

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи магістра
Алгоритми керування позиціонуванням платформи будівельного принтера

Керівник проекту:

Доцент, кандидат технічних наук:

Кулінченко Г.В.

Виконав:

студент групи СУ.м-21

Савенко А.В.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	3
ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1	6
1.1 Будівельний принтер як технологічний об'єкт.....	6
1.2 Технологічний процес. Задачі автоматизації	7
1.3 Аналіз об'єкта управління.....	8
РОЗДІЛ 2	10
2.1 Характеристика об'єкта автоматизації	10
2.2 Контур керування акумулятором тиску	11
2.3 Розробка математичної моделі системи керування.....	17
РОЗДІЛ 3	21
3.1 Аналіз факторів впливу	21
3.2 Вплив коливань стріли	23
РОЗДІЛ 4	27
4.1 Побудова основних схем.....	27
4.2 Результати моделювання.....	30
РОЗДІЛ 5	33
5.1 Аналіз результатів моделювання	33
5.2 Моделювання регулятора.....	35
РОЗДІЛ 6	38
6.1 Архітектура SCADA системи	38
6.2 Вибір програмного забезпечення	39
6.3 Вибір апаратного забезпечення	41
6.4 Канали зв'язку	44
6.5 Модулі входів і виходів	45
6.6 Промисловий комп'ютер і АРМ.....	48
6.7 Принципіальна схема.....	51
ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

САК – Система автоматичного керування;

СУ – Система управління;

ВМ – виконуючий механізм;

ПЛК – програмований логічний контролер;

ПК – промисловий комп'ютер;

ТЗА – технічні засоби автоматизації.

Д – давач;

ПЗ – програмне Забезпечення;

КК – контур керування;

ОУ – об'єкт управління;

АРМ – автоматизоване робоче місце;

ВСТУП

Успішність реалізації заданих параметрів системи позиціонування платформи [1] залежить від результатів моделювання цієї СУ. Крім вирішення задач розробки регулятора, що забезпечує необхідні параметри роботи привода, при модернізації обладнання підйому платформи доводиться оптимізувати конструктивно - технологічні параметри цього обладнання. Підхід до оптимізації параметрів технологічного обладнання, заснований на представленні об'єкта управління (ОУ) у вигляді мехатронного агрегату [2], дозволяє сформулювати вимоги регулятора і розробити алгоритм керування на підставі узагальненого критерію управління, що враховує взаємовплив технологічних параметрів, відповідно дозволяє підвищити точність установки позиціонування висоти без ускладнення СУ електроприводом.

До параметрів процесу підйому платформи висуваються досить жорсткі вимоги, зокрема точність позиціонування, тому що згідно технології контурного будівництва при недотриманні точності подачі будівельного розчину утворюються зсуви кладки тим самим знижуючи рівень надійності будівлі[3].

Метою роботи є розробка математичної моделі системи керування платформи будівельного принтера на базі крокового двигуна, а також проведення досліджень на моделях процесу для вибору алгоритму керування, що забезпечить максимальну точність позиціонування з оптимальною динамікою переміщень.

Для досягнення поставленої мети повинні бути вирішені наступні завдання

1. Розробити математичну модель системи підйому платформи на базі крокового двигуна.
2. Дослідити взаємозв'язок конструктивно-технологічних параметрів системи підйому.
3. На основі аналізу отриманих даних сформулювати вимоги до регулятора системи електроприводу гідравлічного насоса з урахуванням механічних

характеристик ОУ, який забезпечить рівномірний підйом платформи із заданою точністю.

Виконання цих завдань дозволяє відпрацювати взаємодію розробленої моделі системи підйому платформи і системи керування.

Крім того, дослідження методів та каналів керування елементами і апаратами подачі гідравлічної рідини дає змогу оптимізувати параметри механічної частини установки підйому тим самим підвищити точність позиціонування, швидкість переміщення, зменшення реакції на зовнішні збурення.

Впровадження результатів очікується при розробці та виготовленні будівельного 3D принтеру радіального типу.

Методи досліджень базуються на імітаційному моделюванні процесу переміщення гідроприводів платформи завдяки зміни тиску в гідравлічній системі за допомогою насосу і крокового двигуна в якості приводу. В роботі використані методи теорії автоматичного керування електричними апаратами, перетворень Лапласа, методи теорії електроприводу, електричного та магнітного поля, теорії гідромеханіки і математичного моделювання в програмному середовищі Matlab 9.9.0 Simulink.

РОЗДІЛ 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ

1.1 Будівельний принтер як технологічний об'єкт

Побудова житлових і технічних споруд вимагає високої точності, яка на пряму впливає на технічні і експлуатаційні параметри. Використання класичних методів і підходів до будівництва передбачають велику витрату як будівельних так і людських ресурсів. Такі методи зазвичай потребують багато часу на виконання будівельних робіт і несуть великою кількістю людських помилок, які в подальшому формують показники безпечної експлуатації будівлі [2, 4]. Для вирішення комплексу класичних проблем запропоновано використовувати нову технологію 3Д друку споруд з використанням промислових принтерів. Будівельні принтери представляють собою роботизовані комплекси, що дають змогу виконувати побудову споруд за методом пошарового нанесення будівельного матеріалу за попередньо розробленою програмною моделлю. Використання такої технології підвищує якість споруд, але вона на пряму залежить від точності позиціонування екструдера, динаміки переміщень екструдера, якості будівельного розчину. Використання високоточних засобів автоматизації, розробка алгоритмів і впровадження системи керування позиціонуванням дає можливість підвищити точність.

Після того, як було проведено повний аналіз предметної області і розглянуто існуючі будівельні роботизовані комплекси, було прийняте рішення про обрання будівельного принтера радіального типу в якості об'єкта автоматизації. В даній роботі буде проводитись робота тільки з системою позиціонування екструдера по висоті.

Відповідно до кінематичної схеми (додаток. Б), принтер складається з трьох основних частин: гідравлічна система підйому поворотної платформи, поворотна платформа, стріла. Кожна з цих частин відповідає за переміщення екструдера по відповідній вісі в циліндричній системі координат, формуючи

кінцеву позицію екструдера, який закріплений на кінці стріли принтера і виконує дозування будівельного розчину.

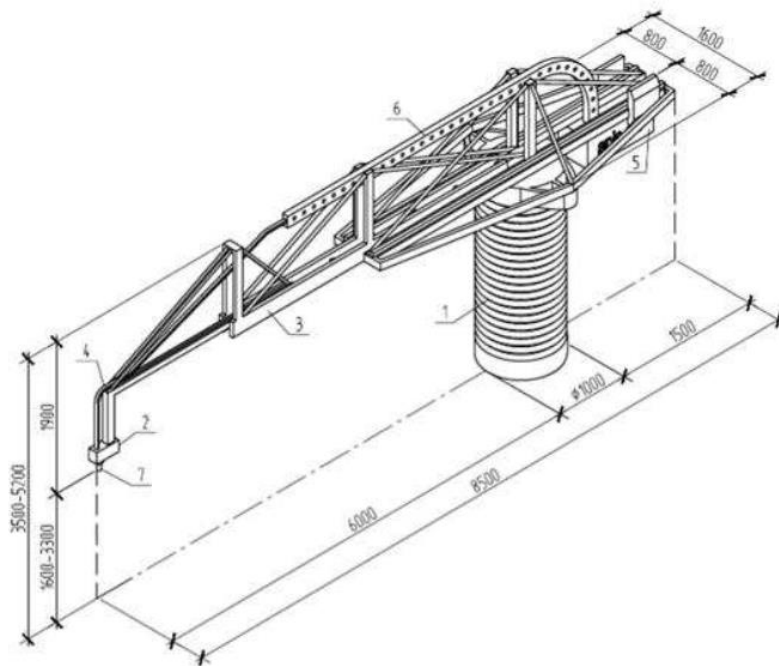


Рисунок 1.1 Загальний вигляд будівельного принтера радіального типу

- 1 – Підйомно -поворотна опорна частина; 2– Екструдер; 3 – Стріла;
4 –Бетонопровід; 5–Керована противага; 6– Система ультразвукового контролю будівельного розчину

Технологічний процес зведення споруд з використанням будівельного принтера радіального типу полягає в пошаровому нанесенні будівельного розчину по визначеним планом моделі координатам. Переміщення позиції відбувається завдяки зміни висоти підйому платформи принтера, зміни кута повороту платформи стріли і зміни довжини виліту стріли.

1.2 Технологічний процес. Задачі автоматизації

Головною задачею роботи принтера радіального типу є забезпечення точного позиціонування екструдера відповідно заданим координатам і дозування будівельного розчину. Відповідно до параметрів технологічного процесу, максимальне відхилення позиції екструдера становить 3 сантиметри в момент

подачі будівельного розчину. Таке відхилення можна вважати допустимим згідно норм. Якщо в момент подачі будівельного розчину відхилення перевищують три сантиметри, то виникають зсуви кладки, які впливають на якість відбудови і подальшу експлуатацію споруди.

Виходячи з цього можна сформулювати вимоги системи управління будівельним принтером радіального типу, а саме точність позиціонування з відхиленням не більше трьох сантиметрів.

1.3 Аналіз об'єкта управління

Виходячи з ФСА (додаток. А) будівельний принтер радіального типу є системою, яка включає в себе електричні, механічні і гідравлічні складові. Використання електромеханічних і гідравлічних засобів зумовлено тим, що об'єкт виконує роботу по переміщенню стріли і платформи масою до 2000 кілограм і має невеликі габарити. Прототип будівельного принтера радіального типу зображено на Рис. 1.2.



Рисунок 2.2 Прототип будівельного принтера радіального типу

Так, як об'єкт є складною системою для аналізу була обрана лише система підйому поворотної платформи стріли. Дана система виконує задачу вертикальному переміщенню поворотної платформи в діапазоні від 0 до 3 метрів, на яку закріплена стріла принтера вагою близько 1000 кілограмів. Роботу по переміщенню виконує гідравлічна система підйому, побудована на основі гідравлічного приводу. Головним керованим елементом приводу, за рахунок оберту валу якого можна керувати витратами гідравлічної рідини в магістралях. Для керування потоками гідравлічної рідини використовується гідравлічний розподільник і клапан зливної магістралі. За для запобігання утворення надлишкового тиску, який може спричинити поломку системи, використовується клапан скидання тиску. Елементами зберігання, передачі і очистки гідравлічної рідини є бак, зворотній клапан і фільтр. Загальна схема зображена на Рис. 1.3.

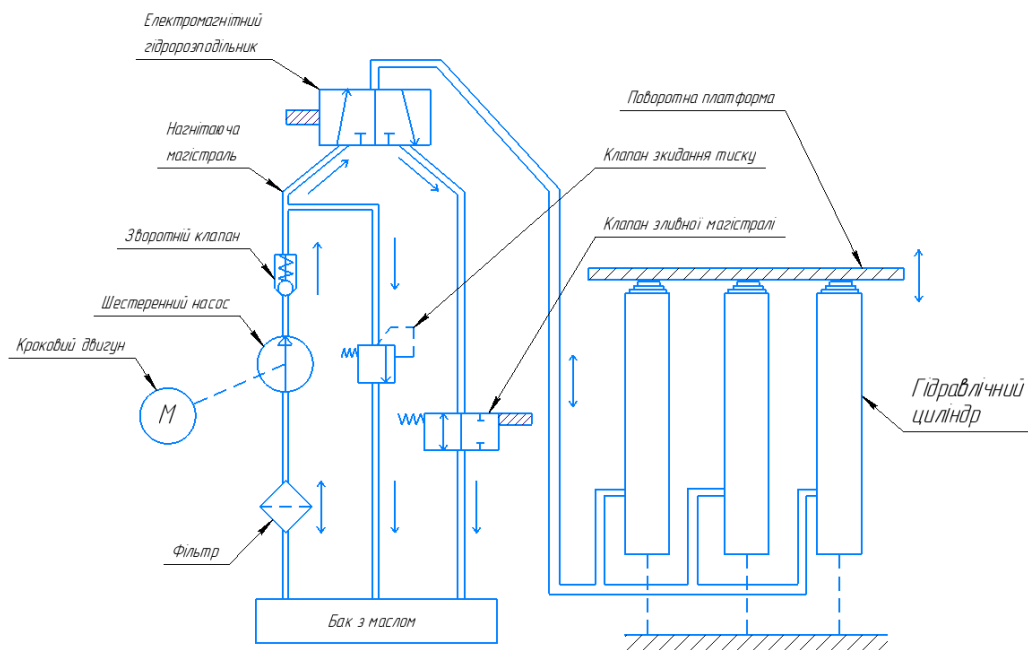


Рисунок 3.3 Загальна схема гідравлічного приводу підйому платформи

Під час аналізу реального прототипу будівельного принтера радіального типу, було проаналізовано систему підйому і її конструктивні елементи. Гідравлічні приводи підйому платформи зображені на Рис. 1.4.

