

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Шосткинський інститут

Кафедра системотехніки та інформаційних технологій

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Георгій Худолей

_____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(бакалавр / магістр)

зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»,
освітньо-професійної програми «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології
та робототехніка»

на тему Система управління шнековою машиною для формування
поліпропіленового волокна

Здобувача групи СУ-01Ш _____

(шифр групи)

Кліндух Олег Іванович _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

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

_____ Олег Кліндух

Керівник завідувач кафедрою, к.т.н. Георгій ХУДОЛЕЙ _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Консультант¹⁾ _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

РЕФЕРАТ

Кліндух Олег Іванович. Система управління шнековою машиною для формування поліпропіленового волокна. Бакалаврська робота. Шосткинський інститут Сумського державного університету. Шостка, 2024 рік.

Робота містить 52 аркуши пояснювальної записки, з урахуванням 47 рисунків, 23 таблиці; конструкторську документацію, яка містить 1 креслення.

На основі завдання кафедри системотехніки та інформаційних технологій Шосткинського інституту СумДУ, розроблено систему управління шнековою машиною для формування поліпропіленового волокна, яка представляє трирівневу автоматизовану систему управління технологічним процесом.

Ключові слова: технологічний процес, система управління, програмований логічний контролер, математичний опис, поліпропіленове волокно.

ABSTRACT

Klindukh Oleg Ivanovich. Control system of screw machine for forming polypropylene fiber. Bachelor's thesis. Shostka Institute of Sumy State University. Shostka, 2024.

The work contains 52 sheets of explanatory note, including 47 figures, 23 tables; design documentation, which contains 1 drawing.

Based on the assignment of the Department of System Engineering and Information Technologies of the Shostka Institute of Sumy State University, a control system for a screw machine for forming polypropylene fiber was developed, which represents a three-level automated process control system.

Keywords: technological process, control system, programmable logic controller, mathematical description, polypropylene fiber.

Translated with DeepL.com (free version)

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І ПОЗНАЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ	6
1.1 Опис технологічного процесу.....	6
2 ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	8
3 ВИБІР КАНАЛІВ КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ	9
3.1 Канали контролю та управління.....	9
3.2 Функціональна схема технічних засобів автоматизації	14
4 ВИБІР СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ	15
4.1 Вибір датчиків	15
4.2 Вибір керуючих органів та виконавчих механізмів	20
5 АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ.....	39
6 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	44
6.1 Отримання математичного опису об'єкта керування.....	44
6.2 Синтез системи керування методом Солодовнікова	47
7 РОЗРОБКА АСУТП.....	51
ВИСНОВОК	53
ЛІТЕРАТУРА	54

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І ПОЗНАЧЕНЬ

ПП	Поліпропілен
ТТР	Твердотільне реле
ПЧ	Перетворювач частоти
ПК	Персональний комп'ютер
ПЛК	Програмований логічний контролер
АРМ	Автоматизоване робоче місце

ВСТУП

Поліпропіленове волокно, в наш час займає важливе значення для великої кількості важливих галузей виробництва. Найбільш популярними серед яких є:

- харчова промисловість (використовується для пакування, допоміжні аксесуари для вирощування);
- хіміко-фармацевтична промисловість (трубопроводи, медичні аксесуари, тощо);
- будівельна промисловість (тепло та гідроізоляція).

Своєї популярності даний матеріал набув завдяки своїм властивостям. Поліпропіленове волокно характеризується зносостійкістю, високою міцністю, низькими показниками газо – та паро проникності. Крім того має гарні гігієнічні властивості, та стійкий до впливу грибків та мікроорганізмів [1,2].

Однак. ПП волокно потребує суворого контролю, за дотриманням характеристик технологічного процесу, ігнорування котрих може призвести від виникнення бракованої продукції, до забруднення, що носить хімічний характер.

Про те, виробництво ПП волокна, має шкідливий вплив на навколишнє середовище, та доволі складний технологічний процес для ручного контролю. Тому з метою зниження шкідливого впливу, та підвищення продуктивності виробництва, виникає необхідність автоматизувати технологію ПП виробництва.

Підвищення якості готового виробу шляхом автоматичного контролю за параметрами протікання технологічного процесу, та заміна людської праці в областях великого фізичного навантаження, а також в умовах шкідливих викидів, призведе до зниження собівартості готового виробу.

Крім того автоматизація процесу дозволить підвищити знизити рівень витрат електроенергії шляхом використання сучасних виконавчих органів і механізмів, що керуються в автоматичному режимі. Також, це дозволить підвищити економічні показники, як за рахунок вище вказаних переваг автоматизації, так і за рахунок безперервності протікання процесу виробництва.

Основним завданнями проекту, є :

- забезпечення високого рівня безпеки процесу виготовлення ПП волокна;
- покращити техніко-економічні показники виробництва;
- забезпечити безпечні умови праці, що відповідають санітарно-гігієнічним та іншим нормам у відповідності до Закону України «Про охорону праці».

Робота виконується на основі завдання кафедри системотехніки та інформаційних технологій Шосткинського інституту СумДУ.

Основний зміст роботи викладено в шести розділах, де представлені конструктивно-технологічний аналіз об'єкта, вибір параметрів технологічного процесу, вибір каналів контролю і управління, вибір засобів автоматизації, розроблений алгоритм роботи системи, проведений розрахунок контуру управління температурою, розроблені функціональна схема автоматизації.

1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ

1.1 Опис технологічного процесу

Поліпропіленове волокно – це виріб текстильного характеру, отриманий шляхом переробки термопластичного полімеру – поліпропілену, або поліетилену високого тиску (LPDE) для виготовлення ниток. ПП волокно мають ряд цінних експлуатаційних властивостей, їх щільність менша за щільність інших хімічних та натуральних волокон, крім того має міцність 7 сН/дтекс. Поліпропіленове волокно не підвладне гниттю, та легше води, також стійке до впливу лугів та кислот. ПП волокно виготовляється на автоматизованій лінії методом екструзії. Використання шнекової машини значно відрізняє процес в порівнянні з формуванням інших синтетичних волокон, це зумовлено високою в'язкістю розплавленої маси полімерів, та як наслідок необхідністю використання значних механічних зусиль[3]. Технологічна схема виготовлення ПП волокна представлена на рисунку 1.1.

Гранульований поліпропілен, або LPDE, надходить із бункера завантажувача в камеру шнекової машини (екструдера), де захоплюється шнеком і переміщується вздовж корпусу. В результаті теплового впливу електронагрівачів розміщених на корпусі екструдера та формувальній голівці, механічного впливу шнека екструдера і фактору часу поліпропілен на шляху до формувальної головки ущільнюється і пластифікується, де відбувається процес екструдювання. Режими обігріву зон екструдера наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технологічні норми нагріву зон екструдера

Зона 1	Зона 2	Зона 3	Головка
+105 °С	+175 °С	+265 °С	+275 °С

Формування ПП волокна відбувається в формувальній частині екструзійної головки. Даний етап формування є надзвичайно важливим, оскільки від його протікання залежить якість та структура отриманого волокна [4]. Сформоване волокно направляється до ванни охолодження, де паралельно охолодженню відбувається фільтерна витяжка. Наступним кроком волокно надходить до витяжної камери, де за температури 110 – 120 °С в середовищі водяного пару, відбувається остаточне витягування і термофіксація виробу. Після чого ПП волокно подають на поздовжній ріжучий механізм, де його розрізають відповідно технічного завдання. Останньою частиною виробничого ланцюга ПП волокно поступає на приймаючий пристрій, де перевіряється якість продукції та намотування на бобіни.

Об'єм екструдювання складає 150 кг/год, швидкість обертів шнека дорівнює 10 – 55 об/хв, в залежності від сировини та типу виробу.

Швидкість витяжки складає 20 – 100 м/хв, довжина волокна задається в межах 10–30 тис. м.

Контроль якості готового виробу проходить шляхом лабораторних перевірок.

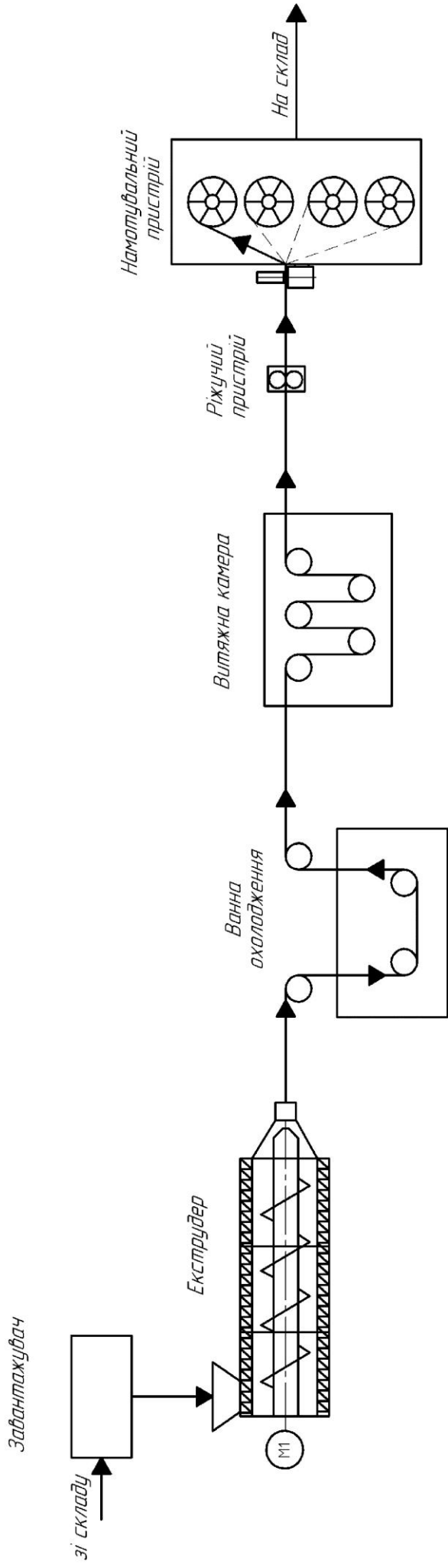


Рисунок 1.1 – Технологічна схема виготовлення ІІІ волокна

2 ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

На основі опису технологічного процесу, та схеми виготовлення ПП волокна, було виявлено ключові параметри для керування, перелік яких наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Параметри технологічного процесу виготовлення ПП волокна

№	Найменування параметру	Значення параметру	Допустимі відхилення	Функція	Місце встановлення
1	Температура	+ 105 °С	5%	Контроль, регулювання	Температура екструдера (зона 1)
2	Температура	+ 175 °С	5%	Контроль, регулювання	Температура екструдера (зона 2)
3	Температура	+ 265 °С	2%	Контроль, регулювання	Температура екструдера (зона 3)
4	Температура	+ 275 °С	2%	Контроль, регулювання	Температура екструдера (формувальна голівка)
5	Температура	+ 110 °С	5%	Контроль, регулювання	Температура витяжної шафи
6	Рівень	0,5 м	5%	Контроль, регулювання	Кількість сировини в бункері завантаження
7	Швидкість	10 – 55 об/хв	0.1%	Контроль, регулювання	Оберти шнека екструдера
8	Швидкість	20 – 100 об/хв	0.1%	Контроль, регулювання	Оберти витяжного механізму
9	Розмір	10 – 30 тис. м	0.01%	Контроль, регулювання	Поперечний ріжучий механізм
10	Розмір	1 – 1.5 м	0.1%	Контроль, регулювання	Поздовжній ріжучий механізм
11	Контроль ввімкнення	0 – 1	-	Контроль	Система видалення та переробки відходів та браку виробництва

3 ВИБІР КАНАЛІВ КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ

З метою забезпечення безпечного протікання технологічного процесу виготовлення ПП волокна, описаного в пункті 1.1. На основі таблиці 2.1 та технологічної схеми (рис. 1.1) визначимо канали контролю та управління .

3.1 Канали контролю та управління

3.1.1 Контур керування температури нагрівача екструдера, в зонах 1-3, та в зоні формувальної головки

Параметр підтримки заданої температури в нагрівачах екструдера, є важливою технологічною змінною, від підтримання якої залежить якість розплаву і як наслідок якість готового виробу. Для контролю даного параметра на нагрівальні елементи встановлено датчик температури. Регулювання параметру відбувається за рахунок встановлених твердотільних реле.

Для керування температурою екструдера (поз. п. 1-4) використовується контур керування температури, зображений на рисунку 3.1.

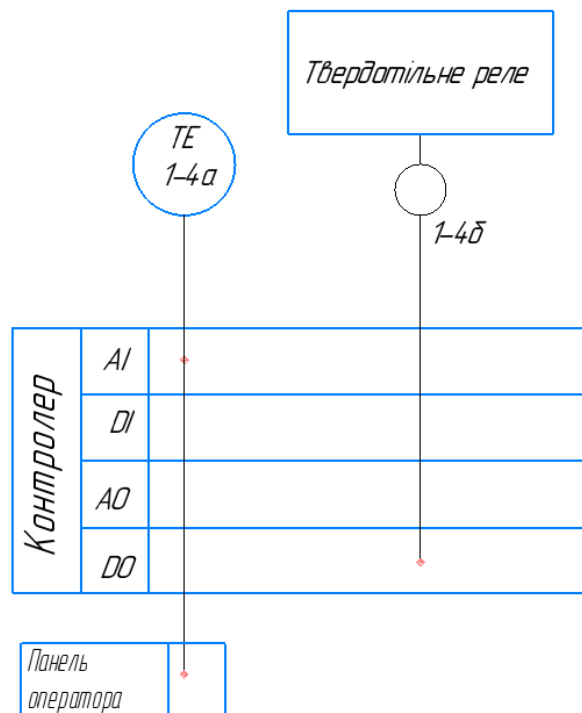


Рисунок 3.1 – Контур керування температурою в екструдері

3.1.2 Контур керування температурою витяжної шафи

Параметр підтримки заданої температури в зоні витяжної шафи, є важливою технологічною змінною, так як саме на цьому етапі відбувається остаточне витягування та формування готового виробу (ПП волокна). Для контролю даного параметра всередині витяжної шафи встановлено датчик температури. Регулювання параметру відбувається за рахунок регулюючого клапану подачі водяного пару, що надходить з трубопроводу.

Для керування температурою витяжної шафи (поз. п. 5) використовується контур керування температурою зображений на рисунку 3.2.

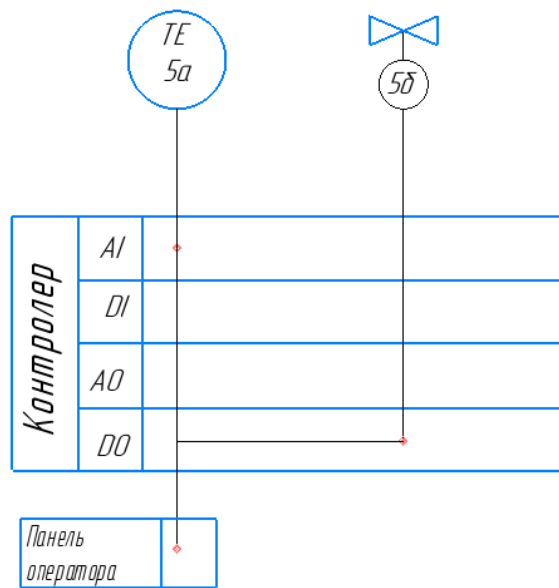


Рисунок 3.2 – Контур керування температурою витяжної шафи

3.1.3 Контур керування рівня заповненості бункера завантажувача

Параметр підтримки рівня сировини в бункері завантажувача, є важливою технологічною змінною від підтримання якої залежить неперервність процесу. Для контролю параметра рівня сировини в бункері завантажувача встановлено датчик рівня. Керування рівнем відбувається за рахунок завантажувача.

Для керування рівнем сировини в бункері завантажувача (поз. п. 6) використовується контур керування рівня зображений на рисунку 3.3.

