет досліджень, сформовано мету досліджень та їх практичну значимість;

проаналізовано параметри процесів виробництва пелет та визначені критерії оптимізації складові виробництва пелет та завдання керування його параметрами; розроблені математичні моделі об'єкту керування.

В результаті аналізу контурів керування запропоновані регулятори, що забезпечують оптимізацію параметрів процесів виробництва пелет.

В процесі побудови системи керування процесом сушіння сировини пелет використано моделі id-діаграм, в результаті чого досягається узгоджене керування вологістю та температурою продукту. Врахування зв'язку між вологістю і температурою сушіння продукту дозволяє покращити результат процесу сушіння, тим самим підвищити якість кінцевого продукту.

Розглянутий ескізний проект SCADA системи виробництва пелет на базі ПЛК S7-400 фірми Siemens та програмного забезпечення Totally Integrated Automation Portal спрямований на підвищення ефективності керування виробництвом за рахунок узгодження проміжних параметрів складових процесу виробництва пелет.

Отримані результати можуть бути використані при побудові систем керування для виробництва тваринних кормів та мінеральних добрив.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лінії гранулювання [Електронний ресурс]: – Режим доступу: https://biosmartex.com/products_category/linii-granuliuvannya
2. Клименко В. В., Кравченко В. І., Боков В. М., Гуцул В. І. Технологічні основи виготовлення біопалива з рослинних відходів та їх композитів: Монографія. /За ред. В.В. Клименка – Кропивницький :ПП «Ексклюзив-Систем», 2017. – 162 с.
3. Курка Р.Р. Особливості технології формування паливних гранул з подрібненої деревини листяних порід.– 2011. – Львів:–НЛТУ України. – С. 132–136.
4. Співак О.Ю., Дахновська О.В., Фінік І.В. [Експериментальні дослідження низькотемпературного сушіння відходів деревини](#). – 2016. – Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. –№ 1.–60-64.
5. Корінчук Д. М. Вплив температурної та фізико-механічної активації біомаси на енерговитрати процесу пресування біопалив деревинного та рослинного походження. Науковий вісник НЛТУ України. 2018, т. 28, № 5. С. 111–118
6. Itävuori P., Vilkko M. Size reduction control in cone crushers. Minerals Engineering. – 2021. – Volume 173. pp. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.107202>.
7. Бунецкий В. А., Бондаренко М. В. Создание эффективного пеллетного производства на основе сушильного комплекса СК-3. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету/ГДАТУ ім. Дмитра Моторного. Мелітополь: – 2019. – Вип. 19, т. 2. С. 55-67.
8. Korinchuk D. N., Sneszkin Yu.F, Bunetskiy V. A. Justification energy-efficient modes of drum dryer operation in production of composite biofuels //Scientific Works. 2018. Т. 82, № 1. С. 81. DOI: <http://dx.doi.org/10.15673/swonaft.v82i1.1017>
9. Nielsen S. K., Mando M., Rosenorn A. B. Review of die design and process parameters in the biomass pelleting process. Powder Technology. 2020;364: 971-985. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.10.051>
10. Маско М., Mrozinski A. Work parameters research of wood pellet machine. AIP Conference Proceedings 2077, 020038. –2019. –PP. 1 –7 <https://doi.org/10.1063/1.5091899>

11. Видмиш А. А., Ярошенко Л. В.. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. –Вінниця: –2020. –ВНАУ. – 387с.
12. Чермалих В.М., Чермалих А. В., Майданський І. Я. Дослідження динаміки та енергетичних характеристик стрічкових конвеєрів з регульованим електроприводом. Вісник НТУ «ХПІ». –2015. – N12 (1121).– С.180 –184.
13. Гапонюк О.І., Алексахин О.В., Вільчик М.І., Колосовський С.В. Оптимізація режиму охолодження гранульованих комбікормів. Зернові продукти і комбікорми. – 2014. –№ 3 (55). – С. 44–46.
14. Савицький О.І., Тимошенко М.А., Грамм О.О. Вибір способу автоматизованого регулювання продуктивності процесу мілкового дроблення залізної руди зі змінними параметрами. Гірничий вісник–2020. –Вип. 108. – С. 39–44.
15. Опольський Я.В., Васюра А.С. Сучасні підходи до підвищення ефективності роботи асинхронних двигунів. Оптико-електронні пристрої та компоненти в лазерних і енергетичних технологіях.–2018. – С. 81–88.
16. Видмиш А.А., Штуць А.А. Дослідження динамічних характеристик замкненої системи електропривода гравітаційного бетонозмішувача шляхом комп'ютерного моделювання. Вісник Хмельницького національного університету.–2021.–№1 (293).–С.113–124.
17. Тігарєва Т.Г., Тігарєв А.М. Моделювання системи регулювання процесу сушіння тирси. Матеріали конференції КЗЯТПС-2018.–2018. .–Чернігів:–С. 204–205.
18. Пінчевська О.О., Спірочкін А.К. Технологія сушіння і захисту деревини. Частина 1. Навчальний посібник.–2021.–Київ: вид-во.–171 с
19. Якубаш І. В. Автоматичне керування процесом сушіння плодоовочевої сировини в конденсаційній термоелектричній сушарці. Автоматизація технологічних і бізнес-процесів.–2021.– Volume 13, Issue 1. –С.11–17.
19. Програма управління сушкою деревини Геліос. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.gorlush.com.ua/electronics.aspx>.
20. Теплов Д.І., Тігарєв А.М., Тігарєва Т.Г. Розробка структури системи регулювання температури повітря і вологості у сушарці деревини. Збірник наукових праць XII Міжнародної науково-практичної конференції. –2022.– Одеса:.. –С.137–140.

21. Голодний І.М., Червінський Л.С., Жильцов А.В., Санченко О.В. Романенко О.І. Моделювання регульованого електропривода. – 2019. –Київ: Аграр Медіа Груп. – 266с.
22. Safran B., Radmanovic K., Jug M., Lucic Beljo R., Lojen T., Risovic S. Influence of pressing temperature and additive on mechanical properties of wood pellets. *Natural Resources, Green Technology & Sustainable Development*. –2018. – 3:141-148. URL: <https://www.sumins.hr/wp-content/uploads/2019/07/green3-proceedings.pdf>
23. Сердюк О.О., Разживін О.В. Технічні засоби автоматизації. Частина 2. Технічні засоби автоматизації Simatic S7-300/400. Конспект лекцій (для студентів спеціальності 151 - «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»). – 2019. – Краматорськ: ДДМА. – 217 с.
24. Сердюк О.О. Проектування систем автоматизації. Розділ 3: Розробка програмного забезпечення систем автоматизації. Конспект лекцій для студентів спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» . –2018. – Краматорськ: ДДМА. – 112с.