РОЗДІЛ 2

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

2.1 Характеристика об'єкта автоматизації

Виходячи з того, що об'єкт автоматизації складається з двох складових таких, як електромеханічний перетворювач і гідравлічний підйомний механізм, систему можна вважати складною. Складність автоматизації такої системи виникає через велику відмінність природи процесів в електромеханічному перетворювачі і гідравлічному підйомнику, а саме стала часу процесу.

Роботу гідравлічної системи можна описати за допомогою математичної моделі, яка зображена на рис. 2.1. [5].

$$Q_{\text{РЦЦ}}^{\text{П}} = \frac{dP_{\text{ЦРН}}}{dt} \cdot k_{\text{УПРП}} + \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{dz}{dt} + k_{\text{ПЕРП}} (P_{\text{ЦРН}} - P_{\text{РСЦ}})$$
$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = (P_{\text{ЦРН}} - P_{\text{РСЦ}}) \cdot \frac{\pi D^2}{4} - \sigma_{\text{Ц}} \frac{dz}{dt} - (R_{\text{РП}} + R_{\text{ТРШ}} + k(P_{\text{ЦРН}} + P_{\text{РСЦ}})) \cdot \text{sign} \frac{dz}{dt} - F$$

Рисунок 4.1 Математична модель гідравлічної системи підйому платформи
 z – переміщення штоку гідроциліндра; m – приведена до штока маса рухомих частин гідроциліндра; $Q_{\text{П}}^{\text{РЦЦ}}$ – витрати рідини від розподільвача до порожнини циліндра, D – внутрішній діаметр поршня; d – діаметр штока; $\sigma_{\text{Ц}}$ – коефіцієнт в'язкого тертя; $R_{\text{ТРП}}$ та $R_{\text{ТРШ}}$ – сухоге тертя поршня відносно штока; F – сила навантаження на шток; $k_{\text{УПР}}$ – коефіцієнт пружності порожнин; $k_{\text{ПЕРП}}$ – коефіцієнт перетікань, $k_{\text{ПЕРШ}}$ – коефіцієнт перетікань між штоком і поршнем, $P_{\text{ЦРН}}$ – тиск між циліндром і розподільним клапаном, $P_{\text{РСЦ}}$ – тиск між зливним портом розподільника і циліндром.

Виходячи з математичної моделі системи підйому можна визначити залежність висоти підйому штоків від тиску в поршневій порожнині, який утворюється звдяки витратам гідравлічної рідини до поршньової порожнини

гідроприводу через насос. Виходячи з конструктивних параметрів системи, витрата гідравлічної рідини в напорній магістралі до поршневої порожнини виникає за рахунок обертання валу насоса. Таким чином можна сформулювати пряму залежність між кутом повороту валу насоса і висотою підйому штоку гідроциліндра.

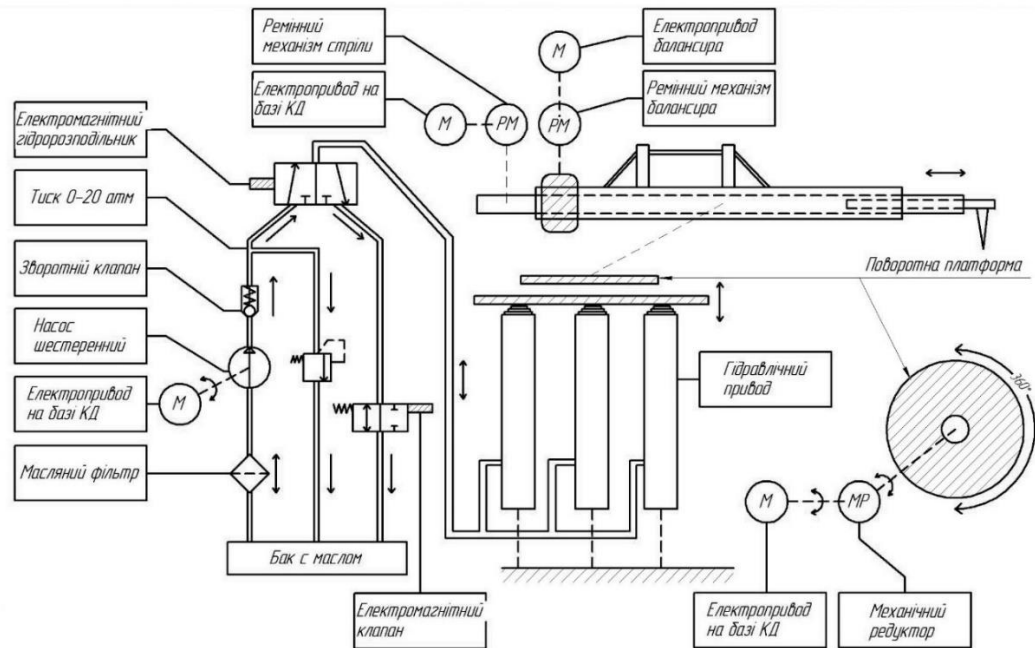


Рисунок 2.1 – Схема матеріальних та інформаційних потоків будівельного принтера радіального типу

Виходячи із схеми матеріальних та інформаційних потоків ОК, можна сказати, що кожний із компонентів має свої параметри, такі як постійна часу, тертя, пропускна здатність, час перемикання. Саме в узгодженні і відпрацюванні цих параметрів і полягає складність розробки алгоритму керування позицією платформи, відповідно і точністю позиціонування екструдера.

2.2 Контур керування акумулятором тиску

Так, як ОК в своєму початковому стані не має гідравлічної рідини в трубопроводі а зберігає її тільки у гідравлічному баці, то виникає задача створення тиску, який зможе подати рідину в робочі органи системи підйому.

Головними вимогами до тиску є можливість витіснення повітря із системи трубопроводів і утворення тиску в поршневій порожнині штоків граничного з тиском необхідним для їх зрушення. Виконання цієї задачі дасть змогу уникнення аварійних ситуацій, дозволить миттєво привести в рух штоки привода під час його нормальної роботи і уникнути часових затримок. Уникнення затримок пов'язаних з утворенням необхідного тиску насосом, дозволить збільшити точність позиціонування і зменшить кількість збурень, які в подальшому необхідно буде відпрацьовувати регулятору.

Для вирішення поставленої задачі, виходячи з вимог, необхідно розробити контур керування тиском гідравлічного акумулятора. Виходячи з кінематичної схеми (додаток Б) конструктивно в якості акумулятора можна використати бак з гідравлічною рідиною. Такий підхід не потребує внесення конструктивних змін до існуючого обладнання і конструктивно не ускладнює систему.

Високотисковий акумулятор є енергозберігальним компонентом, який забезпечує стабільність тиску. Якщо високотисковий акумулятор не є або повністю розрядженим, або повністю зарядженим, тиск рідини в ньому однаковий. У даному випадку об'єм рідини розраховується за допомогою політропного закону [20]:

$$V_{gas} = V_0 \left(\frac{P_0}{P_{gas}} \right)^{\frac{1}{\gamma}}$$

(1)

Де P_0 і V_0 - це початковий тиск загу та об'єм акумулятора, V - об'єм газу, γ - політропний індекс. Припускається, що стисливість рідини незначна порівняно з газом і, отже, похідна гідравлічного тиску приблизно така сама, як похідна тиску газу. Диференціюючи політропне рівняння (p та V - загальні позначення):

$$pV^\gamma = \text{constant} \quad (2)$$

Ми маємо:

$$\frac{dV_{gas}}{dt} = -q_{out} \quad (3)$$

і, отже, з відповідними позначеннями:

$$\frac{dp_{out}}{dt} = \gamma \left(\frac{p_{out} + p_{atm}}{V_{gas}} \right) q_{out} \quad (4)$$

Де Q_{out} - гідравлічний об'ємний витік на вході в акумулятор, а P_{atm} - атмосферний тиск.

Для реалізації даного контуру керування необхідно провести аналіз загальної гідравлічної схеми системи стабілізації тиску в акумуляторному баці (рис. 2.2).

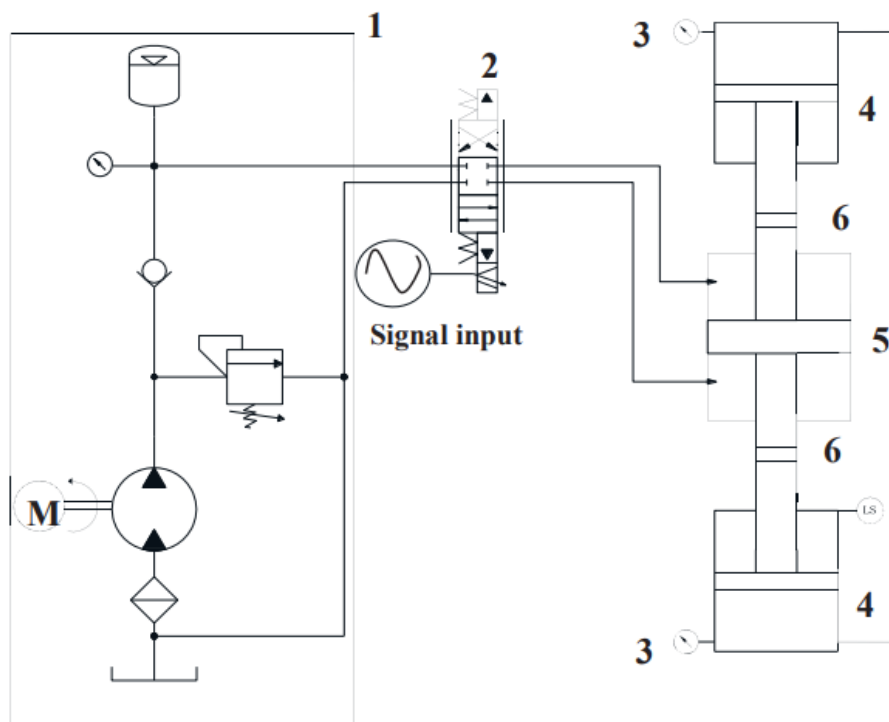


Рисунок 2.2 – Загальна схема системи стабілізації тиску в акумуляторному баці

Де 1 - насосна станція, 2 - напрямний керівний клапан, 3 - тискоміри, 4 - два односторонні гідравлічні циліндри з однією штангою, 5 - двосторонній гідравлічний циліндр з двома штангами, 6 - два датчики тиску навантаження.

На основі загальної схеми розроблена гідравлічна схема системи акумулювання гідравлічної рідини, яка зображена на рис. 2.3.