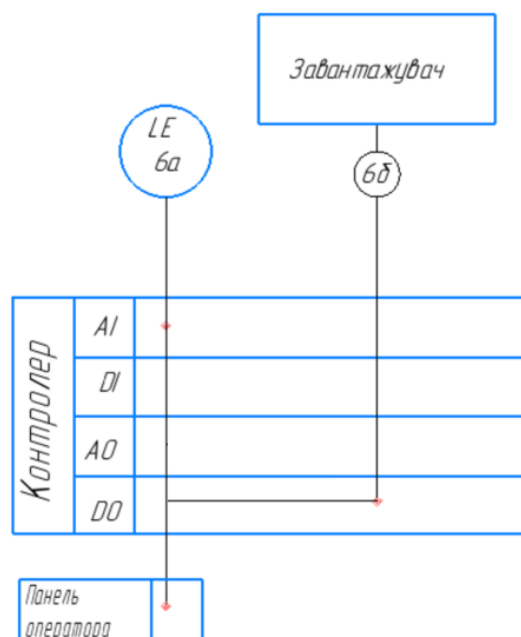


Рисунок 3.3 – Контур керування рівнем бункера завантажувача

3.1.4 Контур керування швидкістю обертів шнека

Параметр керування швидкістю обертів шнека, є важливою технологічною змінною, від підтримання якої залежить якість отриманого розплаву поліпропілену. Для контролю параметра швидкості обертів шнека встановлено датчик виміру швидкості – енкодер. Керування швидкістю відбувається за рахунок перетворювача частоти. Керуючий сигнал з контролера надходить до ПЧ котрий в свою чергу керує двигуном шнека екструдера.

Для керування швидкістю обертів шнека екструдера (поз. п. 7) використовується контур керування швидкістю зображений на рисунку 3.4.

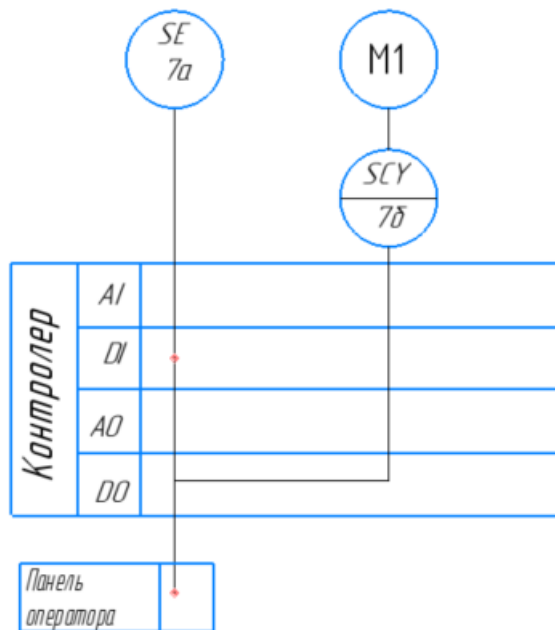


Рисунок 3.4 – Контур керування швидкістю шнека екструдера

3.1.5 Контур керування швидкістю витяжного механізму

Параметр керування швидкістю витяжного механізму, є важливою технологічною змінною, від підтримання якої залежить якість готового виробу, оскільки на даному етапі відбувається остаточна витяжка та термофіксація. Для контролю швидкості обертання витяжного механізму, використовується енкодер. Керування швидкістю відбувається за рахунок перетворення сигналу живлення двигуна витяжного механізму перетворювачем частоти, який в свою чергу керується з контролера.

Для керування швидкістю обертання витяжного механізму (поз. п. 8) використовується контур керування швидкістю зображений на рисунку 3.5.

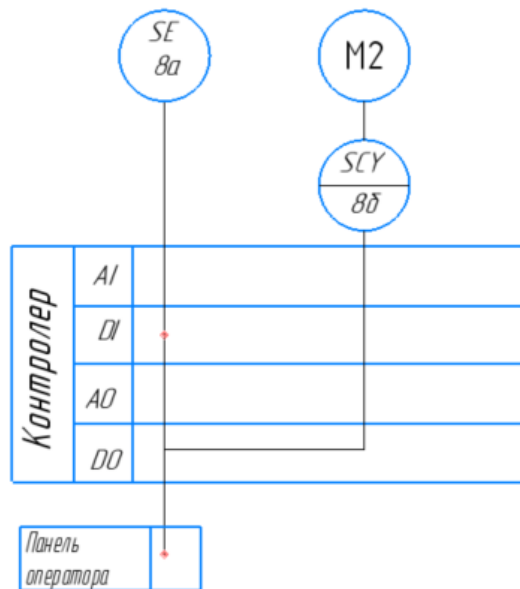


Рисунок 3.5 – Контур керування швидкістю обертання витяжного механізму

3.1.6 Контур керування поперечним ріжучим механізмом

Параметр керування ріжучим механізмом, є важливою технологічною змінною від підтримання якої залежить стабільна робота намотувального пристрою, та відсутність економічних збитків, за рахунок контролю розмірів продукту. Для контролю ріжучого механізму, а саме довжини готового продукту використовується енкодер. Керування ріжучого механізму, що відповідає за довжину виробу здійснюється шляхом подачі керуючого сигналу на двигун механізму відповідного призначення.

Для керування ріжучим механізмом поперечного відрізання (поз. п. 9) використовується контур керування ріжучим механізмом зображений на рисунку 3.6.

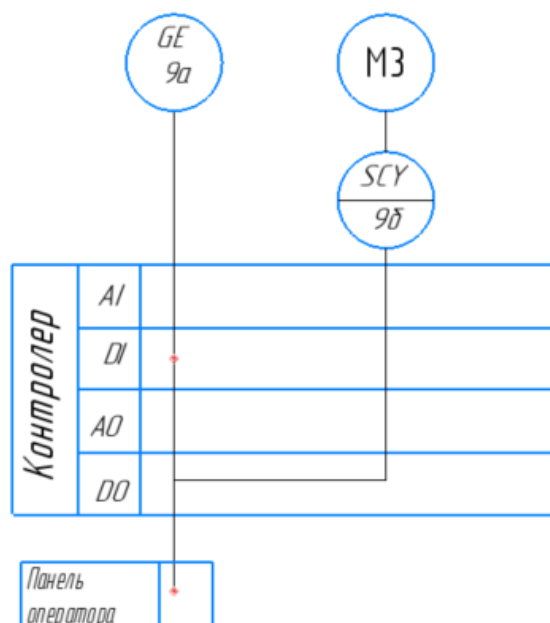


Рисунок 3.6 – Контур керування поперечним ріжучим механізмом

3.1.7 Контур керування поздовжнім ріжучим механізмом

Параметр керування поздовжнім ріжучим механізмом, є важливою технологічною змінною від підтримання якої залежить контроль розмірів продукту. Для контролю поздовжнього ріжучого механізму використовується датчик відстані. Керування шириною готового виробу здійснюється шляхом подачі керуючих сигналів з контролера на два крокових двигуни. Вибір крокових двигунів зумовлений можливістю їх легкого і точного позиціонування в порівнянні з асинхронними чи двигунами постійного струму.

Для керування ріжучим механізмом поздовжнього відрізання (поз. п. 10) використовується контур керування ріжучим механізмом зображений на рисунку 3.7.

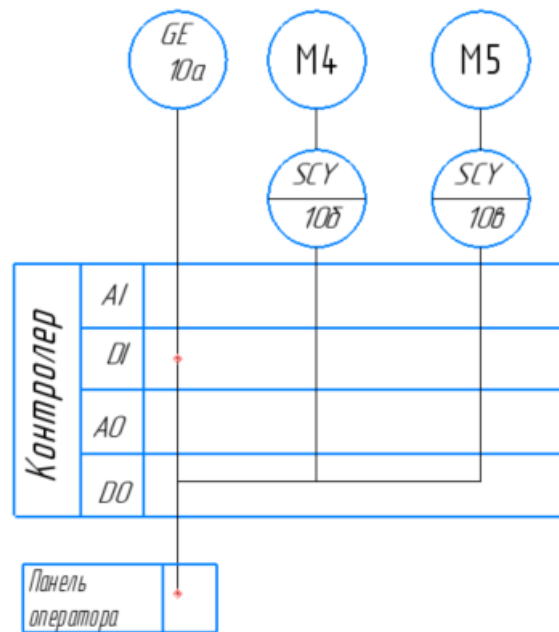
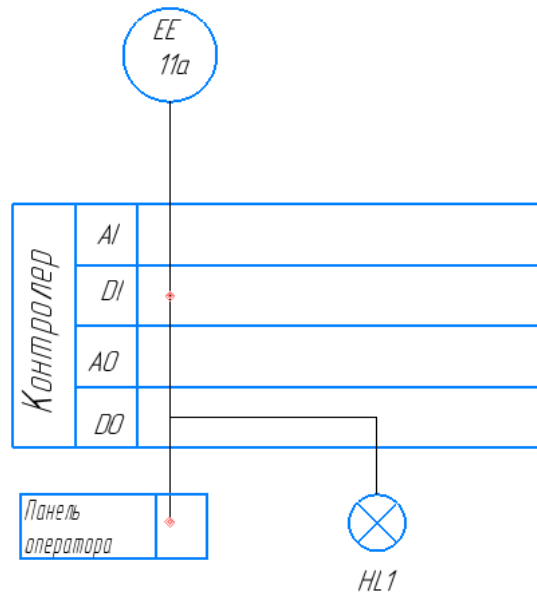


Рисунок 3.7 – Контур керування поздовжнім ріжучим механізмом

3.1.8 Контур контролю ввімкнення системи збору відходів та браку

Параметр контролю за збором відходів та браку, є важливою технологічною змінною дотримання якої забезпечить безпеку протікання процесу виготовлення ПП волокна та персоналу, що задіяний в даному процесі. Контроль ввімкнення системи збору відходів та браку здійснюється шляхом отримання цифрового сигналу від даної системи, і відображається як на панелі оператора так і за допомогою сигнальної лампи розміщеної безпосередньо в приміщенні, де виготовляється ПП волокно.

Для контролю ввімкнення системи збору відходів та браку (поз. п. 11) використовується контур керування зображений на рисунку 3.8.



3.8 Контур контролю ввімкнення системи збору відходів та браку виробництва.

3.2 Функціональна схема технічних засобів автоматизації

На основі опису технологічного процесу виготовлення ПП волокна (пункт 1.1), а також технологічної схеми його виготовлення (рис. 1.1). З врахуванням обраних параметрів керування технологічним процесом (таблиця 2.1), та розроблених контурів керування та контролю, розроблено функціональну схему системи управління виготовлення ПП волокна.

4 ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Вибір технічних засобів автоматизації за допомогою яких буде здійснюватися управління процесом, повинні бути обрані з урахуванням особливостей виробництва та бути простими та надійними в експлуатації. Крім того вибір засобів автоматизації повинен бути економічно обґрунтований та доступний для купівлі. Першочерговими критеріями для вибору технічних засобів автоматизації процесу виготовлення ПП волокна, є: точність та надійність. Саме ці критерії дозволять зробити виробництво більш безпечним та економічно вигідним, мінімізувавши можливість виготовлення бракованої продукції.

4.1 Вибір датчиків

З врахуванням обраних параметрів контролю та регулювання (таблиця 2.1), розроблених контурів керування та контролю (пункт 3.1), можна зробити висновок що нам необхідні такі датчики: температури, рівня, швидкості та відстані.

4.1.1 Вибір датчиків температури.

З урахуванням умов установки, та доволі широкого спектру вимірювання температур $\sim 100 - 300$ °С, для зручності подальшої експлуатації необхідно обрати датчики температури здатні працювати в широкому діапазоні температур, або ж мати функціональну можливість заміни вимірювальної частини на більш термостійку.

Датчики температури фірми Danfoss, типу MBT5250 та MBT 5252, фірми ОВЕН ДТС 045.И, основні характеристики яких зведені до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Основні технічні характеристики датчиків температури

Назва приладу	Вихідний сигнал	Клас точності	Діапазон вимірювання	Ступінь захисту
MBT5250	4...20 мА	$\pm 0,2$ %; $\pm 0,4$ %	-50..+200 °С	IP65
MBT 5252	4...20 мА	$\pm 0,2$ %; $\pm 0,4$ %	-50..+400 °С	IP65
ДТС 045.И EXD	4...20 мА	$\pm 0,25$ %; $\pm 0,5$ %	-50..+300 °С	IP65

Як видно з таблиці 4.1 та проаналізувавши наявність обраних датчиків, для виміру температури в екструдері, та витяжній шафі найбільше підходить датчики температури фірми Danfoss, а саме моделі MBT5250, та MBT 5252 [5], які легко модифікуються між собою, там є в наявності в широкому асортименті.

Обрані датчики базуються на стандартизованих елементах PT100 або PT1000, що забезпечує надійне та точне вимірювання. Також без проблем вимірюють температуру в газоподібних та рідких середовищах, що немаловажливо у випадку виміру температури водяного пару в зоні витяжної шафи. Зовнішній вигляд датчиків MBT5250 та MBT 5252 зображений на рисунку 4.1.



Рисунок 4.1 – Зовнішній вигляд датчиків температури MBT5250 та MBT 5252

4.1.2 Вибір датчиків рівня

Датчик рівня буде встановлений в бункері завантажувача поліпропіленової сировини, що має сипучу гранульовану структуру. Виходячи з особливостей місця встановлення та матеріалу, оберемо датчики рівня, що мають ультразвуковий тип роботи.

Основні параметри обраних датчиків рівня наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Зведена таблиця параметрів датчиків рівнів.

Назва датчика	Точність виміру,%	Діапазон виміру ,м	Вихідний сигнал	Ступінь захисту
BUS004P	1	0,12...1	4-20 мА або 0-10 В	IP 67
ULM-70_-02	0.15	0...2	4-20 мА	IP 67
E4PA-LS200-M1-N	0.3	0,12...2	4-20 мА або 0-10 В	IP 65

Оскільки, обраний датчик буде встановлено в бункері завантажувача, де можна знехтувати високою точністю в перевагу ціни, та зручності експлуатації, тому оберемо датчик рівня BUS004P, фірми BALUFF [6].

Ультразвукові датчики серії BUS мають високу точність, та універсальність використання. Можливе використання для визначення відстані та положення, може працювати як з рідинами, так і з гранулами та порошкоподібними речовинами. До того ж датчики мають інтегральну синхронізацію, що не заважає працювати один одному. Мають широкий діапазон живлення 9 – 30 В постійного струму, та вибір 4-20 мА або 0-10 В аналоговий сигнал, або ж дискретний вихід. З легкістю може працювати в пильному середовищі, та виявляти навіть тонку плівку, та кристально чисті матеріали, такі як скло, оргскло чи тонка фольга.

Зовнішній вигляд датчиків рівня серії BUS зображено на рисунку 4.2.



Рисунок 4.2 – Зовнішній вигляд датчиків рівня BUS

4.1.3 Вибір датчиків швидкості – енкодерів

Контроль та керування параметром швидкості в даному технологічному процесі має важливе значення, саме тому вибір енкодерів здатних точно та безперебійно виконувати свої функції, є важливим завданням вибору.

Основні характеристики обраних енкодерів наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Технічні характеристики енкодерів

Назва приладу	Імпульсів за оберт	Точність вимірювання, %	Вихідний сигнал	Ступінь захисту
E6B2-CWZ6C	500	0,05	NPN відкритий колектор	IP 65
E30S4-3000-6-L-5	3000	0,02	NPN відкритий колектор	IP 50
ARC S 58	2048	0,025	NPN відкритий колектор	IP 54

Серед представлених в таблиці 4.3 енкодерів для наших задач виміру швидкості обертання шнека екструдера, та швидкості витягувального механізму, з урахуванням характеристик та доступності на ринку. Оптимальним варіантом є, модель E30S4-3000-6-L-5, фірми Autonics [7].

Фірма Autonics має широкий ряд перетворювачів кута для будь-яких задач, що дозволить без проблем підібрати рішення. Обраний датчик має інкрементальний, оптичний тип, що дозволяє застосовувати даний енкодер на високоточних ділянках. До того ж в порівнянні з енкодерами що мають абсолютний тип роботи, мають більш низьку вартість при більш високій роздільній здатності.

Крім цього мають ще ряд таких переваг, як:

- простота експлуатації;

- легкість масштабування;
- простота та легкість в обробці вихідного сигналу.