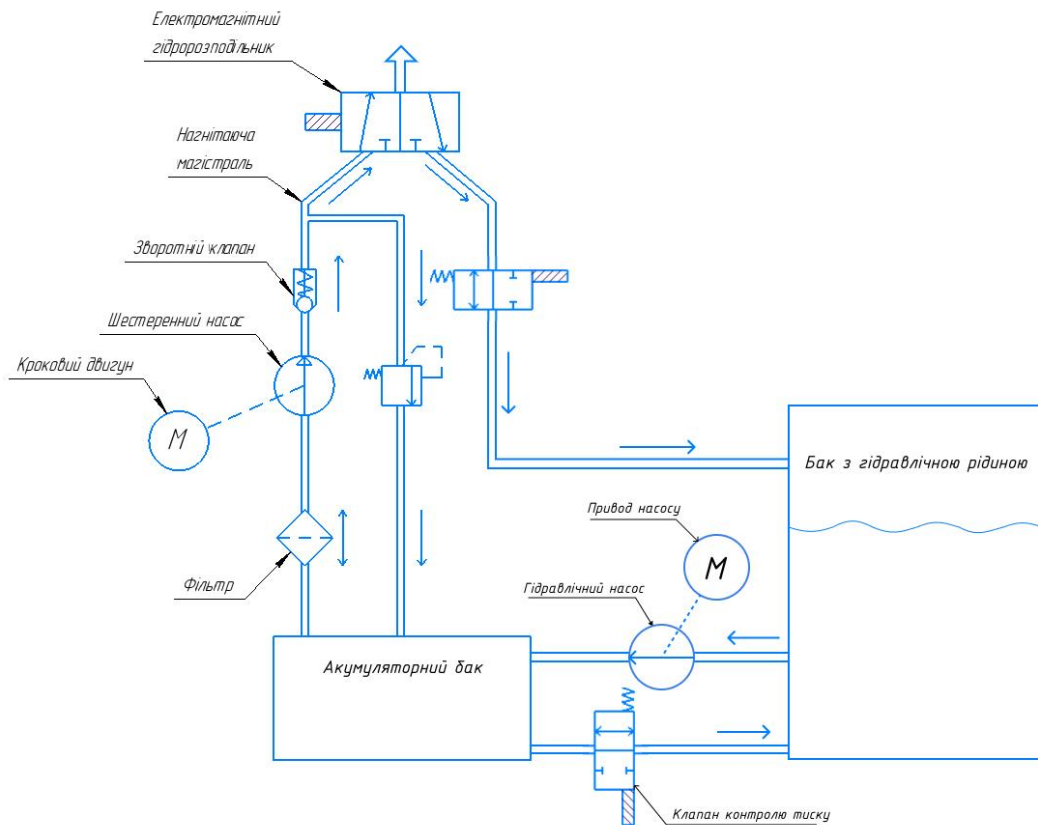


Рисунок 2.3 – Гідравлічна схема системи стабілізації тиску в акумуляторному баці будівельного принтера

Головними структурними змінами на даній схемі є те, що було додано бак з гідравлічною рідиною, яка знаходиться під атмосферним тиском, трубопровід який поєднує звичайний бак і акумуляторний бак, гідравлічний насос з приводом і клапан контролю тиску. Гідравлічний насос створює витрати рідини від баку до акумулятора, тим самим збільшуючи тиск в акумуляторі.

Клапан контролю тиску дозволяє змінювати напрям потоку рідини, тим самим зменшувати тиск в акумуляторі.

Для керування тиском в акумуляторному баці з використанням виконавчих механізмів зображених на схемі стабілізації, необхідно розробити структурну схему контуру керування і розробити імітаційну модель. Структурна схема контуру керування тиском в акумуляторному баці зображена на рис. 2.4.

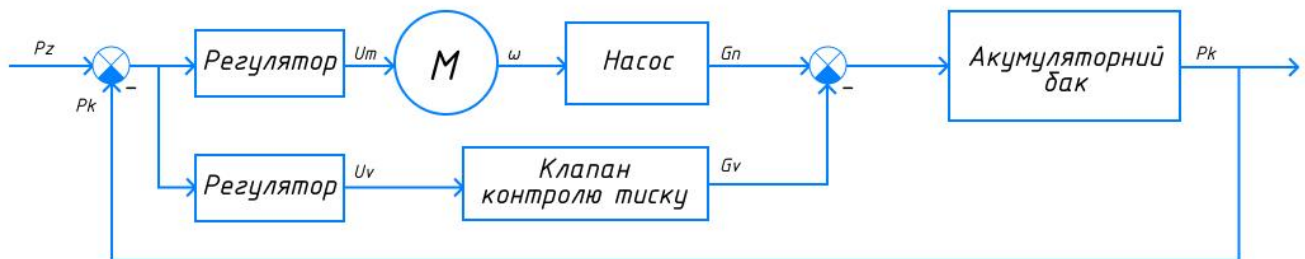


Рисунок 2.4 – Структурна схема контуру керування тиском в акумуляторному баці

На основі структурної схеми і математичної моделі, була розроблена імітаційна модель контуру керування тиском в акумуляційному баці, що дозволило отримати характеристики динаміки перетікання рідини і зміни тиску. Отримані дані будуть враховані при розробці алгоритму керування і структурному синтезі регулятора контуру керування позиціонуванням. Імітаційна модель контуру розроблена в середовищі MATLAB Simulink зображена на рис. 2.5.

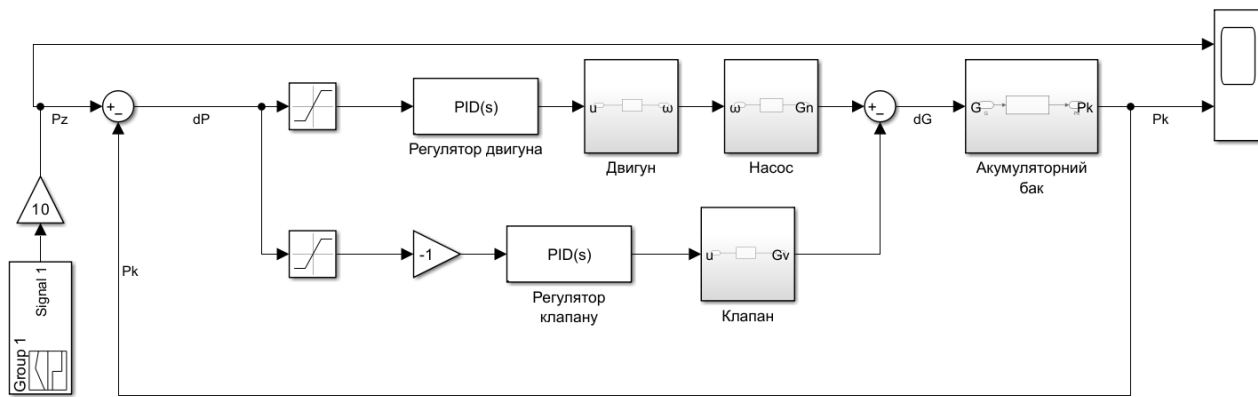


Рисунок 2.5 – Імітаційна модель контуру керування тиском в акумуляційному баці

Де: P_z – тиск заданий; dP – різниця тиску між плинним і заданим; P_k – плинний тиск в акумуляторному баці; u – керуючий вплив; G_n – витрати утворені насосом; G_v – витрати утворені клапаном; ω – швидкість обертання валу двигуна; G – витрати на вході/виході акумулятору.

В імітаційній моделі було використано два PID регулятора, кожний з яких виконує керування напрямком потоку рідини. В результаті розрахунків проведених за допомогою цієї моделі було отримано графік плинного і заданого тиску в акумуляційному баці, який зображено на рис. 2.6.

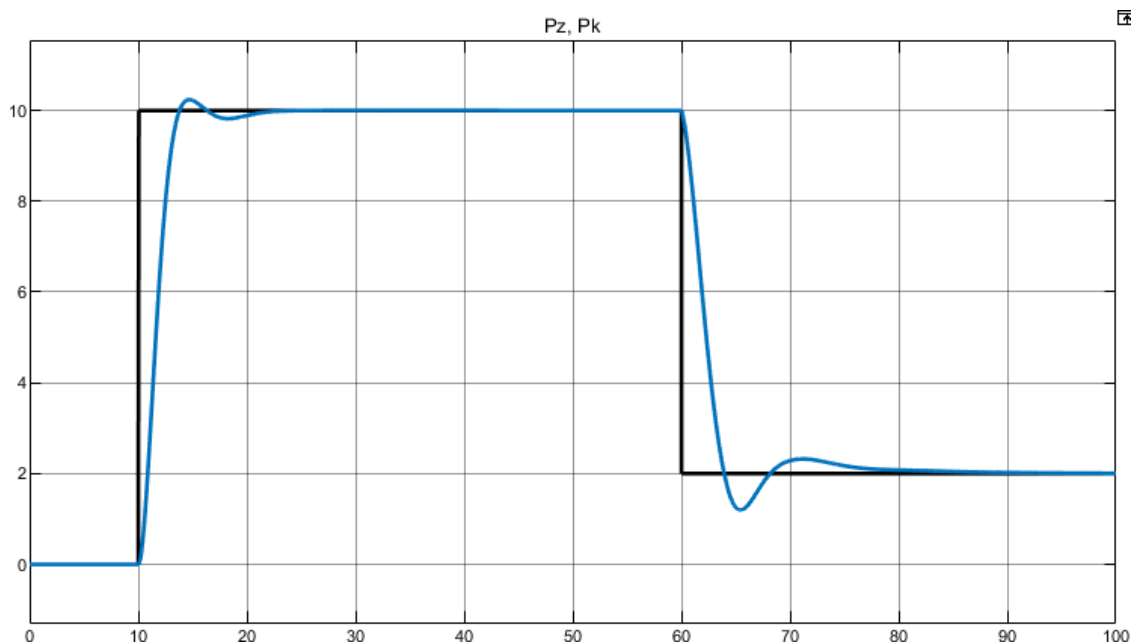


Рисунок 2.6 – Графік заданого і плинного тиску в акумуляторному баці

Де чорним зображено графік заданого тиску, синім – графік плинно тиску в акумуляторному баці. Час вказано в секундах, тиск вказано в атмосферах.

2.3 Розробка математичної моделі системи керування

Так, як система позиціонування складається з двох основних модулів і їх технологічні параметри мають різні характеристики, то відповідно до принципів системного підходу необхідно розбити систему якнайменше на два контури керування. Кожний з контурів має виконувати задачу по керуванню параметрами відповідного модуля або відповідного технологічного параметра ОК.

Щоб сформулювати вимоги до регулятора і розробити алгоритм керування необхідно отримати характеристики ОК, провести дослідження зв'язок між модулями об'єкта і ідентифікувати його параметри. Для отримання необхідних даних необхідно розробити математичну модель на основі структурної схеми ОК.

Структурна схема системи підйому (СП) платформи будівельного 3D принтера представлена на рис. 2.7.

Частота керуючих імпульсів f_i , що надходять з мікроконтролера (МК), задає швидкість обертання ω крокового двигуна (КД), який обертає шестерінчастий насос (НШ), відповідно, тиск гідравлічної рідини P в трубопроводі гідроприводу, який визначає переміщення штоку гідроприводу. Від тиску P і витрати q залежить висота підйому платформи.

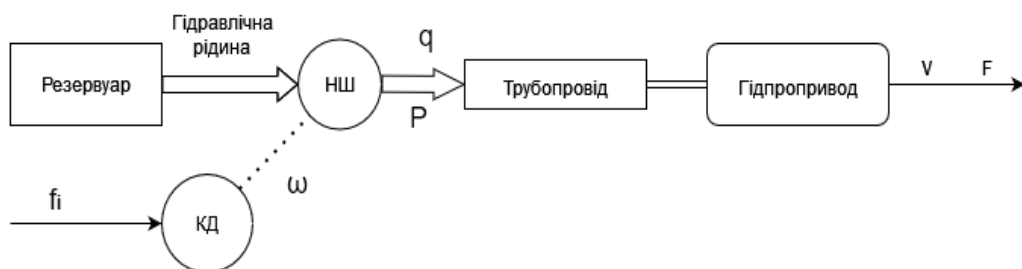


Рисунок 2.7 – Структурна схема СП.