Зовнішній вигляд обраної моделі енкодера наведений на рисунку 4.3



Рисунок 4.3 – Зовнішній вигляд енкодера E30S4

4.1.4 Вибір датчика для поперечного ріжучого пристрою (виміру довжини)

Оскільки в попередньому пункті ми вибрали інкрементальний енкодер, що має достатню роздільну здатність для вирішення задачі виміру довжини. Тому, з метою уніфікації обраних засобів автоматизації. Для задачі виміру довжини ПП волокна виберемо енкодер E30S4-3000-6-L-5, технічні характеристики та переваги якого описані в попередньому пункті. Єдиною відмінністю буде використання даного енкодера в поєднанні з мірним колесом, що дозволить полегшити вирішення задачі виміру довжини. Приклад такого використання наведений на рисунку 4.4.



Рисунок 4.4 – Приклад використання енкодера з мірним колесом

4.1.5 Вибір датчика для поздовжнього ріжучого пристрою (вимір ширини)

Даний параметр є надзвичайно важливим, оскільки неточність чи похибка вимірювання може призвести до виникнення браку продукції, яка відповідає всім іншим нормам та вимогам відповідно до технічного завдання. Тому обраний датчик в першу чергу повинен мати необхідний робочий діапазон та точність. Тому для вирішення задач такого рівня виберемо датчики, що мають оптичний тип роботи, так як датчики з оптичним типом роботи здатні виконувати роботу з високою точністю виміру, до міліметра, деякі навіть до мікромметра. Приклад роботи датчиків відстані оптичного типу наведено на рисунку 4.5.

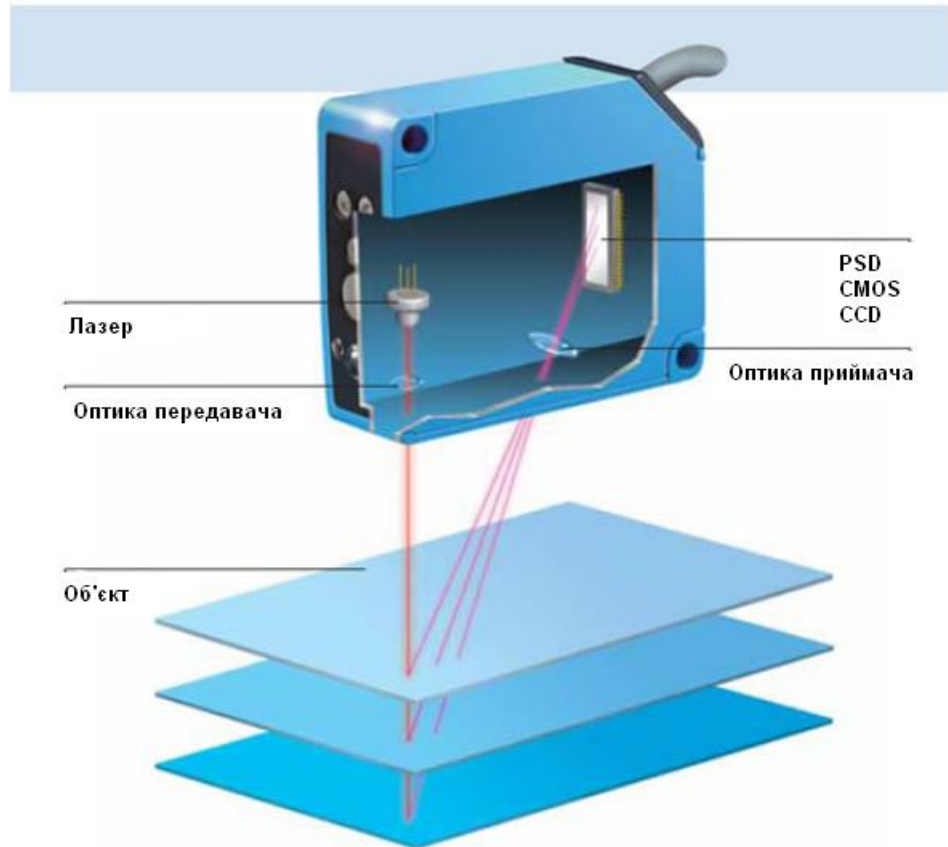


Рисунок 4.5 – Приклад роботи датчика відстані оптичного типу

Перелік характеристик обраних датчиків наведений в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 Технічні характеристики оптичних датчиків виміру відстані

Назва приладу	Робоча відстань, м	Точність вимірювання, %	Вихідний сигнал	Ступінь захисту
E3JM	0.1– 4	0,05	NPN	IP 66
IFM O5D102	0.03 – 2	0,02	NPN	IP 65
QMI9/0P-0A	0.3 -1.5	0,025	PNP	IP 67

Відповідно до технічних характеристик датчиків та необхідних відповідних характеристик технологічного процесу, для даної задачі найбільше підходить датчик IFM O5D102 [8], оскільки має кращу точність та достатній діапазон вимірювання в порівнянні з аналогами.

Зовнішній вигляд обраного датчика наведено на рисунку 4.6.



Рисунок 4.6 – Зовнішній вигляд датчика IFM O5D102

4.2 Вибір керуючих органів та виконавчих механізмів

4.2.1 Вибір твердотільного реле

Для керування нагрівачами розташованими в корпусі екструдера та формуючій голівці, з метою отримання стабільного розплаву поліпропілену, відповідно до технічних вимог, необхідно обрати відповідний засіб для автоматичного керування. В даному випадку для підтримки температури на заданому рівні оберемо твердотільне реле. Характеристики реле представлені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Основні характеристики твердотільних реле

Найменування	Робоча напруга, В	Робочий струм, А	Керуючий сигнал	Ступінь захисту
GJH3-80LAA	24...480	80	90-250В AC	IP 20
SSR-80AA	10...380	80	80-250В AC	IP 20
SRH3-4475	48...480	75	90-240В AC, 4-30В DC	IP 20

З таблиці 4.5 видно, що всі три підбрані реле мають схожі характеристики, тому серед представлених оберемо SRH3-4475 [9]. Оскільки дане реле має, різноманіття для підключення, та

випускається фірмою Autonics, засоби автоматизації якої ми уже використовуємо для даного технологічного процесу.

Зовнішній вигляд обраної моделі твердотілого реле представлений на рисунку 4.7



Рисунок 4.7 – Зовнішній вигляд твердотілого реле SRH3-4475

4.2.2 Вибір регулюючих клапанів

Оскільки в даному випадку електропривід запірної арматури буде працювати з регулюванням подачі водяного пару, виникає необхідність вибору електроприводу, котрий безперебійно буде працювати в складних умовах підвищеної температури. Технічні характеристики підібраних електроприводів запірної арматури представлені в таблиці 4.6

Таблиця 4.6 – Технічні характеристики електроприводів запірної арматури

Найменування	Робоча напруга, В	Робоча температура, °С	Керуючий сигнал	Ступінь захисту
NRQ24A-SR	24	80	0-10В DC	IP 54
AMV435	24	130	0-10В DC	IP 54
TA-MC55Y	24	60	0-10В DC	IP 54

З таблиці 4.6 видно, що при всіх інших однакових параметрах, суттєво виділяється робоча температура, що в даному випадку має суттєве значення. Крім того електропривід AMV435 [10], що має найкращі показники робочої температури випускається фірмою Danfoss, засоби автоматизації якої ми уже використовуємо для даного технологічного процесу.

Електроприводи серії AMV435 керуються імпульсними сигналами, що забезпечує тривалу та безвідмовну роботу електроприводу, крім того має функцію ручного керування. В додаток до всього, дана модель електроприводу оснащена силовими контактними муфтами, які відключають двигуни приводів при досягненні штоком клапанів крайніх клапанів, та у випадку перенавантаження приводу

Зовнішній вигляд редукторного електроприводу серії AMV435 зображено на рисунку 4.8.



Рисунок 4.8 – Електропривод серії AMV435

4.2.3 Вибір завантажувача

Для автоматичної подачі гранул поліпропілену до бункера екструдера, використаємо вакуумний завантажувач. Перевагами використання якого є те, що при використанні вакуумного завантажувача здійснюється автоматична, безперебійна подача сировини, що дозволить вчасно та дозовано завантажувати сировину.

Основні технічні характеристики вакуумних завантажувачів наведені в таблиці 4.7

Таблиця 4.7 – Технічні характеристики завантажувачів.

Найменування	P320 – 50	SAL-430	S52
Потужність двигуна, кВт	1.5	0.42	1
Продуктивність, Кг / год	300	200	150
Напруга живлення, В	220	220	220

Серед представлених в таблиці 4.7 вакуумних завантажувачів, відповідно до їх технічних характеристик та вимог виробництва оптимальним рішенням, є SAL-430 [11], оскільки має достатню продуктивність з запасом, та більшу енергоефективність в порівнянні з аналогами. Крім того має такі переваги використання:

- автоочистка фільтра
- оснащений індукційним двигуном, що дозволяє знизити шум та підвищити надійність роботи;
- конструкція з нержавіючої сталі.

Приклад схеми розміщення вакуумного завантажувача наведено на рисунку 4.9.

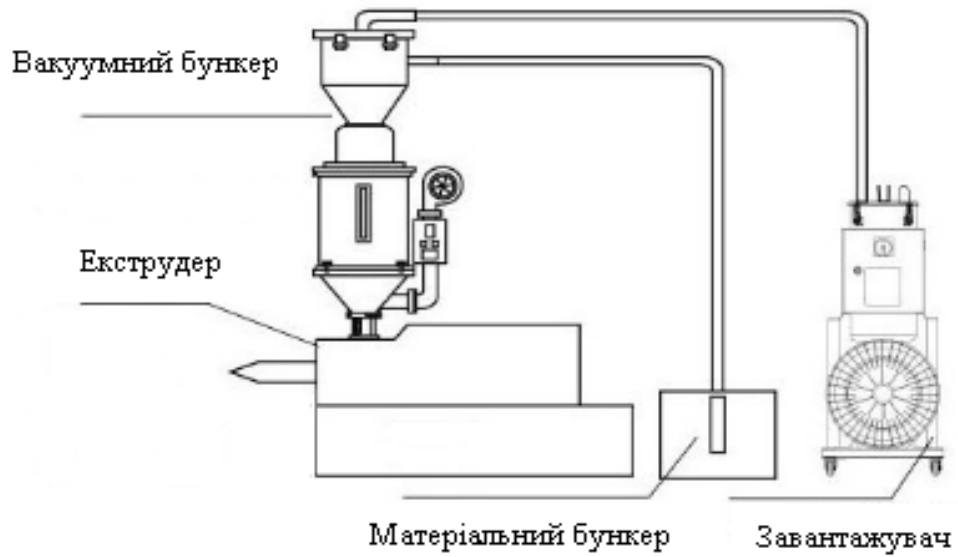


Рисунок 4.9 – Схема розміщення завантажувача

Зовнішній вигляд вакуумного завантажувача сиrowини SAL-430 зображено на рисунку 4.10.



Рисунок 4.10 – Зовнішній вигляд SAL-430

4.2.4 Вибір перетворювача частоти

З метою автоматичного керування, а також зниження витрат електроенергії для керування двигуном шнека екструдера використаємо перетворювач частоти. Використання перетворювача частоти для керування двигунами дозволяє:

- знизити вживання електроенергії;
- регулювати продуктивність;

- зменшити механічні пошкодження, шляхом плавного керування пуском та зупинкою двигуна;
- додаткові функції контролю, та керування роботою електродвигуна.

Виберемо перетворювач частоти з представлених у таблиці 4.8, та їх характеристик, що відповідають вимогам підключення двигуна шнека екструдера потужністю в 32кВт.

Таблиця 4.8 – Основні характеристики перетворювачів частоти.

Виробник	Danfoss	Schneider Electric	ABB
Найменування	VLT Basic Drive FC 101	Altivar 212	ACS580
Вхідна напруга, В	380	380	380
Вихідна частота, Гц	0.2-400	0.2-500	0.2-500
Потужність двигуна, кВт	37	37	37
Сигнали керування	0-10В, 4 -20мА; RS-485, USB-порт	0-5В, 0-10В, 4-20мА; RS-485	Ethernet, USB-порт, RS-485

З представлених у таблиці 4.8 технічних характеристик ПЧ, можна зробити висновок про рівнозначність вибору між ними. Тому, для уніфікації засобів автоматизації виберемо ПЧ фірми Danfoss VLT Basic Drive FC 101 [12], оскільки з вище наведеного списку засобів автоматизації ми уже вибирали продукти даного виробника. Даний продукт дозволить виконувати моніторинг стану двигуна, оптимізує енергоефективність, забезпечить захист лінійних гармонічних функцій, та інші корисні функції для керування моніторингу та підвищення ефективності.

Зовнішній вигляд ПЧ Danfoss VLT Basic Drive FC 101 наведено на рисунку 4.11.



Рисунок 4.11 – Зовнішній вигляд ПЧ Danfoss VLT Basic Drive FC 101

4.2.5 Вибір перетворювача частоти для двигуна витягувального механізму

Оскільки при виборі засобів автоматизації ми віддавали перевагу рішенням фірми Danfoss, так наприклад вибір ПЧ для двигуна шнека екструдера. Тому для двигуна витягувального механізму потужністю 5.5 кВт виберемо перетворювач частоти Danfoss з таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Характеристики ПЧ Danfoss для витягувального механізму

Найменування	VLT Micro Drive FC 51	iC2-Micro	VLT Basic Drive FC 101
Вхідна напруга, В	380	380	380
Вихідна частота, Гц	0.2-400	0.2-400	0.2-400
Потужність двигуна, кВт	7.5	7.5	7.5
Сигнали керування	0-10В, 4 -20мА; RS-485	0-5В, 0-10В, 4- 20мА; RS-485	0-5В, 0-10В, 4-20мА; RS-485
Ціна, грн	28 500	43 500	66 500

Як видно з таблиці 4.9 за умов одного виробника та схожих технічних характеристиках, параметром який значно відрізняється та є вирішальним при виборі є ціна. Тому в якості перетворювача частоти для двигуна витягувального механізму виберемо Danfoss VLT Micro Drive FC 51 [13], потужністю 7.5 кВт.

Зовнішній вигляд вибраного ПЧ наведено на рисунку 4.12.



Рисунок 4.12 – Зовнішній вигляд виберемо Danfoss VLT Micro Drive FC 51

4.2.6 Вибір намотувального пристрою

Якісно підібраний намотувальний пристрій для технологічного процесу дозволить забезпечити неперервність процесу, та полегшить роботу обслуговуючого персоналу.

Далі розглянемо намотувальні пристрої для намотування та пакування готового ПП волокна.

Намотувальний пристрій фірми Pyradia TREW series, один з найкомпактніших револьверних намотчиків. Здатний працювати з різними матеріалами, такими як плівка, фольга, папір та неткані матеріали. Робота системи намотувального пристрою повністю автоматизована, та керується з ПЛК для неперервності роботи.

Зовнішній вигляд намотувального пристрою TREW series, зображено на рисунку 4.13.

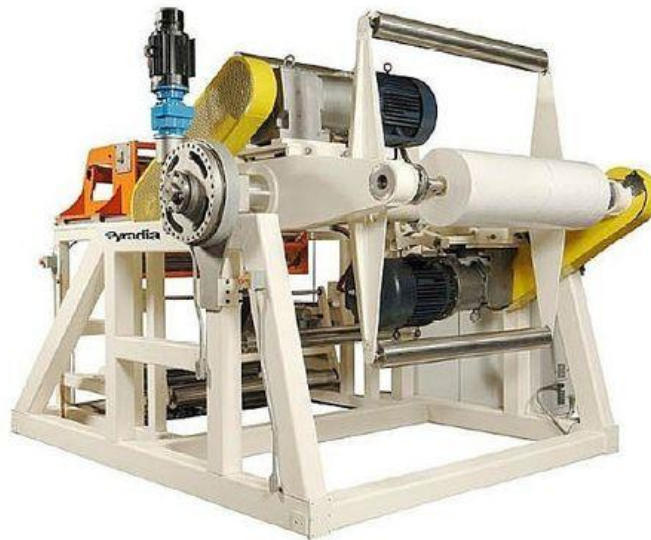


Рисунок 4.13 – Зовнішній вигляд TREW series

Намотувальний пристрій CarbonStar 2-сop, фірми Georg Sahn, дозволяє досягти максимальної ефективності за рахунок двох шпул на одній намотувальній головці. Застосовується для намотування плівки та текстильних ниток. До переваг даного намотувального пристрою відносяться:

- безпека експлуатації, за рахунок автоматичного перемикання;
- економія електроенергії, за рахунок використання приводів нової технології;
- мінімальна площа;
- відсутність відходів, при зміні шпулі.

Автоматична заміна шпулі відбувається за рахунок досягнення одного з наступних критеріїв: довжина виробу, час намотування, вага пакунку, діаметр пакунку або зовнішній сигнал. Має центральний блок керування (з сенсорним екраном) для введення, відображення та зберігання параметрів процесу установки.

Зовнішній вигляд намотувального пристрою CarbonStar 2-сop, наведено на рисунку 4.14.

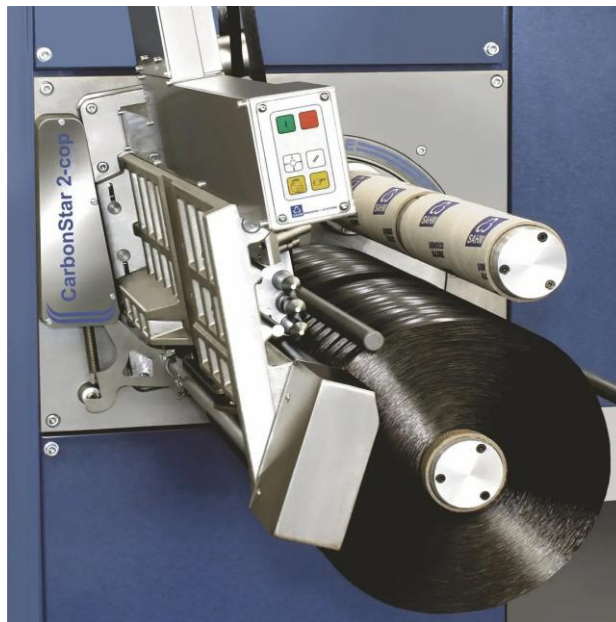


Рисунок 4.14 – Зовнішній вигляд CarbonStar 2-cop

Намотувальний пристрій FTW-2000, фірми MONDON WINDING & CONVERTING MACHINES, застосовується для намотування плівки, паперу та нетканих матеріалів. За рахунок револьверної конструкції, повністю автоматичний, що дозволяє виконувати роботу неперервно. До переваг належить:

- повністю автоматичний;
- упаковка готового матеріалу;
- автоматичне розвантаження рулону;
- безпечна робоча зона;
- простота експлуатації та обслуговування;
- наявність відрізного механізму.

Зовнішній вигляд пристрою FTW-2000 зображено на рисунку 4.15.



Рисунок 4.15 – Зовнішній вигляд намотувального пристрою FTW-2000

З розглянутих вище намотувальних пристроїв, а саме TREW series, CarbonStar 2-cop та FTW-2000, для автоматизації технологічного процесу виготовлення ПП волокна, найкращим варіантом є FTW-2000 [14]. Оскільки, даний пристрій повністю автоматичний, має функцію автоматичного вивантаження рулонів, та включає в себе відрізний пристрій. Технічні характеристики FTW-2000 наведені в таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 Технічні характеристики FTW-2000

Робоча ширина ,м	0 – 2.0
Робоча швидкість, м/хв	0 – 500
Потужність, кВт	2.0
Діаметр рулону, мм	1500

4.2.7 Вибір крокового двигуна

Для точного позиціонування, та автоматизованого встановлення ширини поздовжнього різу виберемо кроковий двигун.

Кроковий двигун - це синхронний безколекторний з декількома обмотками електричний двигун, в якому подача електричного струму на одну з обмоток приводить до того, що його ротор фіксується в строго певному положенні. Послідовне підключення обмоток приводить до обертального руху на заданий кут. Завдяки цьому кут повороту ротора залежить від кількості послідовних перемикачів обмоток, а швидкість обертання ротора дорівнює частоті перемикачів обмоток, помноженої на кут повороту ротора за одне перемикачів.

Найбільшого поширення набули двохфазні (біполярні) крокові електродвигуни з кутовим переміщенням $1,8^\circ/\text{крок}$ (200 кроків/оберт) або $0,9^\circ/\text{крок}$ (400 кроків/оберт). Виробник гарантує точність кроку без навантаження до 5 % від величини кроку [15].

Головними перевагами крокових двигунів є точність позиціонування, завдяки конструкції та способу керування є можливість керування без зворотного зв'язку, вартість в порівнянні з сервоприводами, що виконують схожі функції.

Основні технічні характеристики крокових двигунів наведені в таблиці 4.11

Таблиця 4.11 – Технічні характеристики крокових двигунів

Найменування	Типорозмір	Момент утримання, Нм	Точність кроку,%	Струм, А
57BYG250C-8	NEMA 23	1.8	5	3
23HS6403	NEMA 23	1.1	5	2.5
17HS8401	NEMA 17	0.52	5	1.8

З наведених в таблиці характеристик крокових двигунів, найбільш вдалим вибором для задачі позиціонування поздовжнього ріжучого механізму є двигун 23HS6403, оскільки він має оптимальні характеристики для вирішення даної задачі.

Зовнішній вигляд крокового двигуна 23HS6403 наведено на рисунку 4.16.



Рисунок 4.16 – Кроковий двигун 23HS6403

4.2.8 Вибір драйвера крокового двигуна

Ефективне та економне керування положенням крокового двигуна здійснюється за допомогою спеціального драйвера. Головним призначенням таких пристроїв є забезпечення безпечної роботи крокового двигуна відповідно до заданого алгоритму роботи, а саме:

- подачу струму заданої величини і напрямки в конкретну обмотку статора двигуна;
- утримання цього струму певний період часу;
- здійснення послідовного включення і виключення струмів, з перенаправленням їх в різні обмотки, для забезпечення заданих потужних і швидкісних характеристик приводу, відповідно до поставленим завданням [16].

Технічні характеристики драйверів крокових двигунів наведені в таблиці 4.12.

Таблиця 4.12 – Технічні характеристики драйверів

Модель	Напруга живлення, В	Вихідний струм, А	Частота імпульсів, кГц	Керування
DM556	20 – 50	1.4 – 5.6	0 – 200	STEP/DIR
DM860D	24 – 80	2 – 6	0 – 200	STEP/DIR
MDC-230A	12 – 32	0.6 - 3	0 – 100	STEP/DIR

Відповідно до обраного крокового двигуна (пункт 4.2.7) та технічних характеристик драйверів, оптимальним варіантом використання є драйвер моделі DM556 [17].

Зовнішній вигляд драйвера крокового двигуна DM556, зображено на рисунку 4.17.



Рисунок 4.17 – Драйвер крокового двигуна моделі DM556

4.2.9 Вибір контролера

З огляду на перелік параметрів контролю та регулювання (таблиця 2.1), функціональну схему автоматизації, та особливості обраних вище засобів автоматизації, приведемо вимоги відносно портів контролера. Вимоги портів ПЛК наведені в таблиці 4.13.

Таблиця 4.13 – Вимоги до портів ПЛК

Сигнали	Кількість сигналів
Аналогові вхідні	6
Дискретні вхідні	5
Аналогові вихідні	0
Дискретні вихідні	8

З таблиці 4.13 видно, що важливим параметром при подальшому виборі ПЛК є кількість каналів вводу/виводу, що підтримуються, та їх тип. Крім того можливість підключення ПЛК до зовнішніх, та модулів вводу/виводу.

ПЛК DVP-20EX фірми Delta Electronics, є хорошим вибором для побудови високоефективних систем автоматизації при мінімальних витратах, на придбання обладнання та розробку системи. До особливостей контролерів Delta Electronics, належать:

- доступні мови програмування відносно стандарту MEK – 61131;
- висока продуктивність – 0.3 мкс на крок;
- наявність операцій з плаваючою комою;
- можливість гарячої заміни модулів;

- широку номенклатуру модулів розширення.

Функціональні характеристики ПЛК DVP-20EX виробництва Delta Electronics наведені на рисунку 4.18.

Элемент		Описание		Примечание			
Метод выполнения программы		Циклическое сканирование с внешними и временными прерываниями					
Метод обработки вх/вых		Групповое обновление (после инструкции END) или по команде обновления I/O					
Время выполнения инструкций		Основных – 3.92...7.6 мкс		Специальных - 10...100мкс			
Языки программирования		LAD (релейно-контактные схемы), IL (список инструкций), SFC (функц. бл.)		Включая шаговые инструкции			
Объем памяти программы		4 К слова или 3792 шагов		EEPROM			
Набор инструкций		32 основные инструкции (включая шаговые) и 107 специальных					
X	Входные реле	128 точек (X0 – X177)	Макс.256 точек	Внешние входные сигналы			
Y	Выходные реле	128 точек (Y0 – Y177)		Внешние вых. сигналы			
M	Внутренние реле	Общие	744(M0-M511, M768-M999)	Макс. 1280 точек			
		Энергонезав.	256 точек (M512-M767)				
		Специальные	280 точек (M1000-M1279)				
S	Шаговые реле (энергонез.)	Инициализир.	10 точек (S0-S9)	Макс. 128 точек	Используются в шаговых лестничных диаграммах		
		Возвращ. в нулев. точку	10 точек (S10-S19) используются с инстр. IST				
		Общие	108 точек (S20-S127)				
T	Таймеры	Дискр. 100мс	64 точки (T0-T63)	Макс. 128 точек	M1028=ON – дискретн. 10мс M1028=OFF-дискретн. 100мс		
		Дискр. 10мс	63 точки (T64-T126)				
		Дискр. 1мс	1 точка (T127)				
C	Счетчики	Инкрементный (16 бит)	112 точек (C0-C111)	Макс. 128 точек			
		Инкр. (16 бит) энергонезавис.	16 точек (C112-C127)				
		Инкр./декрем. 32 бит быстродействующий энергонезавис.	7 точек (C235-C244)			Макс. 13 точек	1 фаза, 1 вход
			3 точки (C246, C247, C249)				1 фаза, 2 входа
D	Регистры данных	Общие	408 точек (D0-D407)	Макс.600 точек	Могут использоваться как ячейки для хранения данных		
		Энергонезав.	192 точек (D408-D599)				
		Специальные	312 точек (D1000-D1311)			Макс.312 точек	
		Индексные	2 точки: E(=D1028), F(=D1029)				
N	Для вложенных циклов	8 точек (N0-N7)		Точки управления вложенными циклами			
P	Для инструкций CJ, CALL	64 точек (P0-P63)		Флаги для операторов перехода, подпрограмм			
I	Прерывания	Внешние	4 точки (I001, I101, I201, I301)		Флаги для подпрограмм обработки прерываний		
		Временные	1 точка (I6xx = 10-99, дискр. 1 мс)				
		Коммуникац.	1 точка (I150)				
K	Десятичные константы	K-32768 ...K32767 (16 битные операции) K-2147483648 ...K2147483647 (32 битные операции)					
H	Шестнадцатеричные константы	H0000...HFFFF (16-ти битные операции) H00000000...HFFFFFFF (32-х битные операции)					
Коммуникационные порты		COM1: RS-232, COM2: RS-485 (может быть master и slave) COM1 и COM2 могут работать независимо					
Модули расширения (опция)		ES/EX имеют модули дискретного ввода/вывода (8 -32 точки). SS имеют дискретные и аналоговые (AD, DA, PT, TC, XA, RT) модули. Примечание: 8 аналоговых модулей максимально					

Рисунок 4.18 – Функціональні характеристики ПЛК DVP-20EX

Основні технічні характеристики DVP-20EX наведені в таблиці 4.14

Таблиця 4.14 – Технічні характеристики DVP-20EX [18]

Живлення, В	220 AC, 24 DC
Входи/виходи	8DI + 6DO + 4AI + 2AO
Інтерфейси зв'язку	RS-232, RS-485
Розмір пам'яті, байт	4096

Додаткові функції	Імпульсний вихід, ШІМ- модулятор, можливість розширення до 128 ІО.
-------------------	--

ПЛК M221-24ІО компанії Schneider Electric один з найкращих в своєму класі за продуктивністю. Інтуїтивно зрозуміле машинне програмування, гнучке керування, та широка доступність прикладів використання, дозволить легко інтегрувати ПЛК Schneider Electric як в існуючу так і нову лінію виробництва.

Основні технічні характеристики ПЛК M221-24ІО наведені в таблиці 4.15 [19]

Таблиця 4.15 – Технічні характеристики M221-24ІО

Живлення, В	220 АС
Входи/виходи	14DI + 10DO + 2AI + 0AO
Інтерфейси зв'язку	RS-485,Ethernet
Розмір пам'яті, Кбайт	256

Додаткові технічні характеристики ПЛК наведені на рисунку 4.19.

Кол-Во Дискретных Входов/ Выходов	24
Модуль Количества Вх/Вых. Расширения	7 (местный вх/вых. архитектура) 14 (удаленный вх/вых. архитектура)
Пределы Напряжения Питания	85...264 мВ
Частота Сети	50/60 Гц
Максимальный Пусковой Ток	40 А
Потребляемая Мощность, Ва	58 VA в 100...240 В с модулем максимального количества вх/вых. 35 VA в 100...240 В без модуля расширения I/O
Выходной Ток Источника Питания	0,52 А 5 V для шина расширения 0,16 А 24 В для шина расширения
Тип Дискретных Входов	"приемник" или "источник" (положительная/отрицательная)
Напряжение Дискретного Входа	24 V
Тип Напряжения Дискретного Входа	Пост. тока
Разрешение Аналогового Входа	10 бит
Значение Младшего Значащего Бита	10 мВ
Время Преобразования	1 мс на канал + 1 временной цикл контроллера для аналогового ввода Аналоговый вход
Допустимая Перегрузка На Входах	+/- 30 V Постоянный ток для 5 min (Максимальное) для аналоговый вход +/- 13 В Постоянный ток (постоянный) для аналоговый вход
Предельный Уровень Коммутации Напряжения В	>= 15 В для вход
Предельный Уровень Коммутации Напряжения В	<= 5 В для вход

Рисунок 4.19 – Додаткові технічні характеристики ПЛК M221-24Ю

Програмований логічний контролер ОВЕН ПЛК160[M02] належить до лінійки ПЛК, що оснащений як дискретними так і аналоговими входами/виходами. Використовується для побудов систем автоматизації з використанням як дротових так і бездротових технологій зв'язку.

ОВЕН ПЛК160[M02] має такі переваги:

- швидкісні входи для обробки енкодерів;
- вмонтовані дискретні та аналогові входи/виходи;
- передача даних на верхній рівень автоматизації шляхом зв'язку через Ethernet або GSM-мережі;
- просте та зручне програмування.

Основні технічні характеристики ОВЕН ПЛК160[M02] наведені в таблиці 4.16 [20]

Таблиця 4.16 – Технічні характеристики ОВЕН ПЛК160[M02]

Живлення, В	220 AC, 24 DC
Входи/виходи	16DI + 12DO + 8AI + 4AO

Інтерфейси зв'язку	RS-485, Ethernet, GSM
Розмір пам'яті, Мбайт	4

Детальні технічні характеристики ОВЕН ПЛК160[M02] доступні у вільному доступі за посиланням [20].

Схема-приклад застосування ОВЕН ПЛК160[M02] зображено на рисунку 4.20.