Електромеханічний модуль складається з таких функціональних вузлів:

- шестерінчастий насос (НШ);
- приводний КД ;
- гідравлічний трубопровід ;
- гідропривод

Отже, для побудови математичної моделі системи підйому, опишемо передатні функції ланок.

Якщо розглядати КД у загальному випадку являє собою дискретний синхронний двигун і його передатна функція описується наступними рівняннями [4]:

$$\begin{aligned}
 J * \frac{d^2 \theta_p}{dt^2} + M_c &= M_d \\
 i_k R_k + \frac{d\psi_k}{dt} &= U_k
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

де J - сумарний момент інерції , на валу двигуна; M_c - сумарний момент навантаження; M_d - електромагнітний момент, що обертає КД; θ_p - кут повороту ротора;

U_k , i_k , R_k , ψ_k - миттєві значення напруг, струмів, електричного опору і потокозчеплень k -го контуру

Якщо враховувати, момент сухого M_f і в'язкого тертя з коефіцієнтом D , обертальний рух ротора двигуна по змінній механічного кута повороту θ_p можна описати лінійним диференціальним рівнянням другого порядку виду [4]:

$$J * \frac{d^2 \theta_p}{dt^2} + D * \frac{d\theta_p}{dt} + M_f = M_d - M_c
 \tag{6}$$

Зважаючи на те, що механічний кут повороту КД θ_p -це інтеграл від швидкості обертання ω ,

$$\Theta(s) = k_2 * \omega / s$$

(7)

рівняння (2) в операторній формі запису представляється:

$$J * s * \omega + D * \omega + M_f = M_d - M_c$$

(8)

де s-оператор Лапласа.

Відповідно до структурної схеми моделювання КД (рис. 2.8) та рівняння (4), швидкість обертання КД визначається[5]:

$$\omega(s) = \frac{k_3 M_\Sigma}{J s}$$

(9)

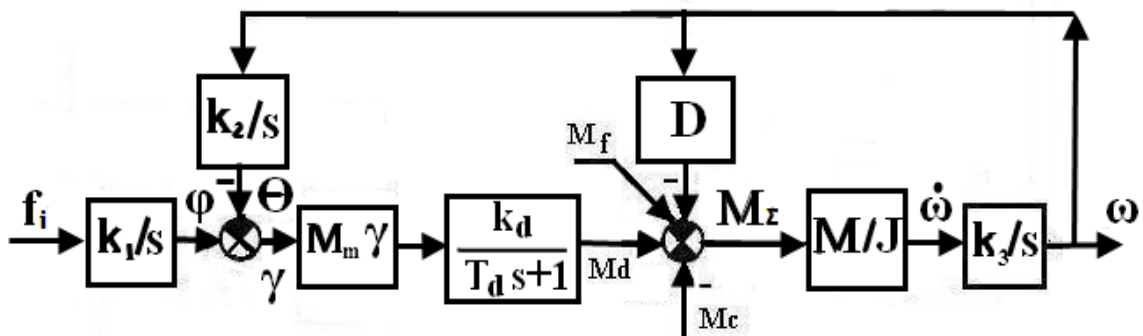


Рис. 2.8 Структурна схема моделювання КД.

До структурної схеми моделювання КД (Рис. 1.6) включено ланку, яка враховує перехідні процеси комутації струмів в обмотках. Стала часу КД T_d , яка залежить від індуктивності L_d та опору обмотки R_d , оцінює час досягнення струмом обмотки ШД свого сталого значення.

Для дослідження залежності між компонентами системи і ідентифікації на основі математичної моделі була розроблена імітаційна модель (рис. 2.9) в середовищі MATLAB Simulink, яку в подальшому можна використати для реального прототипу будівельного принтера радіального типу [6].

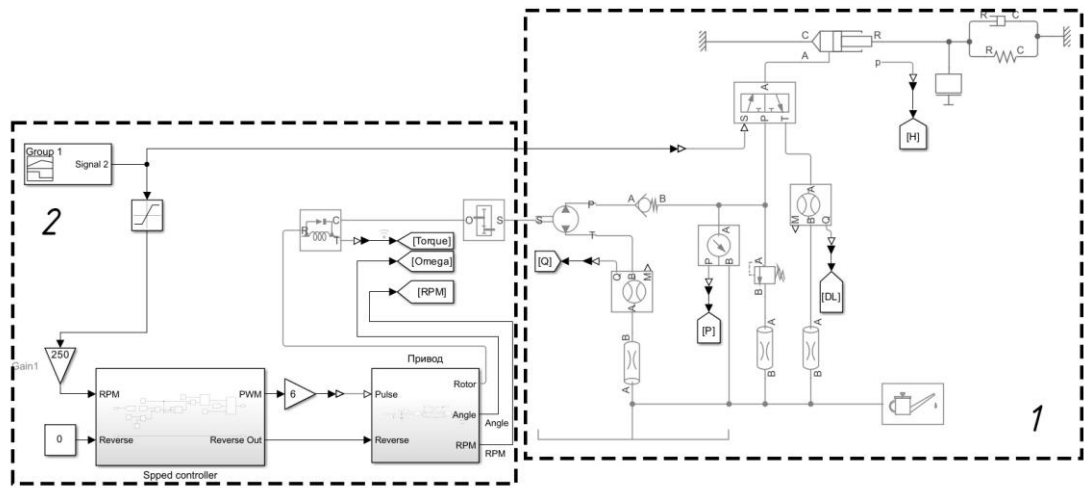


Рис. 2.9 Імітаційна модель системи підйому

Модель складається з задавача висоти підйому платформи, драйвера КД, електромеханічного привода, гідравлічної системи, компонента контролю струму, компонента контролю положення золотника гідророзподільника.

На вхід системи подається величина яка відображає задану висоту підйому платформи. На виході ми отримуємо показники з датчиків висоти підйому, швидкості обертання КД, тиск в системі, обертальний момент КД.

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ТОЧНІСТЬ ПОЗИЦІОНУВАННЯ

3.1 Аналіз факторів впливу

Відповідно до задачі досягнення максимальної точності позиціонування є необхідність визначити ключові фактори впливу на точність. Такими факторами можуть бути як зовнішні так і внутрішні збурення, або технологічні особливості використаного обладнання. Виходячи із аналізу технологічного об'єкту і ідентифікації його параметрів був зроблений висновок, що сукупність внутрішніх факторів впливу гідравлічної складової представляє собою затримки і тертя в гідравлічних трубопроводах, час перемикання розподільників, час необхідний для досягнення тиску зрушення штока, різкі зміни тиску під час збільшенню навантаження на гідроциліндри. Сукупність цих факторів формує сталу часу, яка є набагато більшою за сталу часу електромеханічного перетворювача.

Під час проведення досліджень з використанням імітаційної моделі системи в середовищі Matlab, було отримано результати реакції ОК на задачу підйому платформи до заданої висоти. Щоб отримати перехідну характеристику ОК була задана стала швидкість обертання КД в 300 обертів за хвилину і в якості навантаження на гідравлічну систему було задано 100 кілограм. Після проведення розрахунків було отримано графіки вихідних значень тиску в системі, швидкості оберту валу електромеханічного перетворювача і час підйому платформи до заданої висоти (рис. 3.1).

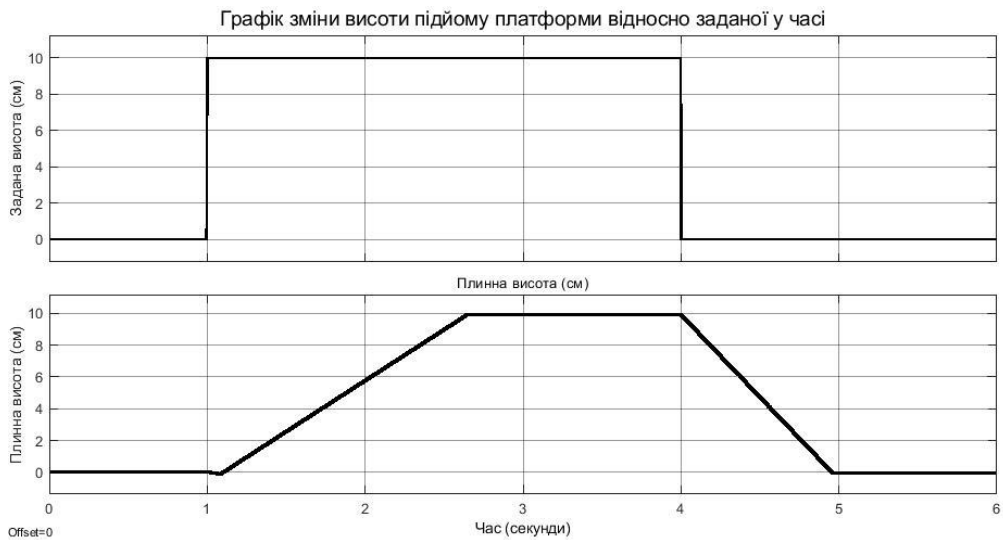


Рис. 3.1 Графік зміни плинної висоти підйому платформи у часі

Виходячи з отриманих графіків штоки гідравлічної системи досягли висоти в 10 сантиметрів за 2.8 секунди при сталих обертах валу насоса в 300 об/хв. Також під час розрахунків було отримано графіки тиску в магістралях відносно часу під час виконання роботи по підйому (рис. 3.2).

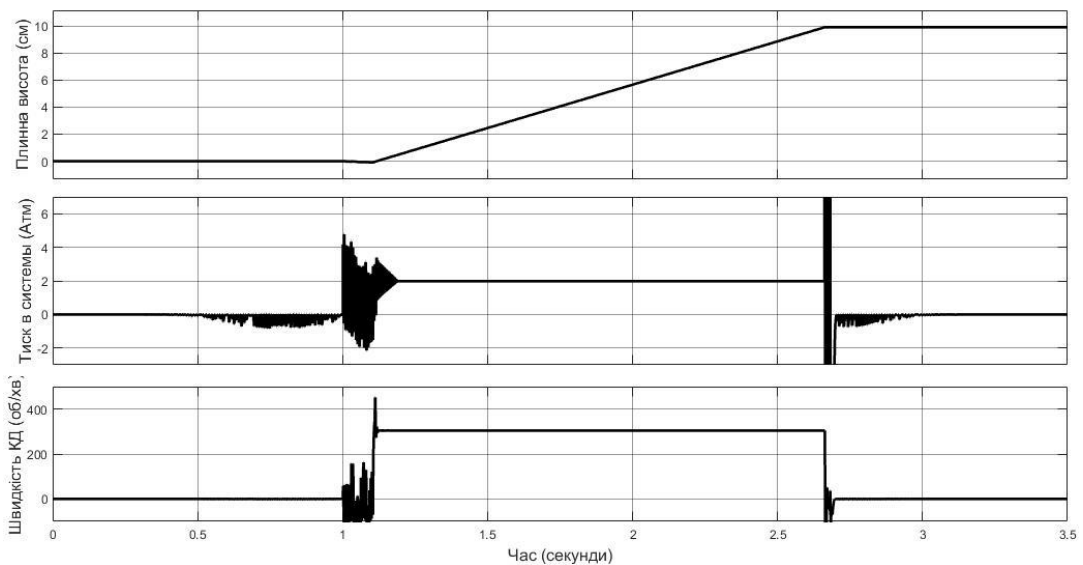


Рис. 3.2 Графік залежності тиску в системі від плинної висоти підйому платформи

Виходячи з отриманого графіку можна сказати, що в моменти перемикання потоків в гідравлічному розподільнику виникають стрибки тиску. Стрибки тиску утворюються за рахунок постійної часу перемикання потоків, так як КД має сталу часу значно меншу чим гідравлічний

розподільник, на валу електромеханічного перетворювача виникає момент навантаження, який перевищує максимально можливе навантаження на вал і в результаті таке збурення відпрацьовується некоректно [7].