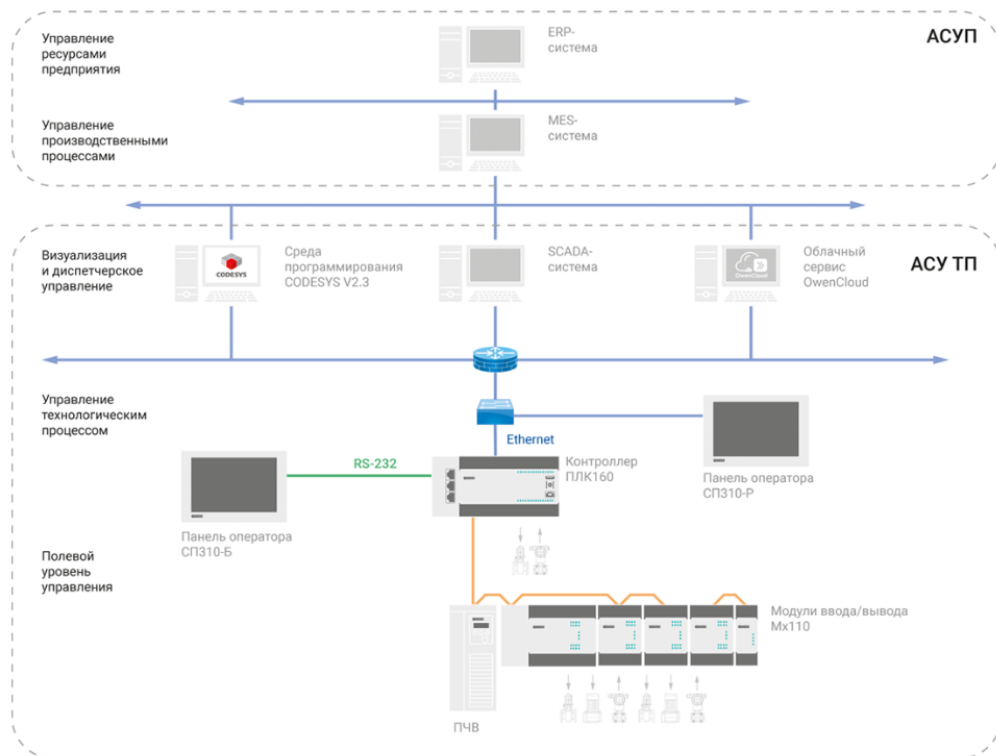


Рисунок 4.20 – Приклад застосування ОВЕН ПЛК160[M02]

З наведених вище характеристик ПЛК, таких як DVP-20EX, M221-24IO та ПЛК160[M02], відповідно до вимог таблиці 4.13, робимо висновок, що найбільш вдалим рішенням є ПЛК160[M02] компанії ОВЕН. Оскільки, даний ПЛК має достатню кількість як аналогових так і дискретних входів/виходів, навіть з запасом для можливості подальшої модернізації виробництва. Зважаючи на це, а також на доступність продукту на ринку, виберемо ПЛК160[M02] в якості програмованого логічного контролера для системи автоматизації виготовлення ПП волокна.

Зовнішній вигляд ПЛК160[M02] приведено на рисунку 4.21.



Рисунок 4.21 – Зовнішній вигляд ОВЕН ПЛК160[M02]

4.2.10 Вибір блоку живлення

Для живлення стабілізованою напругою постійного струму (24 В) обраних вище засобів автоматизації виберемо блок живлення.

Блок живлення ОВЕН БП30Б-ДЗ-24 використовується для живлення широкого спектру радіоелектронних пристроїв, та відповідає всім міжнародним стандартам з електромагнітного сумісництва та електробезпеки. Технічні характеристики БП30Б-ДЗ-24 наведені в таблиці 4.17.

Таблиця 4.17 – Технічні характеристики БП30Б-ДЗ-24

Вхідна напруга, В	90 – 264
Вихідна напруга, В	24
Потужність, Вт	30
Ступінь захисту	IP 20
Тип	Імпульсний

Блок живлення MeanWell MDR-100-24 як і попередній варіант використовується для живлення радіоелектронних пристроїв та відповідає міжнародним стандартам. Технічні характеристики MDR-100-24 наведені в таблиці 4.18.

Таблиця 4.18 – Технічні характеристики MDR-100-24

Вхідна напруга, В	85 – 265
-------------------	----------

Вихідна напруга, В	24
Потужність, Вт	100
Ступінь захисту	IP 20
Тип	Імпульсний

Серед розглянутих блоків живлення перевагу віддамо MDR-100-24 оскільки він має більшу потужність, що у випадку живлення великої кількості датчиків та виконуючих механізмів є безсумнівною перевагою. Зовнішній вигляд MDR-100-24 зображено на рисунку 4.22.



Рисунок 4.22 – Зовнішній вигляд MDR-100-24

Для живлення крокових двигунів виберемо блок живлення MEAN WELL LRS-350-48, технічні характеристики якого наведені в таблиці 4.19. Вибір окремого блоку живлення для крокових двигунів полягає у необхідності для стабільної роботи останніх більшого струму та напруги в порівнянні з іншими засобами автоматизації, інакше доведеться жертвувати технічними характеристиками.

Зовнішній вигляд MEAN WELL LRS-350-48 зображено на рисунку 4.23.

Таблиця 4.19 – Технічні характеристики LRS-350-48

Вхідна напруга, В	90 – 264
Вихідна напруга, В	48
Потужність, Вт	350
Ступінь захисту	IP 20

Тип	Імпульсний
-----	------------



Рисунок 4.23 – Зовнішній вигляд MEAN WELL LRS-350-48

4.2.11 Вибір промислового комп'ютера

В якості рішення промислового ПК, для найвищого рівня автоматизації та відображення інформації на моніторі оператора виберемо промисловий комп'ютер ARK-3440.

Промислові комп'ютери Advantech ARK-3403 оснащені 6 портами USB 2.0 та 4 послідовними портами RS-232, один з яких підтримує інтерфейси RS-422/485. Опціонально можна додати 1 паралельний та 3 послідовних порта, довівши загальну кількість портів RS232 до 7 шт. В комп'ютере Advantech ARK-3440 є DVI та HDMI порти для підключення моніторів, опціонально може бути доданий 48-бітний LVDS інтерфейс для підключення РК панелей. Промисловий комп'ютер оснащений аудіо-інтерфейсом з підтримкою High Definition Audio [20].

Основні технічні характеристики ARK-3440 наведені в таблиці 4.20.

Таблиця 4.20 – Технічні характеристики ARK-3440

Процесор	Intel® Core i7 610E 2.53GHz
Пам'ять	до 64ГБ, 4 x DIMM DDR4-2133
Живлення	9-40 В DC
Операційна система	Windows 7,10 Embedded

Додаткові характеристики зображені на рисунку 4.24.

Видео-интерфейс	CRT	Да (Интегрирован в DVI-I)
	HDMI	Да
	LVDS	48-bit LVDS (Опционально)
	DVI	Да
	Audio	HD Audio, Line-In, Spk-out, Mic-in
	Ethernet	2x 10/100/1000 Base-T (WOL)
	USB	6x USB 2.0
	eSATA	1
Интерфейсы ввода/ вывода	Serial Port	2x RS-2322, 1x RS-232/422/485, 3x RS-232 (Опционально)
	Parallel	Опционально
	Слоты расширения	PCI + PCIe x1 (по умолчанию) 2x MiniPCIe (по умолчанию) 2x PCIe x1 (с расширителем AMO-R009E) 2x PCI (с расширителем AMO-R013E) 1x PCIe x4 + PCI (с расширителем AMO-R014E)
Накопители	CompactFlash/Cfast	1x Type I/II CompactFlash Card
	HDD Drive Bay	2x 2.5" HDD bay
Рабочие условия	Рабочая температура	HDD: 0~45° C IG CF: 0 ~ 50° C
	Допустимые вибрации	HDD: 1 Grms, IEC 60068-2-64 random 5~500Hz, 1Oct./min, 1hr/axis, 3 axes; CF card: 5 Grms, IEC 60068-2-64 random 5~500Hz, 1Oct./min, 1hr/axis, 3 axes
	Допустимые ударные нагрузки	HDD: 20 G, IEC 60068-2-27 half sine 11 ms duration, 3 axes CF card: 50 G, IEC 60068-2-27 half sine 11 ms duration, 3 axes

Рисунок 4.24 – Додаткові характеристики промислового ПК ARK-3440

5 АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ

Опис алгоритму роботи системи.

Загалом, система працює за алгоритмом, показаним на рисунку 5.1.

Під час запуску система перевіряє роботу всіх пристроїв і, якщо є збій, виводить на екран повідомлення про несправність і чекає на подальші дії користувача. Якщо перевірка пройшла успішно, система ініціалізує всі пристрої і чекає на команду запуску. Коли команда запуску отримана, запускається програма запуску системи. Ця програма необхідна для уникнення нещасних випадків під час запуску, а також ризику пожежі. Після того, як програма запуску завершила повний запуск системи, система переходить в основну програму і продовжує працювати.

Підпрограма перевірки працездатності.

Для перевірки працездатності системи використовується наступний алгоритм:

Спочатку система запитує контролер про готовність і чекає на відповідь протягом певного часу, поки не спрацює сторожовий таймер. Якщо контролер не відповідає протягом цього часу, система вважається несправною; якщо всі контролери відповідають на запит, система продовжує перевіряти вихідні модулі, надсилаючи послідовні запити до кожного з них і чекаючи на відповідь. Якщо хоча б один пристрій не відповідає, система робить висновок, що сталася помилка. Якщо всі модулі вводу/виводу справні, система перевіряє датчики, надсилаючи запити та очікуючи на відповідь, як і в попередньому випадку. Якщо всі пристрої та датчики справні, система завершує роботу програми. Алгоритм роботи програми перевірки працездатності показано на рисунку 5.2.

Підпрограма для запуску системи.

Алгоритм запуску системи необхідний для уникнення аварійних ситуацій, виникнення браку продукції та економії електроенергії. Система включає в себе, перш за все, нагрівання екструдера. Це необхідно, оскільки нагрівання цієї машини є найдовшим процесом, і для економії електроенергії його слід запускати в першу чергу. Після розігріву екструдера система готова до повного запуску, вмикаються шнековий двигун та інше обладнання, і система переходить в робочий режим.

Алгоритм запуску системи показано на рисунку 5.3.

Підпрограма вимкнення системи.

Підпрограма вимкнення системи необхідна для уникнення аварійних ситуацій, браку продукції та економії електроенергії. Спочатку система вимикає нагрівання екструдерів та завантажувач. Це необхідно, оскільки вимкнення цих пристроїв не в останню чергу може призвести до аварійних ситуацій. Після вимкнення нагрівачів і завантажувача ПП гранул система готова до безпечного вимкнення, вимикаються шнекові двигуни, а потім інші пристрої автоматизації та система в цілому.

Алгоритм вимкнення системи показано на рисунку 5.4.

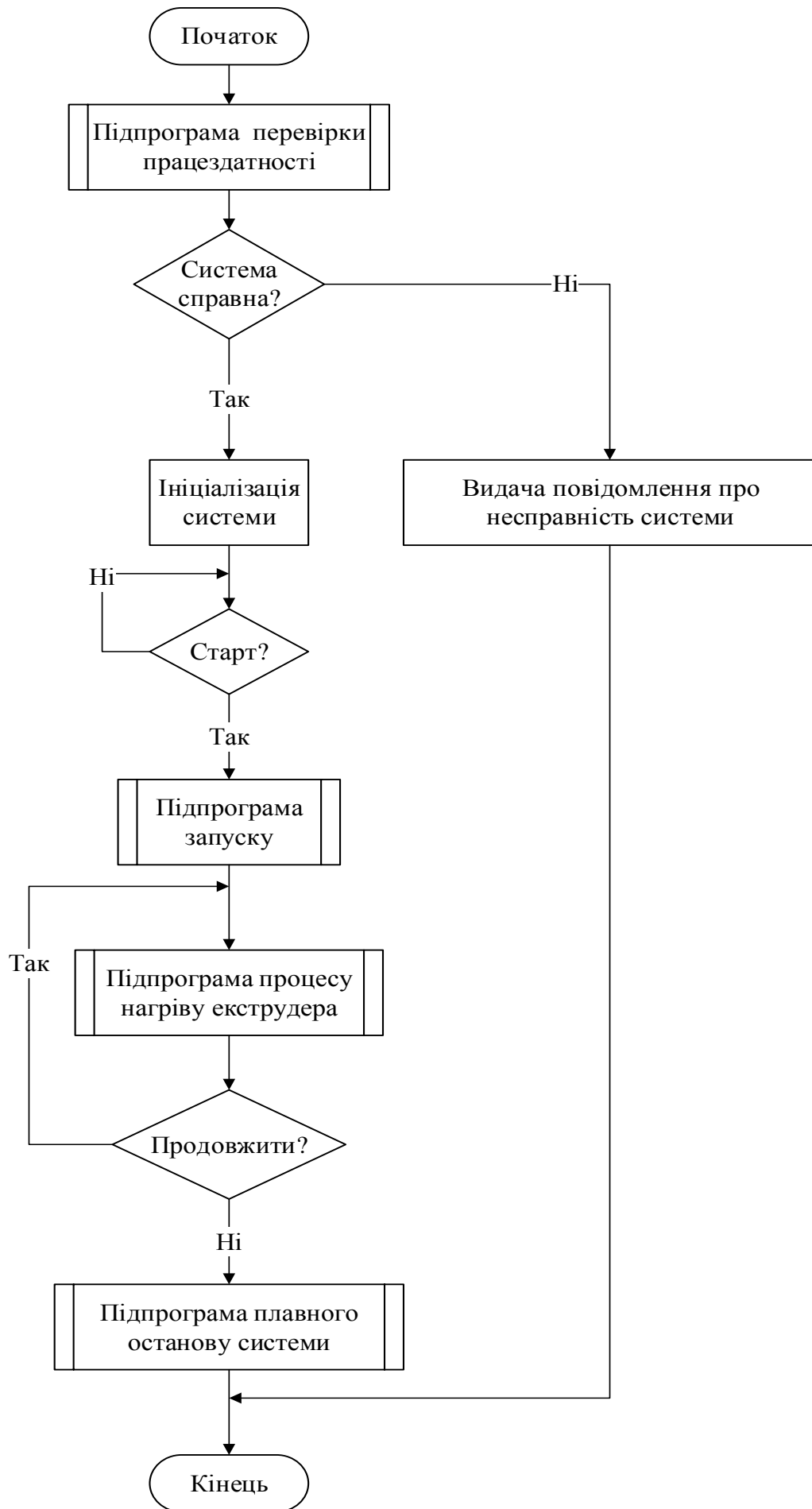
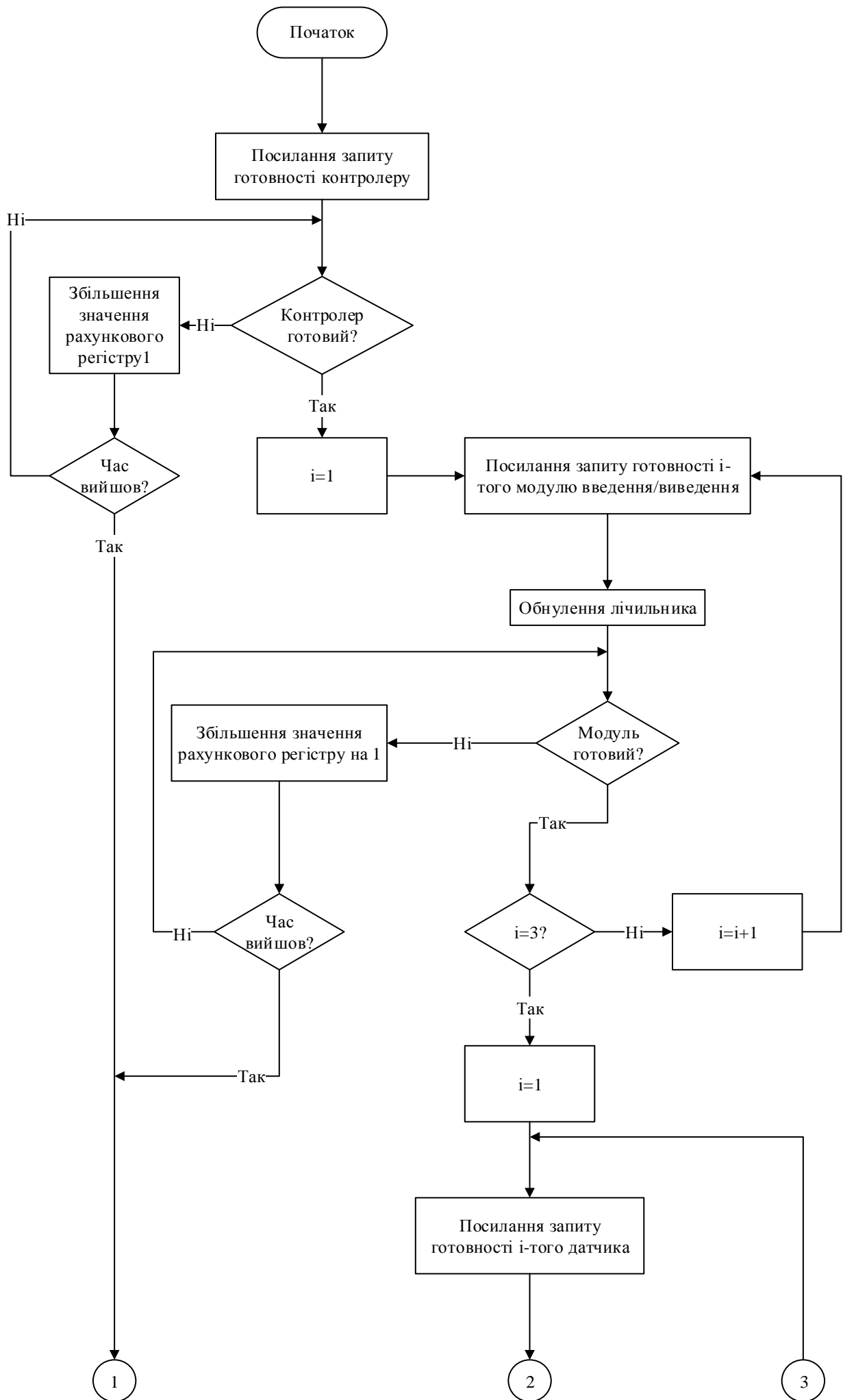