3.2 Вплив коливань стріли

Виходячи з конструктивних параметрів об'єкта керування, а саме стріли яка жорстко закріплена на підйомній платформі для врахування максимальної кількості збурень і підвищення точності позиціонування, було прийняте рішення додати в імітаційну модель передатну функцію стріли. Імітаційна модель стріли була розроблена на основі математичної моделі жорсткої балки[8].

Для розрахунку жорсткості балки з прямокутним поперечним перерізом можна використовувати наступну формулу:

$$k = (E * b * h^3) / (12 * L^3)$$

(10)

де E - модуль Юнга матеріалу балки, b - ширина поперечного перерізу балки, h - висота поперечного перерізу балки, L - довжина балки.

Для визначення жорсткості, коефіцієнта згасання та маси, можна використовувати наступні значення:

- модуль Юнга для сталі: $E = 200 * 10^9$ Па;
- густина матеріалу сталі: $\rho = 7850$ кг/м³;
- довжина балки: $L = 5$ м;
- ширина поперечного перерізу: $b = 5$ см = 0.05 м;
- висота поперечного перерізу: $h = 1$ см = 0.01 м.

Тоді жорсткість балки буде дорівнювати:

$$k = (200 * 10^9 * 0.05 * 0.01^3) / (12 * 5^3) = 520.83 \text{ Н/м}$$

Для визначення коефіцієнта згасання можна використовувати наступну формулу:

$$b = 2 * ksi * \sqrt{k * m}$$

(11)

де ksi - демпфіруючий коефіцієнт, який зазвичай приймають рівним 0.05. Масу балки розраховується наступним чином:

$$m = \rho * A * L$$

(12)

де A - площа поперечного перерізу балки.

Для прямокутного поперечного перерізу площу можна обчислити таким чином: $A = b * h = 0.05 * 0.01 = 0.0005 \text{ м}^2$. Тоді маса балки буде дорівнювати: $m = 7850 * 0.0005 * 5 = \mathbf{19.625}$ кг.

Для заданої жорсткості балки k та маси m , передавальна функція жорсткої балки з використанням оператора Лапласа виглядає наступним чином:

$$G(s) = K(s) / M(s)$$

(13)

Де: $K(s)$ - чисельник передавальної функції, що представляє жорсткість балки, $M(s)$ - знаменник передавальної функції, що представляє інерцію балки.

Чисельник і знаменник передавальної функції визначаються наступним чином:

$$K(s) = k, M(s) = m * s^2 + b * s + k$$

(14)

Де: s - оператор Лапласа, b - коефіцієнт згасання, k - жорсткість балки, m - маса балки.

Отже, передавальна функція гнучкої балки з використанням оператора Лапласа матиме наступний вигляд:

$$G(s) = k / (m * s^2 + b * s + k)$$

(15)

Для даного випадку, значення параметрів жорсткості, маси і коефіцієнта затухання можна підставити:

$$G(s) = 520.83 / (19.625 * s^2 + 11.62 * s + 520.83) \quad (16)$$

Для отримання результату переміщення кінцевої точки балки, яка закріплена на платформу до математичної моделі було додано передавальну функцію яка зображена на рис.3.3

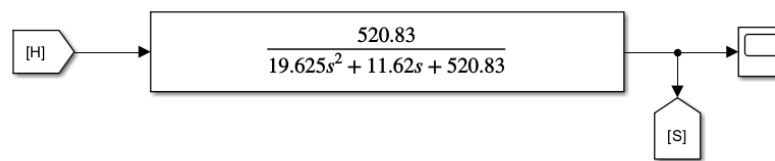


Рис. 3.3 Передавальна функція жорсткої балки

Де Н – висота підйому платформи, S – висота підйому кінця балки.

Виходячи з того, що імітаційна модель зазнала змін, було проведено розрахунки з отримання перехідної характеристики з урахуванням поведінки стріли. Перехідна характеристика об'єкта зображена на рис. 3.4.

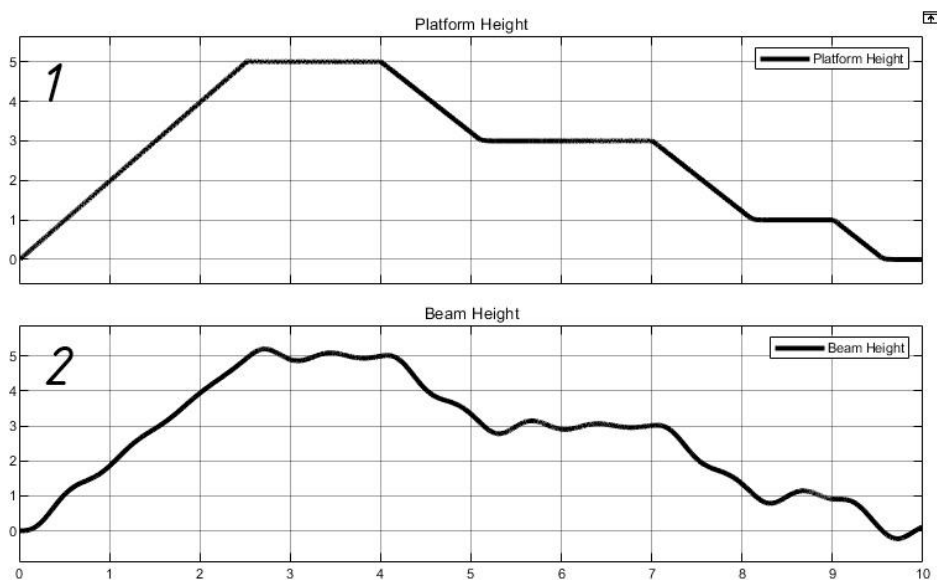


Рис. 3.4 Графік висоти підйому платформи

Де 1 – плинна висота підйому екструдера без урахування коливань стріли, 2 – плинна висота підйому екструдера з урахуванням поведінки стріли.

На графіку №2 (рис. 3.4) добре видно коливальні процеси при різкій зміні швидкості руху платформи. Дані коливання лінійно залежать від швидкості руху платформи і мають великий час затухання, що впливає на точність позиціонування.

Відповідно до задач керування, рух платформи можна поділити на два етапи:

1. Утворення витрати в напорній магістралі і відповідно утворення тиску який призводить до руху платформи вгору.
2. Зупинка обертання валу насоса і відкриття зливної магістралі, що призводить до зменшенню висоти підйому платформи.

Для зменшення коливань екструдера під часу встановлення платформи у задану позицію, необхідно контролювати тиск в напорній магістралі із врахуванням постійної часу перемикання потоків і контролювати витрати в зливній магістралі.

РОЗДІЛ 4 СТРУКТУРНИЙ СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА

4.1 Побудова основних схем

Виходячи з задачі керування тиском в магістралях із врахуванням постійних часу компонентів системи, які впливають на точність позиціонування, було прийняте рішення розробки системи керування позицією екструдера. Система керування включає в себе контур керування електромеханічним приводом насосу (рис. 4.1) і контур керування клапаном зливної магістралі (рис. 4.2).

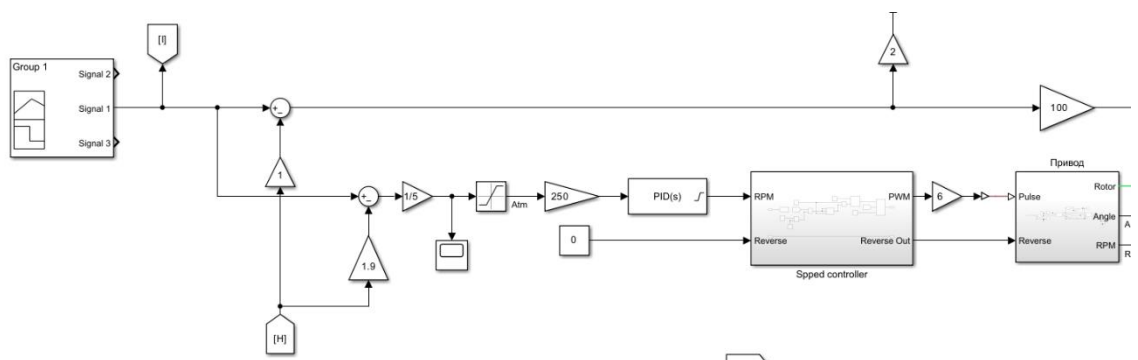


Рис. 4.1 Контур керування приводом насоса

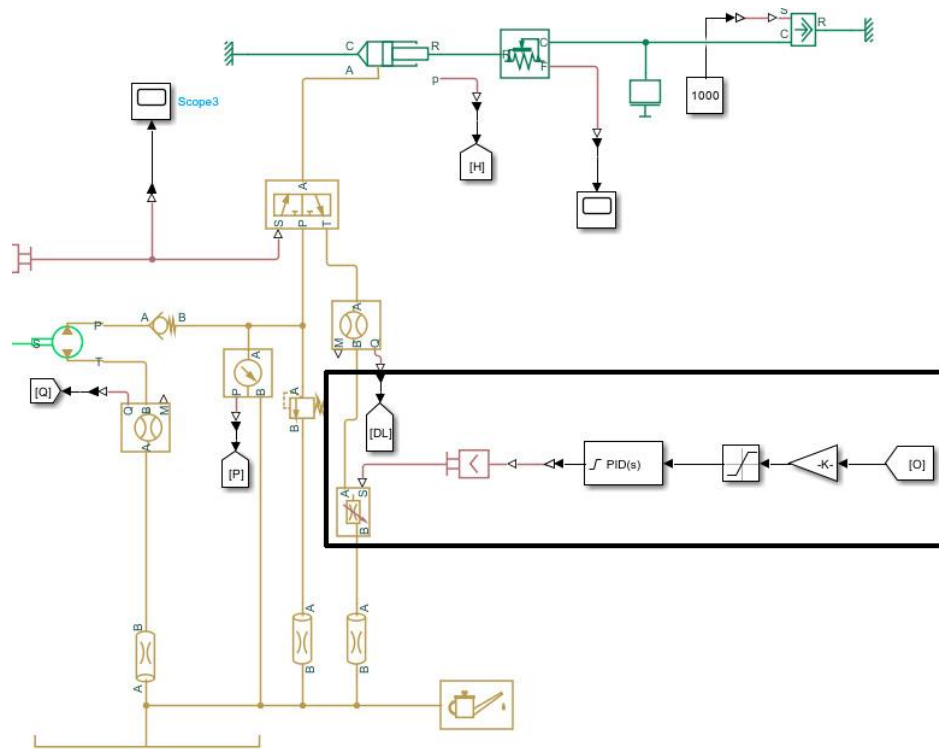


Рис. 4.2 Контур керування клапаном контролю потоку зливної магістралі

Для керування обертами привода насоса гідравлічної системи необхідно розробити регулятор, який на основі даних отриманих з давача плинної висоти зможе сформулювати керуючий вплив на КД і відпрацює збурення.

В якості регулятора було обрано PID, так як він є основним інструментом проектування систем автоматизації, простий в проектуванні і має високу ефективність використання. Класичний ПІД-регулятор складається із трьох основних коефіцієнтів: пропорційний рК, інтегральний іКта диференціальний dК коефіцієнти, які є основою для ефективного налаштування регулятора[9]:

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

(17)

Де $u(t)$ -керуючий сигнал; $e(t)$ -похибка керування між заданим та отриманим виходом; iT -стала інтегрування; dT -стала диференціювання.