Рисунок 5.1 – Загальний алгоритм роботи системи



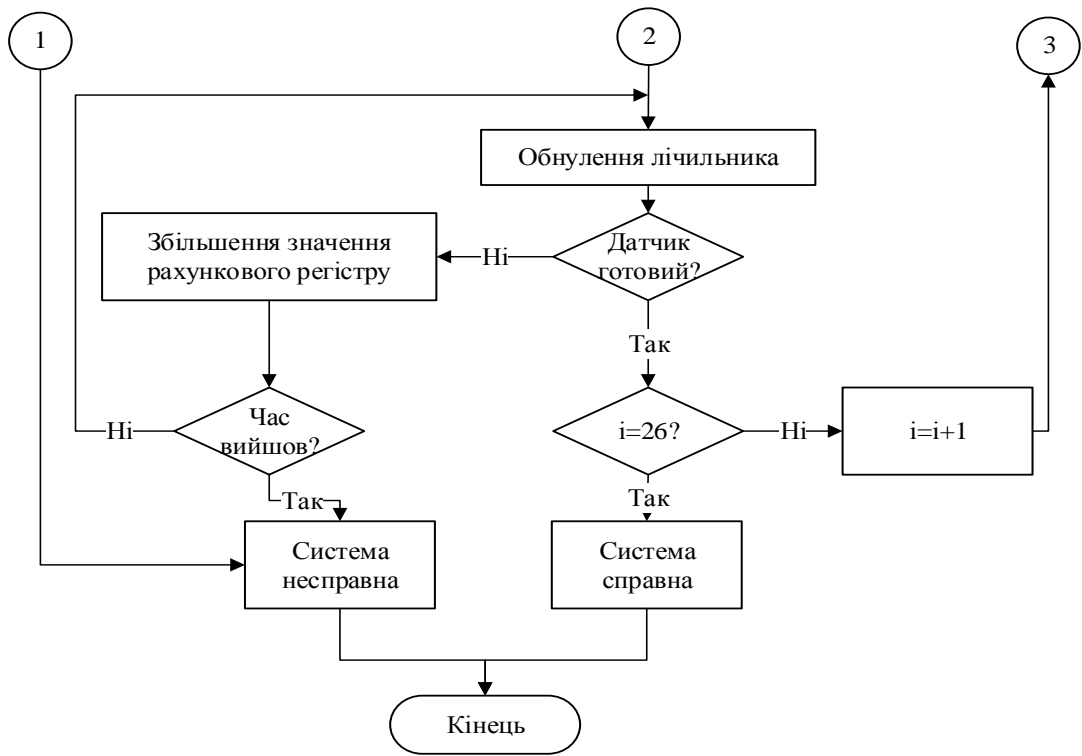


Рисунок 5.2 – Алгоритм перевірки працездатності системи

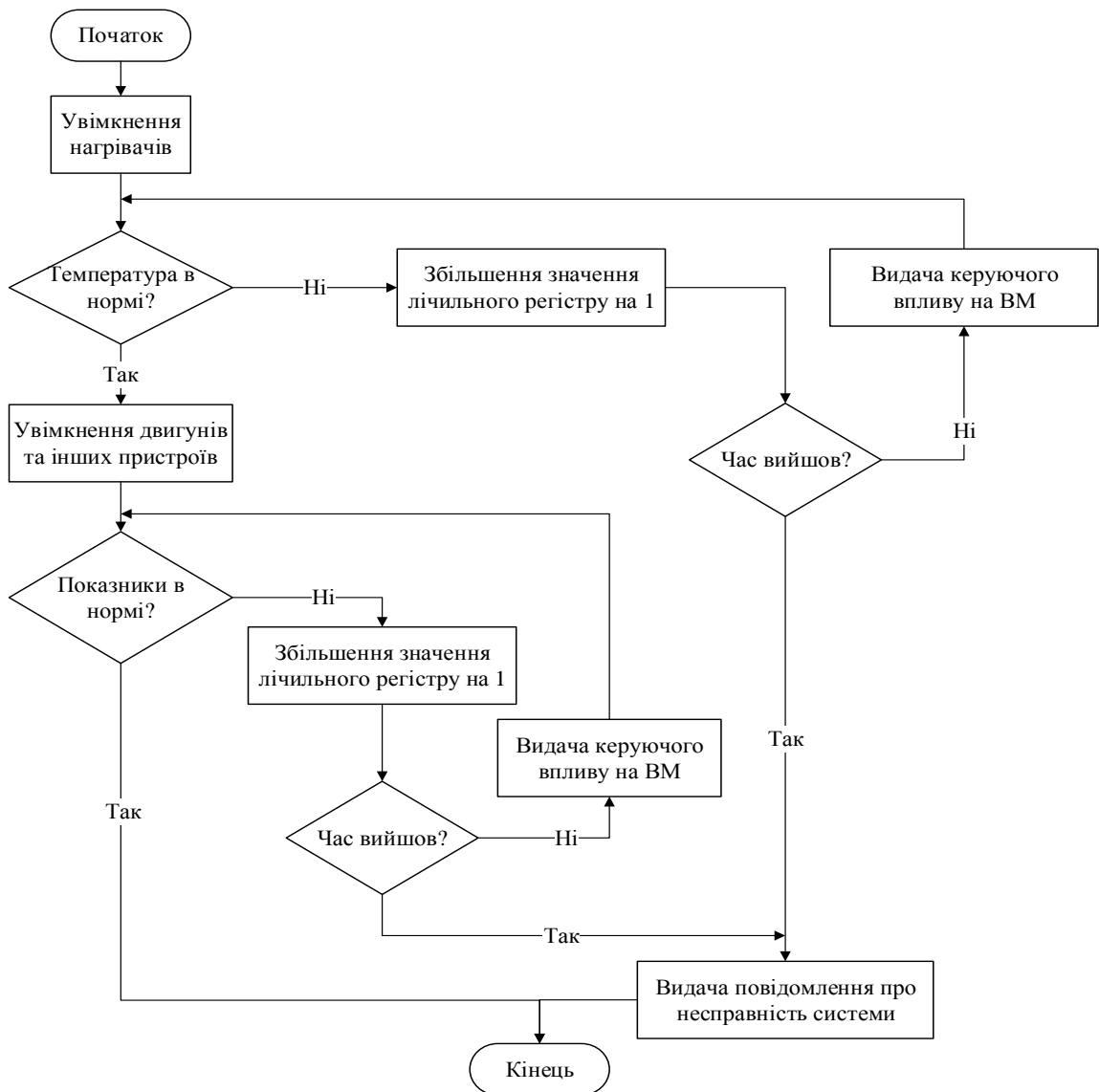


Рисунок 5.3 – Алгоритм запуску системи

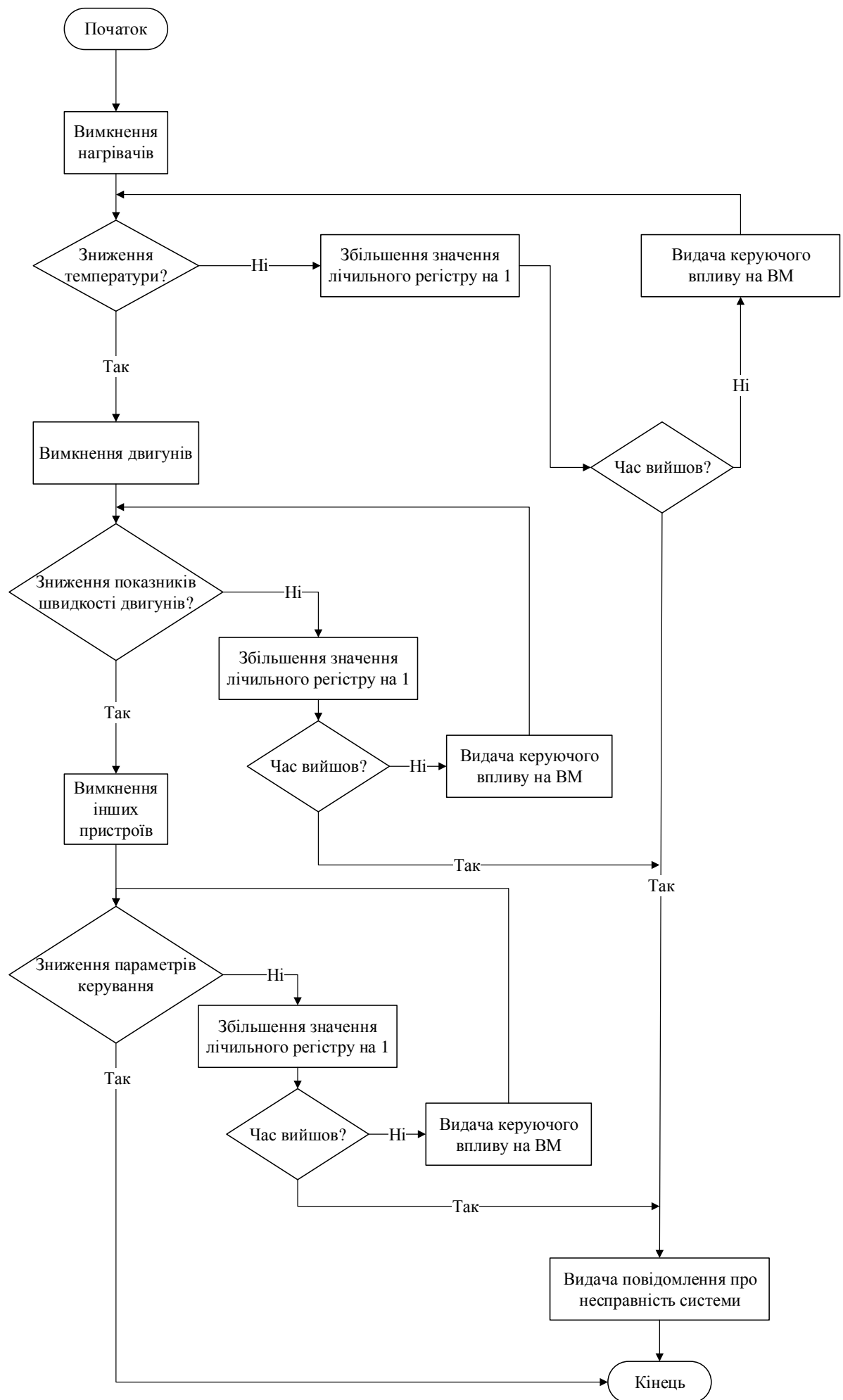


Рисунок 5.4 – Алгоритм зупинки системи

6 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

Підтримання температури всередині витягувальної шафи, є одним з фундаментальних параметрів при виготовленні ПП волокна. Від температури витягувальної шафи залежить якість продукту, оскільки саме тут відбувається остаточне формування готового ПП волокна. Нагрівання витягувальної шафи до $105 \pm 5\%$ °C згідно з технічним описом (див. пункт 1) відбувається шляхом подачі водяного пару.

В результаті синтезу повинен утворюватися перехідний процес з наступними показниками якості:

- Час перехідного процесу – $t_p \leq 600$ с
- Перерегулювання – $\sigma \leq 15\%$

6.1 Отримання математичного опису об'єкта керування

Контур регулювання температури витяжної шафи наведено на рисунку 6.1.

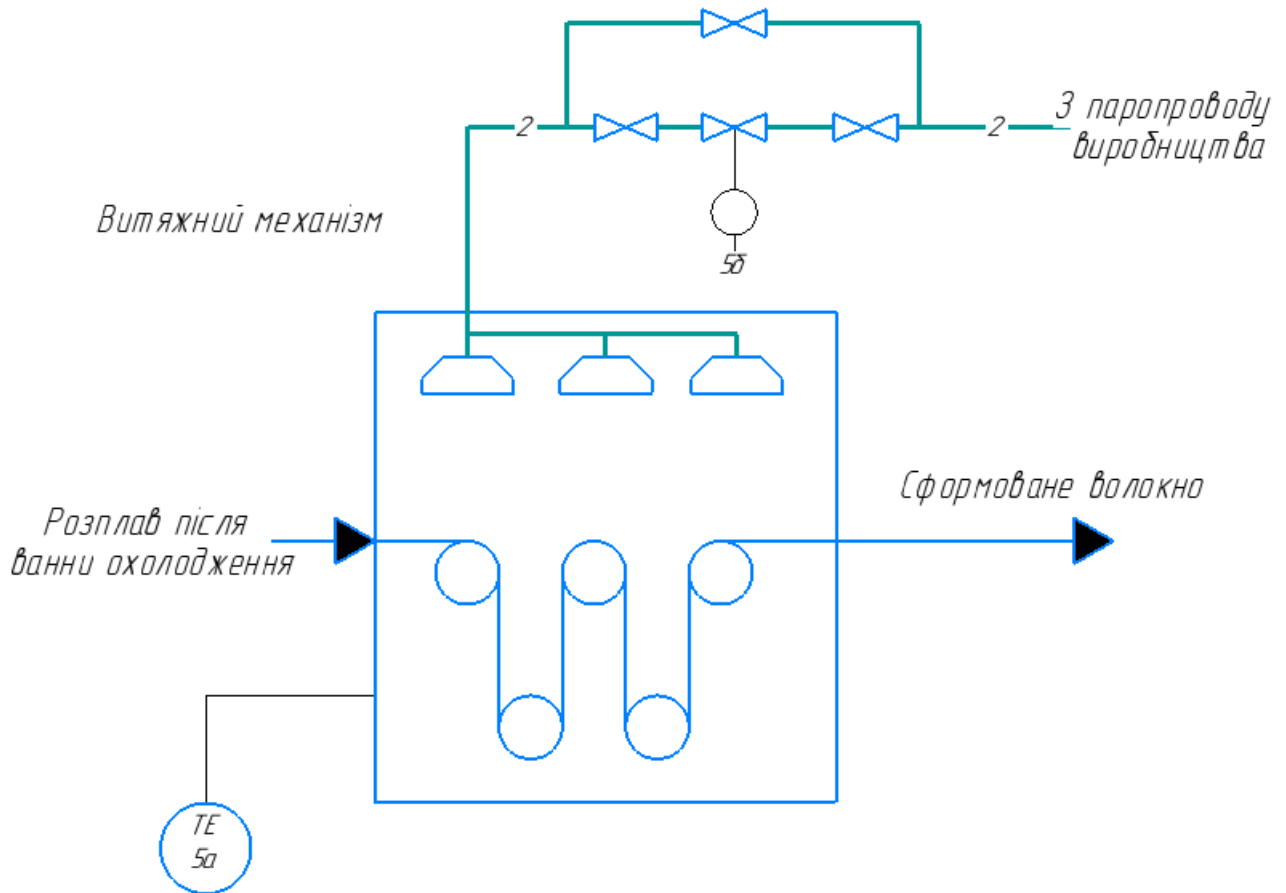


Рисунок 6.1 – Контур регулювання температури у витяжній шафі

Для побудови кривої розгону використовується програмне середовище MatLab. Графік кривої розгону, отриманий в MatLab, є результатом подачі одиничного вхідного сигналу на вхід об'єкта керування і показаний на рисунку 5.2.