Для налаштування коефіцієнтів регулятора найбільш часто використовують метод Зіглера-Нікольса. Цей метод не є універсальним і підходить не для всіх ОК, але він є простим і може бути використаним для базового налаштування регулятора. Для налаштування коефіцієнтів PID регулятора методом Зіглера-Нікольса в середовищі MATLAB Simulink присутній інструмент PID Tuner [10] (рис.4.3).

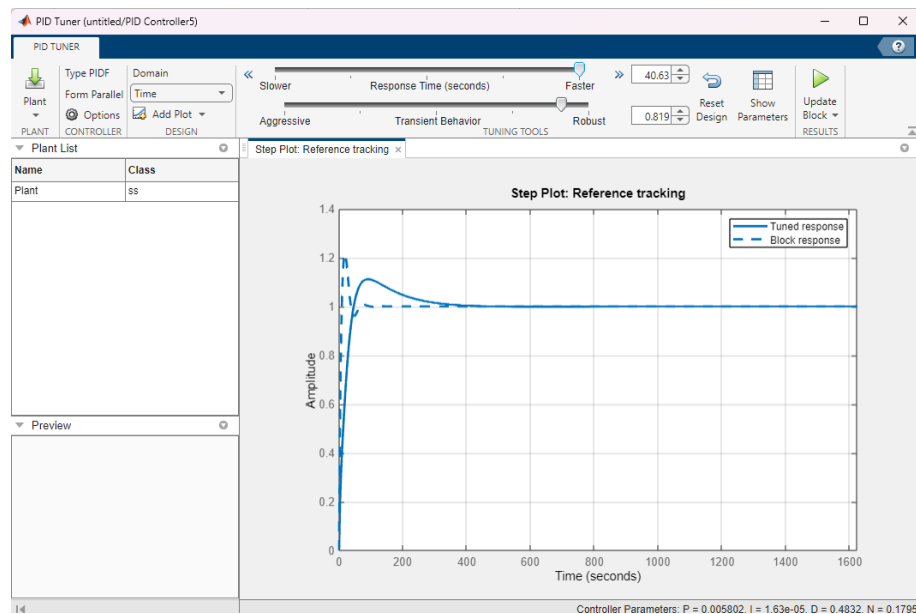


Рис. 4.3 Інструмент налаштування ПІД-регулятора в MATLAB Simulink

Після налаштування було отримано наступні коефіцієнти налаштування регулятора (рис. 4.4)

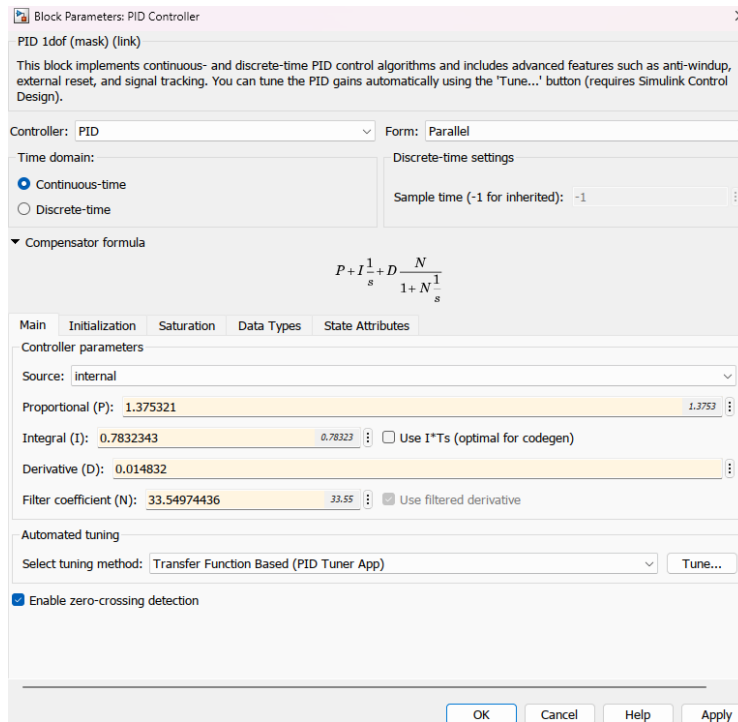


Рис. 4.4 Коефіцієнти налаштування ПІД-регулятора

Обраний метод налаштування є простим але він не враховує вимоги до запасу стійкості системи, що може стати критичним, якщо не неврахувати всі фактори впливу на ОК при налаштуванні коефіцієнтів регулятора.

В імітаційній моделі контури керування реалізовано з використанням ПІД регулятора як для керування електромеханічним перетворювачем так і гідравлічним клапаном. Обраний регулятор має забезпечити плавну зміну керуючого впливу на основі зворотнього зв'язку по висоті підйому.

4.2 Результати моделювання

Після реалізації імітаційної моделі контурів керування в програмному середовищі MATLAB Simulink було отримано графік залежності плинної висоти підйому платформи від заданої, який зображено на рис. 4.5.

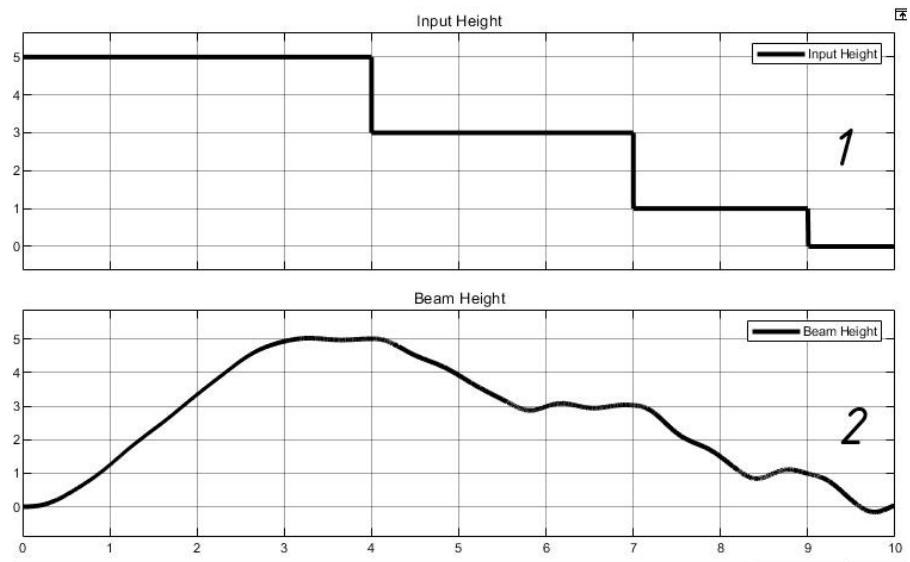


Рис. 4.5 Графіки заданої висоти підйому і плинної висоти підйому кінцевої точки балки

Де №1 – графік заданої висоти, №2 – графік плинної висоти підйому кінцевої точки балки.

Виходячи з отриманого графіку можна сказати, що під час ступінчатої зміни заданої висоти позиціонування на висоті 5 сантиметрів, система керування забезпечила точне позиціонування під час підйому платформи з урахуванням коливань стріли. Також на графіку добре видно, що при опусканні платформи і під час її зупинки коливання стріли не були відпрацьовані, що говорить про різку реакцію регулятора на перерегулювання і формування некорректного керуючого впливу на електромеханічний перетворювач.

Так, як позиціонування екструдера відбувається в робочому діапазоні від 0 до 300 сантиметрів, було проведено розрахунки при задачі керування позиціонування до висоти в 20 сантиметрів, в результаті яких було отримано графік плинної висоти платформи зображені на рис. 4.6.

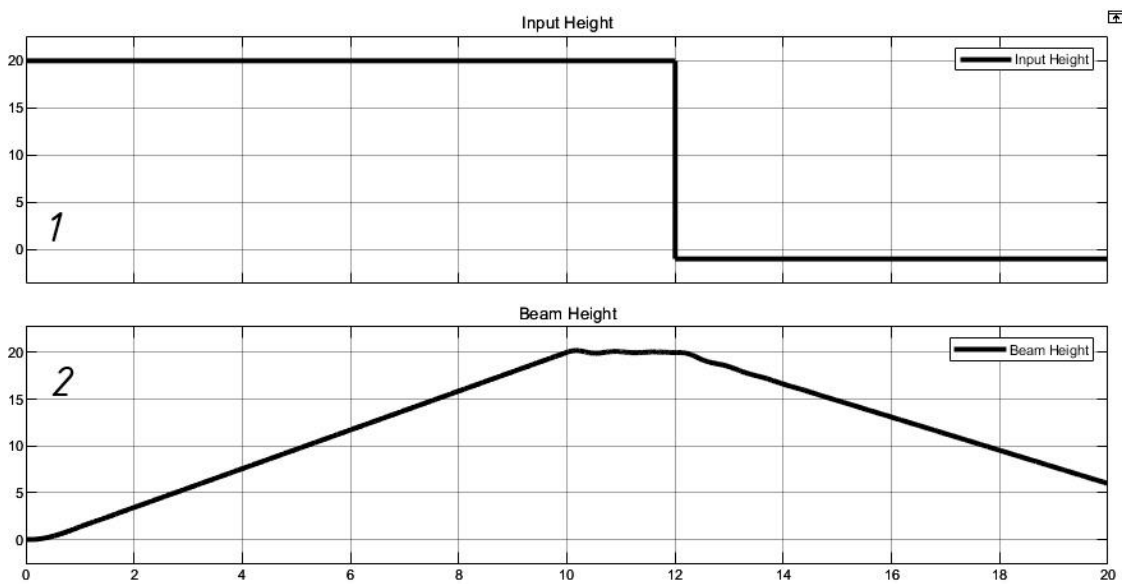


Рис. 4.6 Графіки заданої висоти підйому і плинної висоти підйому кінцевої точки балки

Де 1 – графік заданої висоти, 2 – графік плинної висоти підйому кінцевої точки стріли (балки).

Виходячи з отриманого графіка можна зробити висновок, що регулятор контуру керування електромеханічним перетворювачем при заданій висоті позиціонування в 20 сантиметрів не відпрацьовує коливання. Причиною різної поведінки ОК з використанням PID регулятора є те, що він не враховує зміну параметрів об'єкта в повному спектрі робочої висоти за рахунок сталих коефіцієнтів налаштування.

Отже використання алгоритму позиціонування, який базується на використанні сталих налаштувань без врахування змін параметрів ОК не задовольняє вимоги точного позиціонування в повному діапазоні робочої висоти платформи.

РОЗДІЛ 5

ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ТА ПОБУДОВА РЕГУЛЯТОРА

5.1 Аналіз результатів моделювання

Виходячи з отриманих результатів було зроблено висновок, що використання алгоритму керування, який не враховує зміну параметрів і відповідно поведінку ОК при різних задачах позиціонування, не задовольняє вимоги. Отже необхідно відпрацювати підхід з використанням алгоритму керування, який буде враховувати зміну ідентифікованих параметрів в повному діапазоні робочої висоти. Так, як ОК має чіткі межі робочої висоти, можна сформулювати набір даних методом експертних оцінок, такий набір даних може бути чітко сформульованим коефіцієнтами для адаптивного PID регулятора. Такий підхід дає можливість збільшити точність позиціонування із врахуванням внутрішніх збурень і точність регулювання буде залежати від об'єму набору даних. Будівельний принтер є складним об'єктом, на його роботу впливають не тільки внутрішні збурення а і зовнішні, такі як температура навколишнього середовища, навантаження на платформу, навантаження на стрілу, густина гідравлічної рідини. Тому використання набору сталих коефіцієнтів не дасть змогу відпрацювати повний спектр можливих збурень, так як сталі налаштування їх не враховують.