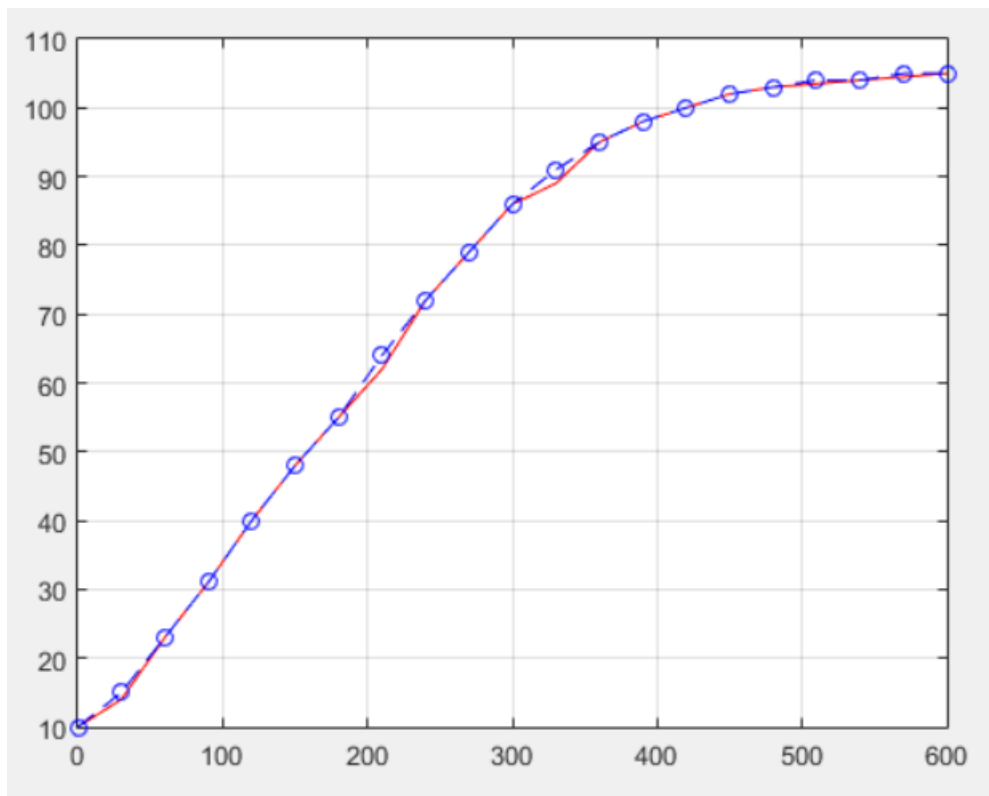


Рисунок – 6.2 Графік кривої розгону об'єкта керування

Отримаємо передавальну функцію об'єкта керування на основі апроксимації «кривої розгону» за методом Сімою.

З ординат кривої розгону сформуємо вектор-рядок даних.

$$Y_1(t) = (10 \ 15 \ 23 \ 31 \ 40 \ 48 \ 55 \ 64 \ 72 \ 79 \ 86 \ 91 \ 95 \ 98 \ 100 \ 102 \ 103 \ 104 \ 104 \ 105 \ 105).$$

Нормалізуємо векторний ряд $Y(t)$. Для цього від отриманих значень віднімемо 10.

$$Y(t) = (0 \ 5 \ 13 \ 21 \ 30 \ 38 \ 45 \ 54 \ 62 \ 69 \ 76 \ 81 \ 85 \ 88 \ 90 \ 92 \ 93 \ 94 \ 94 \ 95 \ 95).$$

Транспонуємо вектор-рядок у вектор-стовпець, нормалізувавши криву розгону (поділивши всі значення на $y_{уст} = 95$) і визначили розмірність вектора N , після чого занесли результати в таблицю 6.1.

$$h = \left(\frac{y}{95}\right)^T \quad N = \text{length}(h) - 1;$$

$$N = 20.$$

Таблиця 6.1 – Нормовані значення кривої розгону

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
h	0	0.053	0.134	0.217	0.313	0.403	0.474	0.568	0.648	0.731	0.797	0.853	0.892	0.928	0.952	0.970	0.982	0.984	0.994	0.997	1

Крок за часом $\Delta t = 30\text{с}$. Для автоматизації обчислень встановлюємо значення коефіцієнта $S_0 = 0$. Напишемо у MathCad функцію, яка описує підінтегральний вираз рівняння для знаходження коефіцієнтів S_k у загальному дискретному вигляді.

$$u(S, i, k) = \left[(1 - h_i) \left[\sum_{j=0}^{k-1} S_{k-1-j} \cdot \frac{(-1 \cdot i \cdot \Delta t)^j}{j!} + \frac{(-1 \cdot i \cdot \Delta t)^{k-1}}{(k-1)!} \right] \right]$$

де k – номер обчислюваного коефіцієнта S_k ;

i – номер кроку розрахунку за часом.

Використовуючи пакет MathCad, обчислимо перші п'ять коефіцієнтів S (рис. 6.3).

$$U(S, i, k) := (1 - h_i) \cdot \left[\sum_{j=0}^{k-1} S_{k-1-j} \cdot \frac{(-1 \cdot i \cdot \Delta t)^j}{j!} + \frac{(-1 \cdot i \cdot \Delta t)^{k-1}}{(k-1)!} \right] ;$$

$$S_k := \Delta t \cdot \left(\sum_{i=1}^{N-1} U(S, i, k) + \frac{U(S, 0, k) + U(S, N, k)}{2} \right) ;$$

$$S = \begin{pmatrix} 0 \\ 3.203 \\ 3.064 \\ -0.31 \\ -1.089 \\ 1.514 \end{pmatrix}$$

Рисунок 6.3 – Розрахунок коефіцієнтів S допомогою пакета MathCad

Відповідно до розрахунків, отримали 5 перших коефіцієнтів.

$$S_1 = 3.203;$$

$$S_2 = 3.064;$$

$$S_3 = -0.31;$$

$$S_4 = -1.089;$$

$$S_5 = 1.514$$

Задамо вид передатної функції. При $t = 0$ $y = 0$ і $\frac{dy}{dt} = 0$, а отже,

$$n - m = 2.$$

Відповідно до формули вище, ми припускаємо, що перехідна функція є функцією другого порядку. А оскільки ми приймаємо, що різниця між степенями знаменника і чисельника дорівнює двом, то очевидно, що порядок чисельника m у нашому випадку повинен дорівнювати 0 (тобто чисельник const), а коефіцієнти співвідносяться наступним чином:

$$\alpha_1 = S_1; \alpha_2 = S_2; \alpha_k = S_k.$$

З попереднього твердження робимо висновок, що α_1, α_2 будуть дорівнювати:

$$\alpha_1 = S_1 = 3.203; \alpha_2 = S_2 = 3.064.$$

Таким чином, передатна функція об'єкта може бути представлена наступним чином

Коефіцієнт підсилення обчислюється за формулою $K = \frac{y_{\max}}{u_{\max}}$

$$W(s) = \frac{K}{a_2 s^2 + a_1 s + 1} = \frac{105}{3.203 \cdot s^2 + 3.064 \cdot s + 1}.$$

6.2 Синтез системи керування методом Солодовнікова

Побудуємо незмінну асимптотичну ЛАЧХ системи. Для цього використовуємо формулу $\omega = 1/T$ для знаходження частоти спряження

$$3.064 \cdot s^2 + 3.203 \cdot s + 1 = T^2 s^2 + 2\xi T s + 1$$

$$T = \sqrt{3.064} = 1,75 \text{ сек};$$

$$\omega = \frac{1}{1,75} = 0,57 \text{ с}^{-1}.$$

Знайдемо точку перетину ЛАЧХ з віссю ординат на частоті 57Гц

$$20 \log(k) = 20 \log(105) = 40,4 \text{ дБ}.$$

Початковий нахил ЛАЧХ буде 0 дБ/дек, однак в точці $\omega = 0,57 \text{ с}^{-1}$ нахил збільшиться до 40 дБ/дек. Незмінна ЛАЧХ зображена на рисунку 6.4.

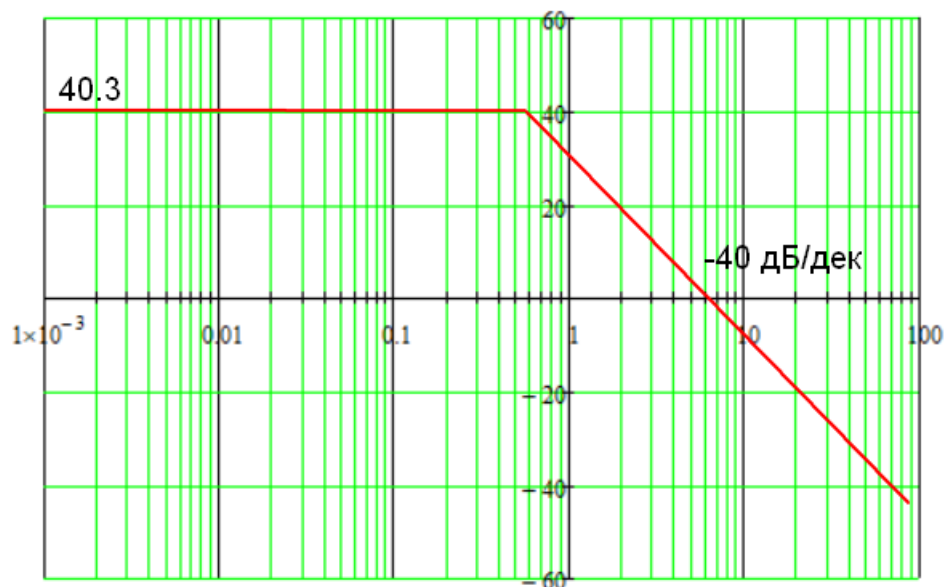


Рисунок 6.4 – Незмінна ЛАЧХ

Тепер побудуємо бажану АЧХ. Оскільки вимог не накладено до статичної точності, низькочастотна частина бажаної АЧХ дорівнює низькочастотній асимптоті незмінної частини системи.

$$k_y = 105.$$

Початковий нахил низькочастотної асимптоти залишається незмінним, а її нове положення відносно осі абсцис фіксується на рівні

$$20 \log(k_y) = 20 \log(105) = 40,4 \text{ дБ.}$$

Для визначення мінімально допустимої частоти зрізу використаємо номограму Солодовнікова [21] (рис. 6.5).

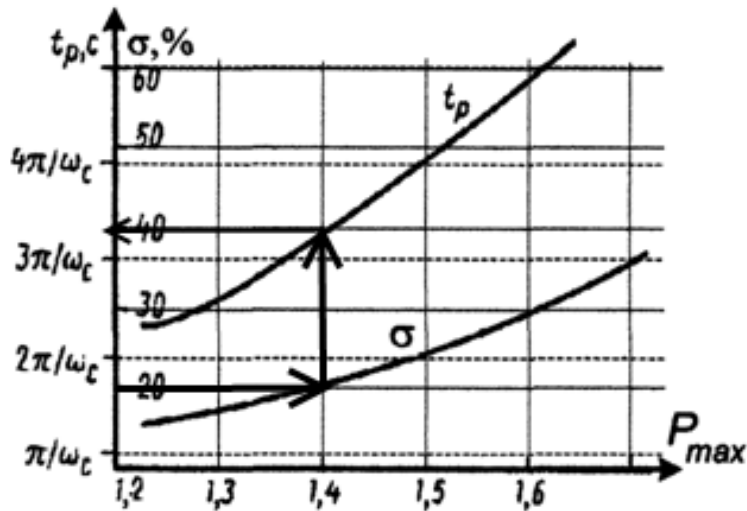


Рисунок 6.5 – Номограма Солодовнікова

Для перегулювання 15% знаходимо $P_{max}=1.4$, також знаходимо час перехідного процесу, виражений через частоту зрізу $t_p = \frac{3.4\pi}{\omega_{зр}}$, звідки

$$\omega_{зр} = \frac{3.4\pi}{400} = 0,027 \text{ сек}^{-1}.$$

За номограмою (рис. 6.6) визначимо ординати середньочастотної частини ЛАЧХ

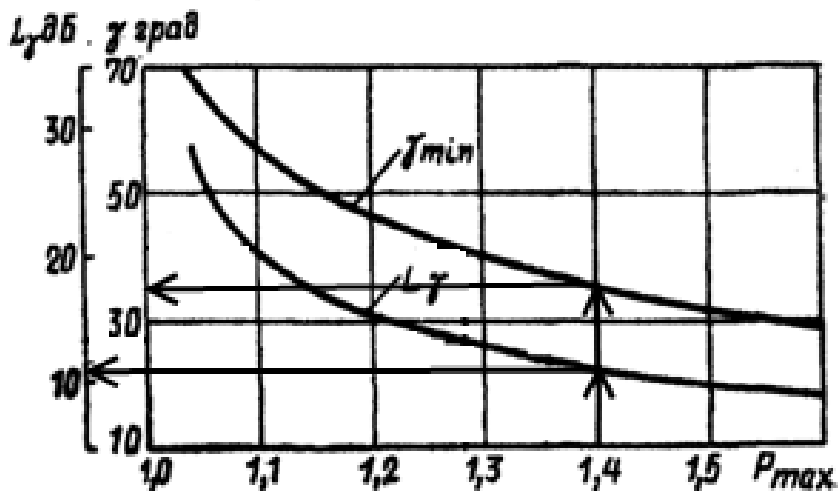


Рисунок 6.6 – Графік залежностей $L_{\Delta\phi}(\omega)$ та $\Delta\phi_{min}(\omega)$

$$L_m = \pm 11 \text{ дБ.}$$

Лінії вздовж осі частот, проведені при $L_y = \pm 11$ дБ, дають асимптоту центральної частоти на перетині асимптоти центральної частоти, низької частоти $\omega_1 = 0,0013\text{с}^{-1}$ і високої частоти $\omega_2 = 0,009\text{с}^{-1}$.

Низькочастотна і середньочастотна складові бажаної АЧХ поєднаємо в точці ω_1 . Через середньочастотну складову в точці $\omega_1 = 0,0013\text{с}^{-1}$ проведемо асимптоту з нахилом -40дБ/дек , в точці перетину низькочастотної асимптоти з середньочастотною асимптотою отримаємо частоту сполучення бажаної ЛАЧХ, $\omega_{n1} = 0,009\text{с}^{-1}$.

Високочастотна частина бажаної ЛАЧХ будується так, щоб вигляд бажаної ЛАЧХ в цій області менше відрізнявся від вигляду незміненої ЛАЧХ.

Високочастотна частина будується з нахилом -40 дБ/дек в напрямку незмінної частини ЛАЧХ.

Сформована таким чином бажана ЛАЧХ $L_j(\omega)$ системи керування показана на рисунку 6.7.

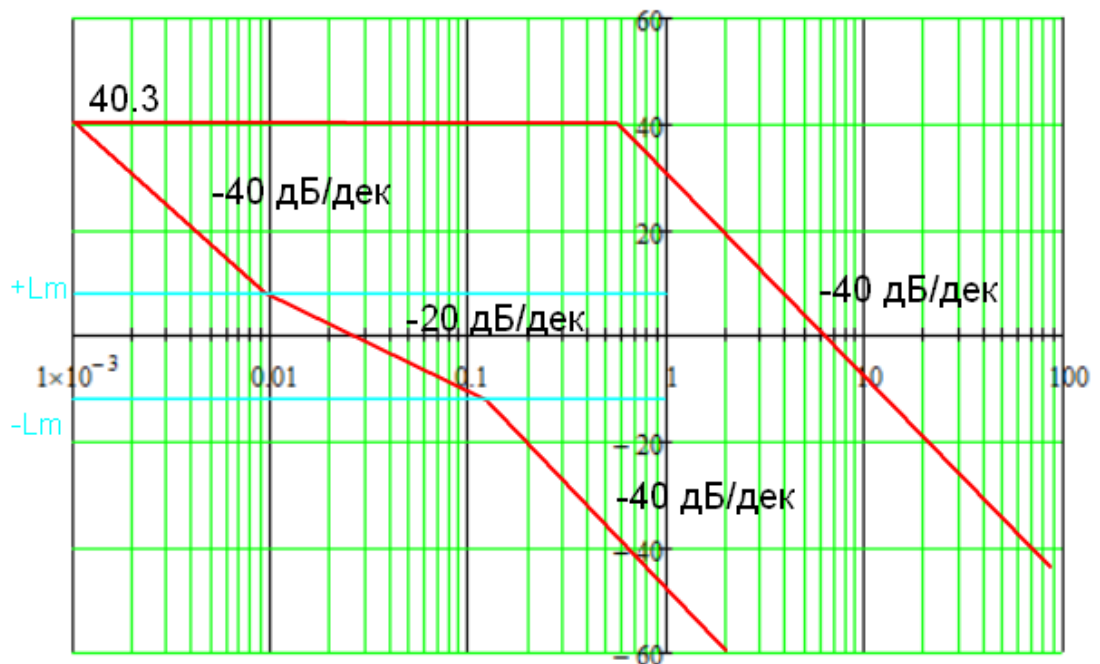


Рисунок 6.7 – Бажана та незмінна асимптотична ЛАЧХ

Виходячи з виду бажаної логарифмічної асимптотичної частотної характеристики, запишемо її передатну функцію

$$W_{\text{бж}}(s) = \frac{105 \cdot (111s+1)}{(769s+1)^2 \cdot (7.7s+1)}$$

Для визначення основних якісних параметрів системи з регулятором, побудуємо її перехідну характеристику (рис. 6.8) .