Так, як використання сталих даних у вигляді набору коефіцієнтів не дасть змогу повністю виконати задачу точного позиціонування даного ОК, необхідно використати алгоритм, який базується на експертних оцінках, але має нечітку логіку по відпрацюванню збурень. Таким алгоритмом можна вважати побудову контура керування електромеханічним перетворювачем з використанням регулятора з нечіткою логікою. Даний регулятор має сталі коефіцієнти налаштування і формує керуючий вплив на базі лінгвістичних оцінок помилок.

Одними із алгоритмів, які забезпечують таку логіку є алгоритми Мамдані або Такагі-Сугено, які є алгоритмами логічного виводу по базі знань. База знань містить в собі всі знання регулятора, базу правил нечіткого керування і базу даних коефіцієнтів, яка описує визначення об'єктів (факти, умови, концепції) і визначення функцією приналежності, які використовуються в правилах. Функціональна модель нечіткого логічного контролера зображена на рис.5.1. [9]

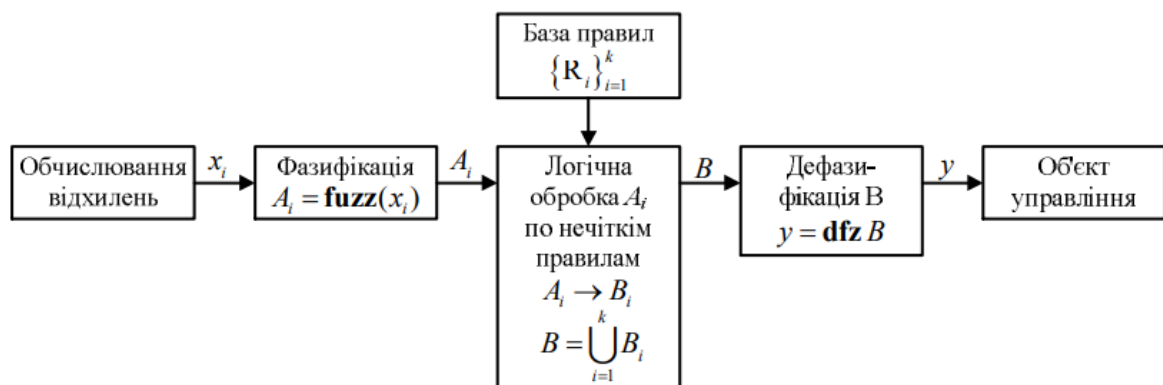


Рис. 5.1. Функціональна модель нечіткого логічного контролера

Керуючі впливи обчислюються в НЛК в чотири основні етапи:

1. Обчислення відхилень вхідний фізичної змінної e .
2. Фазифікації: перетворення вхідної змінної в множину нечітких значень $A_i(i = \overline{1, k}) = \text{fuz}(e_i)$ вхідної змінної.
3. Логічна обробка нечітких змінних на основі бази правил НЛК і отримання висновків з подальшим виконанням операції агрегації.
4. Дефазифікація: перетворення нечіткого загального висновку в керуючий вплив.

Алгоритм функціонування нечіткого логічного контролера описується системаю рівнянь, яка визначається послідовністю процесів перетворення інформації в контролері.

$$\{R_i\}_{i=1}^k = \begin{cases} R_1 : A_1 \circ R_1 = A_1 \circ (A_1 \rightarrow B_1); \\ R_2 : A_2 \circ R_2 = A_2 \circ (A_2 \rightarrow B_2); \\ \dots \\ R_k : A_k \circ R_k = A_k \circ (A_k \rightarrow B_k); \end{cases}$$

$$B = \bigcup_{i=1}^k B_i; \quad \text{dfz}(B) = u;$$

(18)

5.2 Моделювання регулятора

Для перевірки ефективності обраного алгоритму, в імітаційну модель системи керування, а саме в контур керування електромеханічним перетворювачем було додано регулятор з нечіткою логікою. В якості моделі регулятора було обрано Fuzzy Controller розрахунки якого проводяться за алгоритмом Мамдані [11]. Імітаційна схема з використанням нечіткого регулятора зображена на рис. 5.2.

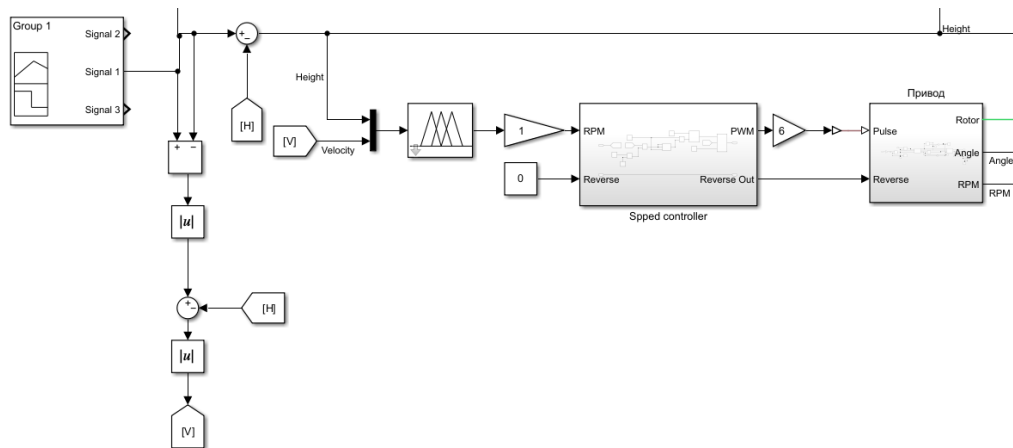


Рис. 5.2. Імітаційна модель контуру керування електромеханічним перетворювачем з використанням нечіткого регулятора

Так, як механічні коливання платформи виникають через однакову швидкість руху платформи в незалежності від різниці заданої і плинної висоти, утворюється умова контролю швидкості переміщення платформи на різних

проміжках висоти. Логіка контролю за швидкістю полягає у збільшенню обертів насоса і відповідно збільшенню швидкістю переміщення платформи коли вона знаходиться на максимальній відстані від точки старту і заданої висоти. Відповідно коли різниця плинної і заданої висоти становить не більше 2 сантиметрів швидкість обертання валу насоса мінімальна, що дає можливість плавного підводу стріли до заданої позиції не викликаючи коливань.

Так, як регулятор має враховувати не тільки різницю між плинною і заданою висотою а і останню точку зупину платформи, то в моделі регулятора було створено два входи: *Heigh* – різниця заданої висоти і плинної; *Velocity* – висота підйому платформи відносно останньої точки зупину. Структурна схема входів і виходів регулятор в середовищі MATLAB Simulink зображено на рис. 5.3.

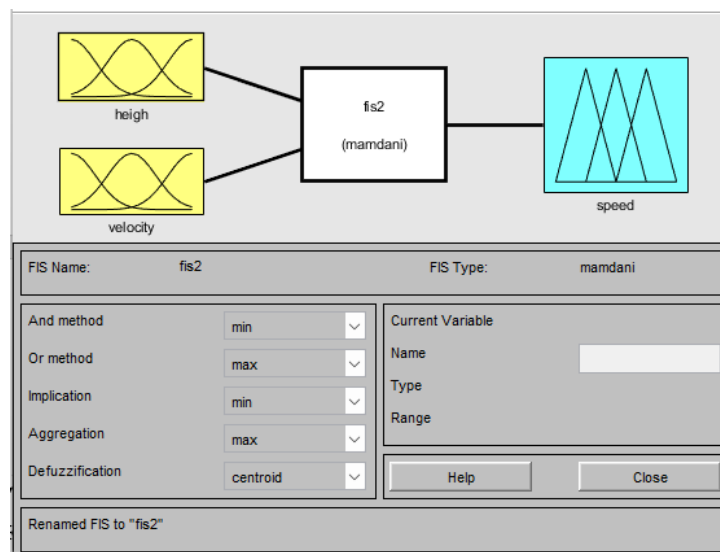


Рис. 5.3 Структурна схема входів і виходів регулятора

Інструментарій для налаштування режимів швидкості приводу насоса в регуляторі зображено на рис. 5.4.

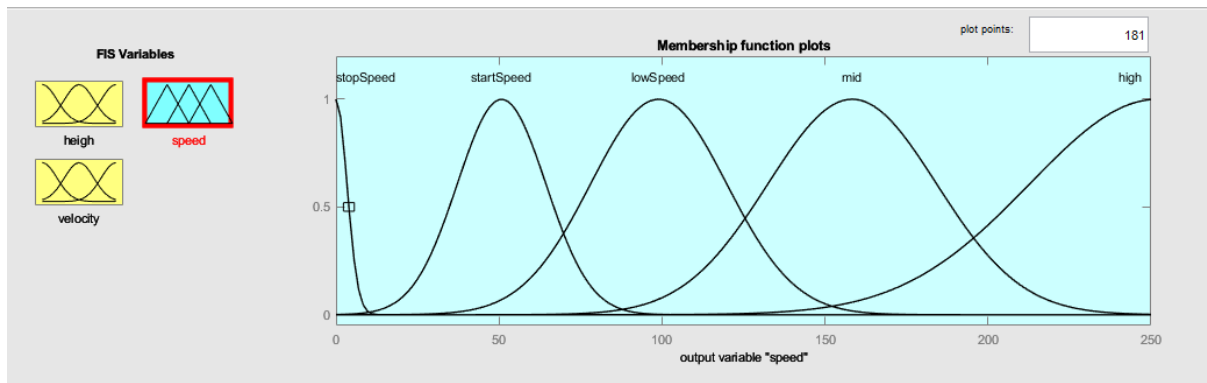


Рис. 5.4 Графік налаштування режимів швидкості обертання валу привода насоса системи підйому

Після проведення розрахунків з використанням імітаційної моделі було отримано графіки плинної висоти платформи, які зображено на рис. 5.5.

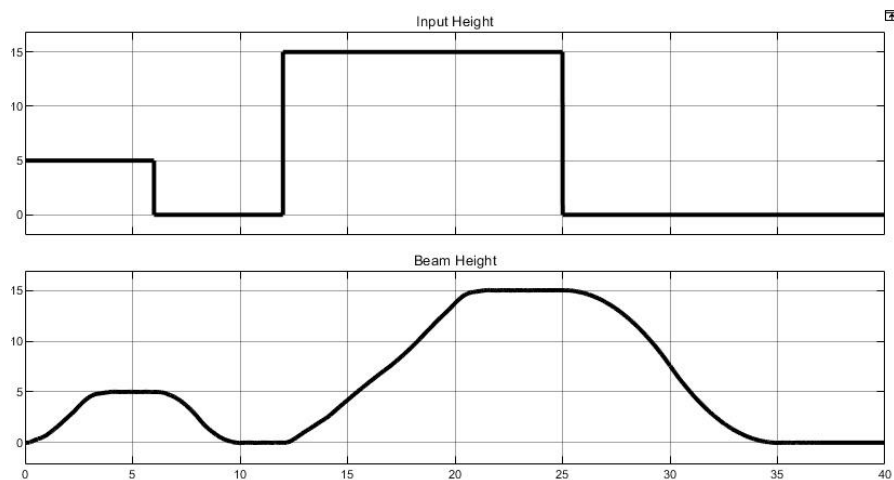


Рис. 5.5. Графіки заданої і плинної висоти з використанням системи керування на основі регулятора з нечіткою логікою

Виходячи з отриманого графіку можна сказати, що під час переміщення платформи на задану висоту 5 і 20 сантиметрів коливання відсутні за рахунок зміни режимів швидкості переміщення. Отже, регулятор відпрацював всі модельовані збурення. Регулятор виконує поставлену задачу точного позиціонування незалежно від заданої висоти. Також були отримані графіки зміни швидкості графіки швидкості руху платформи до впровадження нечіткого регулятора в контур керування приводом насосу і після (рис 5.6).