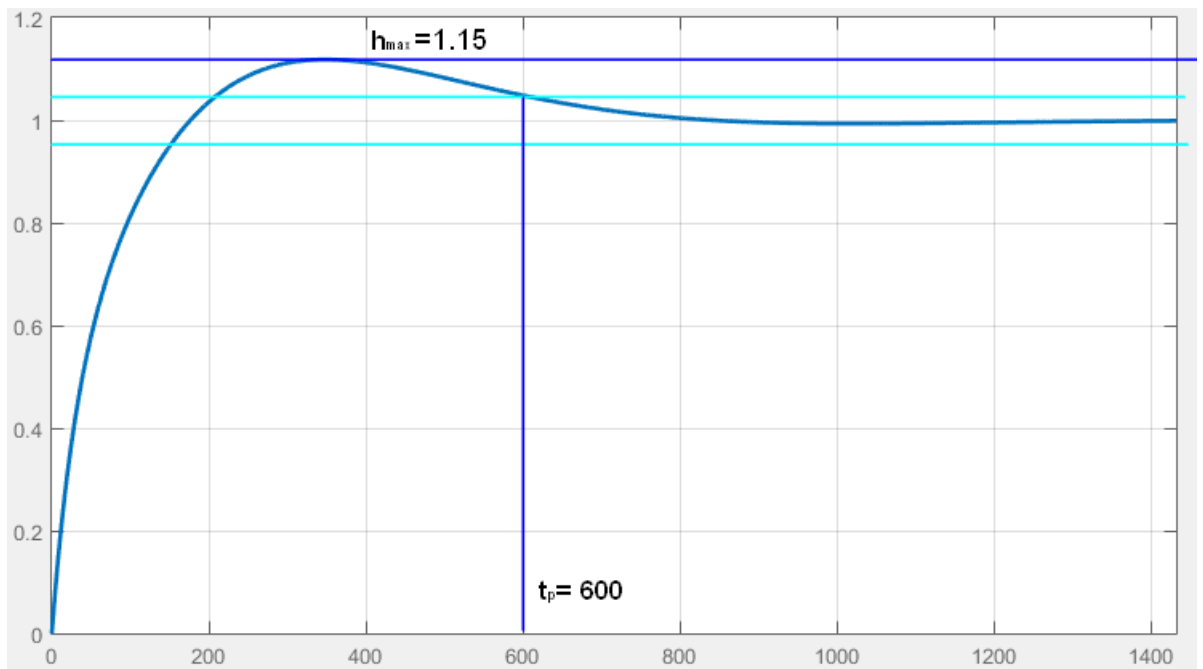


Рисунок 6.8 – Перехідна характеристика замкненої регульованої системи управління

З графіка (рис. 6.8) визначимо основні показники якості перехідної характеристики. Як бачимо з форми графіка перерегулювання досягає 15%. Час перехідного процесу, а саме час за який система ввійде в 5% робочий коридор, складає $t_p = 600$ с.

Відповідно до вказаних вимог до перехідної характеристики (пункт 6.1) робимо висновок, що регулятор розрахований методом Солодовнікова цілком забезпечує відповідні вимоги.

7 РОЗРОБКА АСУТП

В даній роботі для створення АСУТП було використано SIMPLE SCADA. Для зв'язку з об'єктом управління був обраний OPC-сервер.

Стандарт OPC був розроблений для зниження витрат на створення і підтримку додатків промислової автоматизації. Суть OPC проста - надати розробникам промислового програмного забезпечення універсальний фіксований інтерфейс для обміну даними з будь-яким пристроєм [22].

В основі технології OPC лежить принцип клієнт-сервер. В її основі лежить COM (Component Object Model - компонентна об'єктна модель).

COM-технологія - це набір інтерфейсів (набір функцій, які клієнт може викликати для обміну даними з COM-сервером). Ці функції дозволяють підраховувати кількість і тип зареєстрованих змінних, читати їх значення, підписуватися на ці значення і записувати значення на OPC-сервер.

На рисунку 7.1 показано приклад використання технології OPC для доступу до даних в системах автоматизації.

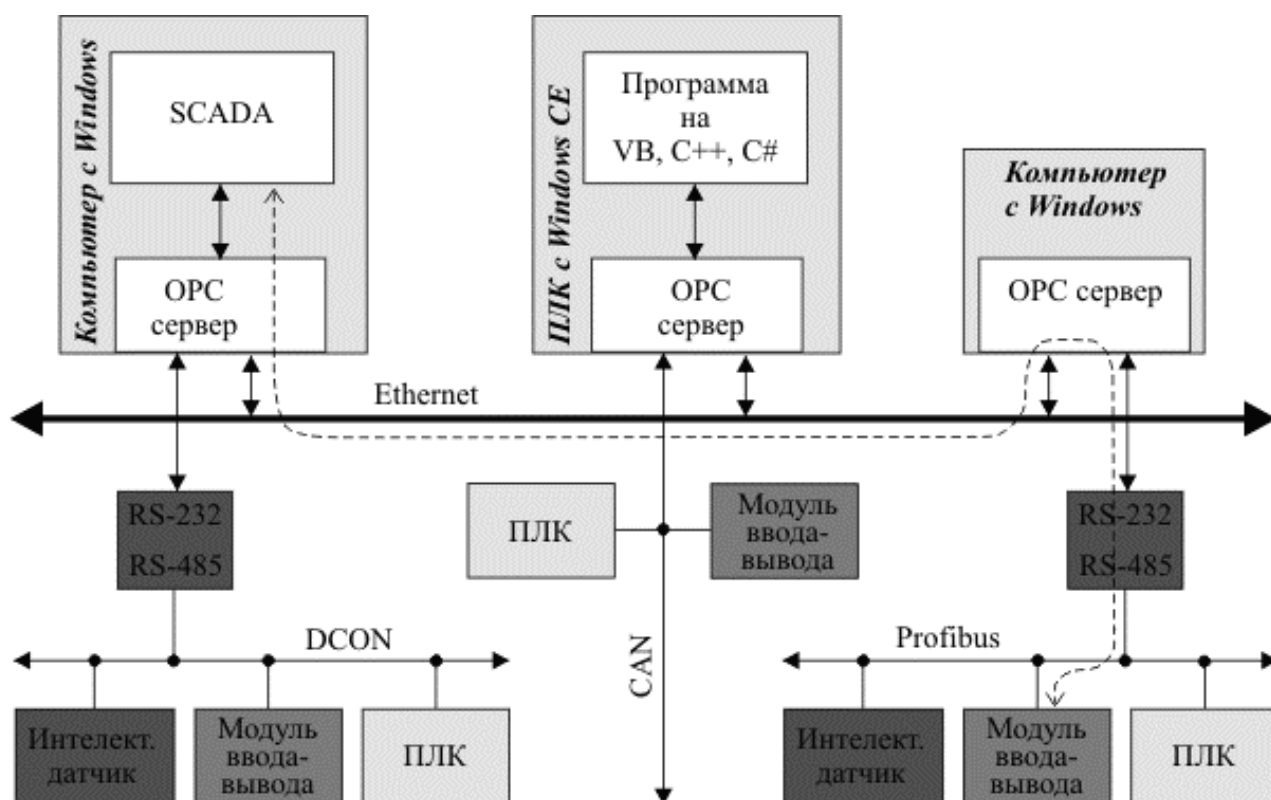


Рисунок 7.1 - Приклад застосування OPC технології для доступу до даних в системах автоматизації

Дисплей робочої станції відображає технологічний процес графічно (у вигляді схеми), відображає основні параметри процесу і дозволяє користувачеві вносити зміни в закони управління і технологічні параметри.

На рисунку 7.2 показано дисплей робочої станції, створеної для автоматизації процесу виготовлення поліпропіленового волокна.

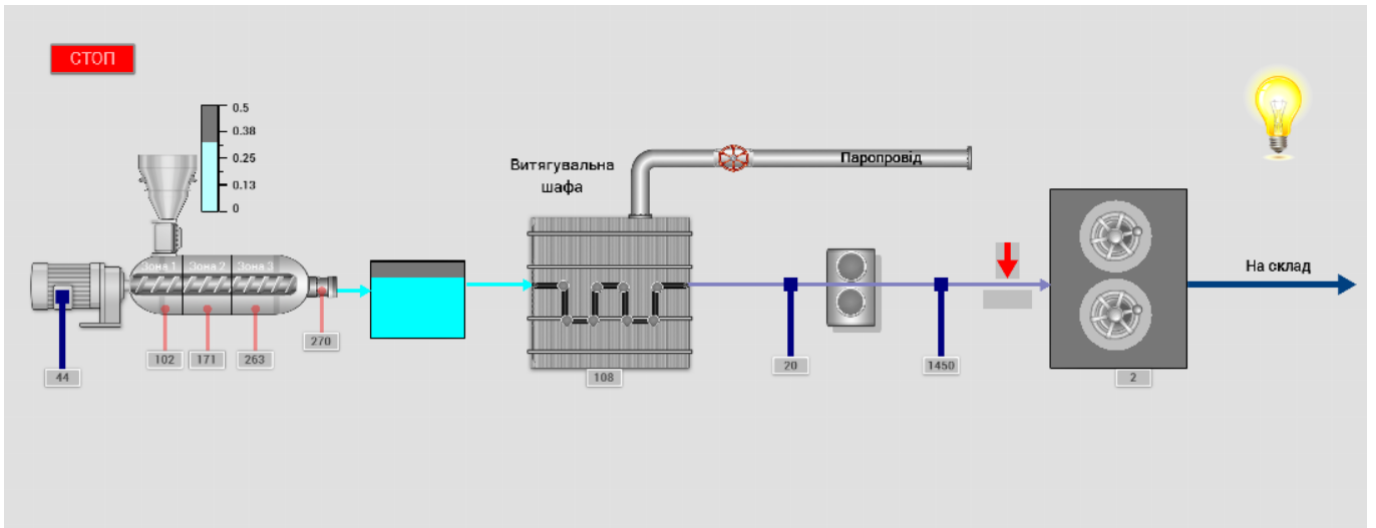


Рисунок 7.2 – АРМ оператора АСУТП

ВИСНОВОК

На основі мандату були розроблені дані, технічне забезпечення та алгоритм роботи системи автоматизації.

Система являє собою 3-рівневу автоматизовану систему управління технологічним процесом.

Вона включає в себе:

- датчики, встановлені безпосередньо на технологічному обладнанні;
- виконавчі органи, які обробляють вхідні сигнали від контролера;
- контролер, який виконує первинну обробку даних, отриманих від датчиків, надає керуючі впливи виконавчим органам, а також виступає сполучною ланкою між об'єктом управління та АРМ;
- автоматизоване робоче місце (АРМ), до складу якого входить операторська станція ARK-3440 з операційною системою Windows 10, процесором Intel Core i7 та встановленим програмним забезпеченням Codesys і Simple Scada.

Розрахунок контуру регулювання температури в витяжній шафі проводився за методом Солодовнікова.

Використання сучасних методів управління технологічними процесами та новітніх технічних засобів автоматизації дозволило впровадити якісно новий тип технології управління та підвищити ефективність виробництва, що призвело до наступних результатів:

- підвищення якості готової продукції;
- збільшення обсягів виробництва
- скорочення простоїв через несправності;
- збільшення часу до капітального ремонту обладнання;
- використання мінімальної кількості працівників, необхідних для підтримки лінії виробництва в робочому стані та ліквідації аварійних ситуацій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Класифікація властивості та галузі застосування текстильних матеріалів. [електронний ресурс] <https://tvm-com.kiev.ua/cgi-bin/myAccount/myAccount.cgi?action=dp&vs=2/scId=6&p=pDb&pDbId=11>
2. Основні властивості й область застосування поліпропілену [електронний ресурс] <https://pkf-elektroplast.com.ua/ua/a472010-osnovnye-svoystva-oblast.html>
3. Зиков Д.Д. та ін., Загальна хімічна технологія органічних речовин, М.: Хімія, 1966
4. Особливості виготовлення поліпропіленового волокна [електронний ресурс] <https://extxe.com/7324/osobennosti-processov-i-oborudovaniya-dlja-poluchenija-poliiolefinovyh-volokon-i-nitej/>
5. Датчик температури Типів MBT 5250, MBT 5260 та MBT 5252 [електронний ресурс] <https://assets.danfoss.com/documents/283603/AI208386431879uk-UA0801.pdf>
6. BUS ультразвукові датчики [електронний ресурс] https://balluff-ua.com/pdf/bus_ultrasonic_ru.pdf
7. E30S4 Серія [електронний ресурс] <http://178.20.154.4/pdf/E30S4.pdf>
8. Оптичні Датчики IFM [електронний ресурс] <https://peko.com.ua/image/catalog/download/catalogues/ifm/ifm-photoelectric-sensors-catalogue.pdf>
9. SR2/SR3 Series relay [електронний ресурс] <https://www.tme.eu/Document/5bcacf8879a7a0f54111a99faa335ecc/SR3-series.pdf>
10. Редукторні електроприводи AMV435 [електронний ресурс] <https://itorus.com.ua/var/attachments/product/1330/Danfoss-AMV435.pdf>
11. Standard Hopper Loader SAL [електронний ресурс] http://atec.lt/uploads/813/58433d9be253cStandard_hopper_loader_SAL.pdf
12. VLT® Інструкція з експлуатації [електронний ресурс] https://files.danfoss.com/download/Drives/doc_MG33AI50.pdf
13. Інструкція з експлуатації VLT® FC 51 [електронний ресурс] <https://ovk.ua/uploads/danfoss/manual-vlt-micro-drive-fc-51.pdf>
14. Намотувальний пристрій FTW-2000 [електронний ресурс] <http://www.mondon.com/machine-enroulage/?lang=en>
15. Кроковий двигун [електронний ресурс] <https://refit.com.ua/ua/bipoliarni/shagovye-dvygately-57.html>
16. Драйвери крокового двигуна [електронний ресурс] <https://refit.com.ua/ua/kontroleri.html>
17. DM556 datasheet [електронний ресурс] <https://www.omc-stepperonline.com/download/DM556T.pdf>
18. ПЛК серії DVP [електронний ресурс] https://www.rts.ua/catalog/delta/pdf/DVP-PLC_catalog_rus.pdf
19. Modicon M221 [електронний ресурс] <https://docs.rs-online.com/74d0/0900766b81624ddd.pdf>
20. Advantech ARK-3403 [електронний ресурс] <https://www.proxis.ua/uk/product/ARK-3440/>
21. Теорія автоматичного управління: конспект лекцій: у 2 частинах. Ч. 2 «Синтез лінійних систем автоматичного управління» / укладач Г. М. Худолей. – Суми: Сумський державний університет, 2012. - 87с.
22. OPC-server [електронний ресурс] <https://uk.wikipedia.org/wiki/OPC>
23. OPC-server [електронний ресурс] <https://www.reallab.ru/bookasutp/9-programmnoe-obespechenie/9-2-ors-server/>