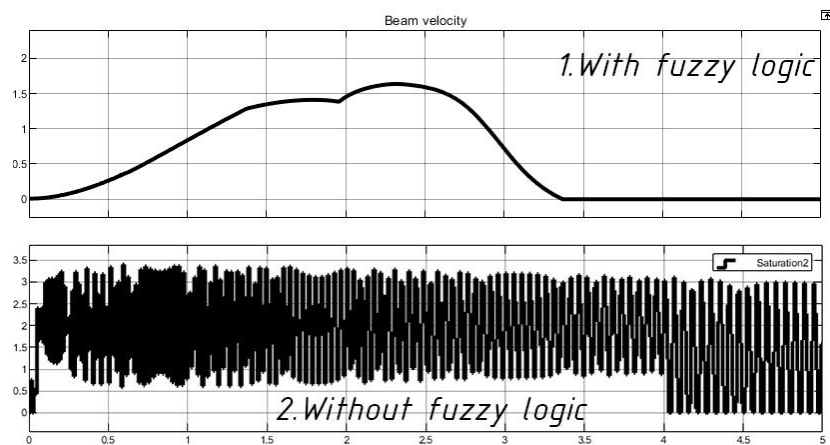


Рис. 5.5 Графіки швидкості переміщення

Де 1 – Графік швидкості з використанням регулятора з нечіткою логікою, 2 – графік швидкості руху платформи без використання системи керування.

На отриманому графіку добре видно, що зміна швидкості руху платформи відбувається по заданому алгоритму керування, а саме під час початку руху і в момент досягнення заданої висоти швидкість платформи зменшується до мінімальної.

РОЗДІЛ 6

РОЗРОБКА СТРУКТУРИ SCADA СИСТЕМИ

6.1 Архітектура SCADA системи

Для керування ОК в реальному часі, обробки, збору і відображення інформації на панелі оператора, виникає задача розробки SCADA системи, яка зможе забезпечити виконання цих задач і забезпечить операторний контроль ТП. Стандартна SCADA система складається з трьох основних структурних компонента:

1. Віддалений термінал (RTU);
2. Диспетчерський пункт керування (MTU);
3. Комунікаційну систему (CS);

Для розробки операторної системи керування була створена структурна схема SCADA, яка зображена на рис. 6.1. [12]

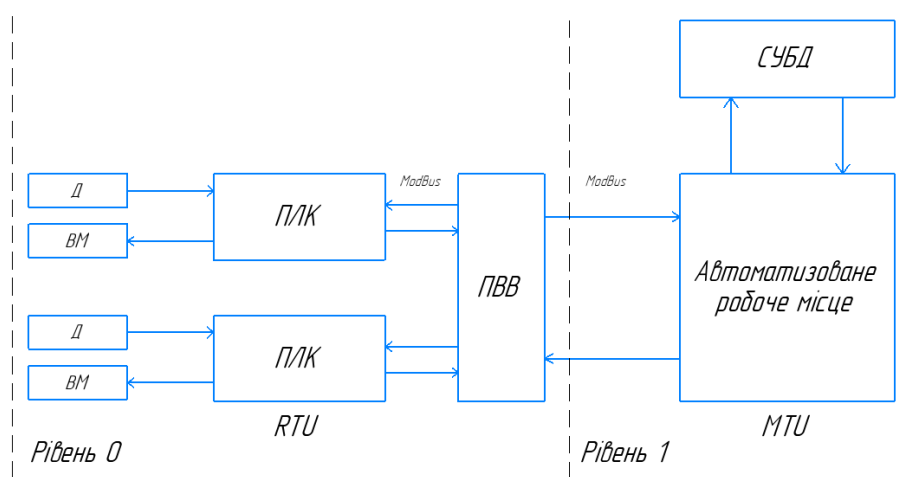


Рисунок 6.1 Структурна схема SCADA системи

Для SCADA системи були сформовані наступні вимоги: частота оновлення даних про параметри ТП один раз за секунду, робота обладнання при заданих умовах експлуатації, візуалізація процесу на віддаленому АРМ, можливість реалізації розроблених алгоритмів керування із забезпеченням обміну даних між рівнями системи.

Виходячи з поставленої задачі, необхідно провести вибір програмних і апаратних засобів SCADA, таких як RTU пристрої, узгоджуючі пристрої, промисловий комп'ютер і панель оператора. Для реалізації задачі з обміну інформації необхідно сформувавши вимоги до комунакаційної системи і провести вибір засобів зв'язку.

6.2 Вибір програмного забезпечення

Для виконання поставленої задачі по проведенню вибору програмних засобів, з використанням яких можна реалізувати розроблені алгоритми в якості середовища розробки прикладних програм ПЛК було обрано CodeSys. Обране програмне середовище надає можливість розробки ПЗ для ПЛК на п'ятьох мовах: IL, SFC, SL, FBD, ST. CodeSys є комплексним ПЗ, яке включає OPC сервер, який забезпечує узгодження з апаратною частиною ПЛК із

використанням протоколів обміну даних таких, як Modbus, MQTT, SNMP і підтримує стандарт OPC-UA, як для реалізації алгоритмів обробки вхідних/вихідних сигналів, так і двонаправленим обміном даних з АРМ SCADA системи [13]. Даний комплекс працює на базі операційних систем Windows або Linux, що дає змогу використання на будь-якому пристрої з процесорною архітектурою i386, amd64 або armel (ARM).

Відповідно до задачі відображення параметрів ТП необхідно реалізувати відображення технологічного процесу на основі отриманих від RTU даних. Тому для здійснення операторного керування і контролю було обрано програмний комплект Zenon Scada від компанії COPA-DATA GmbH. Обраний програмний комплекс дає можливість підключитись до RTU пристроїв за допомогою OPC сервера, що дає змогу обміну даними між рівнями системи. Комплекс має здатність автоматично ідентифікувати змінні програмного середовища, що дає змогу швидко узгодити данні і проводити їх обробку в реальному часі. Також обраний програмний комплекс дає можливість створювати інтерактивні мнемосхеми, відображати їх, відслідковувати аварійні ситуації і вести записи параметрів із заданою частотою [14].

За допомогою програмного забезпечення Zenon Editor, на основі схеми матеріально-інформаційних потоків була розроблена операторна мнемосхема технологічного процесу будівельного принтера радіального типу, яка відображає всі необхідні технологічні параметри. Мнемосхема зображена на Рис. 6.2.

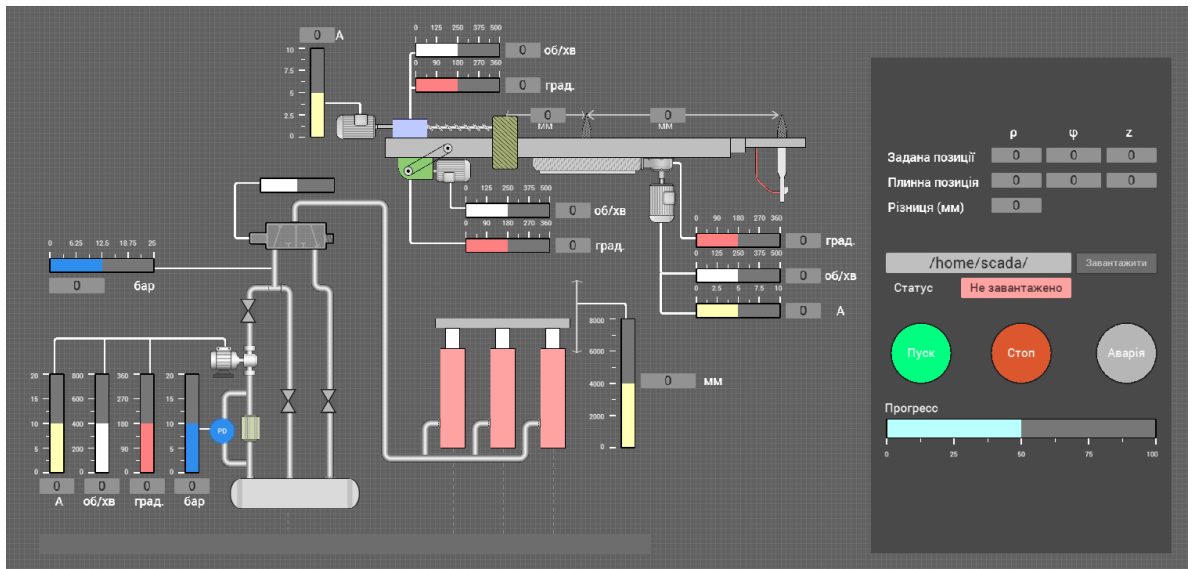


Рисунок 6.2 операторна мнемосхема технологічного процесу в середовищі Zenon SCADA

6.3 Вибір апаратного забезпечення

Виходячи з розробленої структурної схеми SCADA, система має два рівні. Кожний з рівнів має своє програмне забезпечення, яке виконує чітко задані функції. Виходячи з того, що експлуатація ОК відбувається в екстримальних умовах експлуатації, необхідно сформулювати вимоги до апаратних засобів.

Головними вимогами є можливість апаратних засобів працювати в середовищі з великим запиленням, прямих сонячних променів, температурі навколишнього середовища від 0°C до 45°C, безперервної роботи до 72 годин, підвищеної вологості. В загальному, можна сформулювати наступні вимоги:

- Клас захисту оболонки не менше IP54 за стандартом ДСТУ EN 60529:2018.
- Робоча температура навколишнього середовища 0-45°.
- Не менше 72 годин безперервної роботи.
- Можливість роботи за одним із протоколів обміну даними Modbus, MQTT, SNMP.

Виконання цих вимог дає можливість виконання поставлених задач точного позиціонування під час експлуатації системи.

Виходячи з поставлених вимог до апаратних засобів було проведено вибір засобів для нульового рівня, виключаючи виконавчі механізми і датчики. Для об'єктів які працюють в екстремальних умовах компанія Schneider Electric розробила комплекс засобів, які включають ПЛК, промисловий комп'ютер, модулі вводів і виводів [15]. Структурна схема архітектури комплексу EcoStruxure зображена на рис. 6.3.



Рисунок 6.3 Структурна схема архітектури комплексу Eco Struxure

Обраний комплекс забезпечує не тільки широкий спектр засобів автоматизації а і надає можливість гнучкого налаштування модулів і зв'язку між ними. Так, як клас захисту засобів згідно вимог становить не менше IP54, було проведено вибір ПЛК. Першим було розглянуто ПЛК M580 в модифікації ВМЕР5810. Розглянутий ПЛК має наступні характеристики [15]:

- Архітектура процесора - 32-розрядна
- Обсяг оперативної пам'яті - 16 Мбайт
- Обсяг пам'яті резервного копіювання - 2 Мбайт (літієва батарея)
- Кількість вбудованих портів Ethernet - 2
- Підтримувані комунікаційні протоколи - Modbus TCP, EtherNet/IP та інші

- Можливість підключення додаткових модулів розширення по шинах SPI і CAN
- Напруга живлення - 24 В постійного струму
- Діапазон робочих температур - від -25 до +70°C
- Ступінь захисту корпусу - IP20
- Габаритні розміри - 185 x 75 x 119 мм

Зовнішній вигляд ПЛК зображений на рис. 6.4.



Рис. 6.4. Зовнішній вигляд ПЛК моделі M580 VMER5810

Дана модель забезпечує два входи/виходи Ethernet/Modbus для підключення модулів і один вхід/вихід для налаштування ПЛК в програмному середовищі. M580 в модифікації VMER5810 задовольняє всім поставленим вимогам окрім класу захисту. Отже розглянута модель не задовольняє всі основні вимоги і не може бути використана для системи керування принтером.

Наступним було розглянуто модель ПЛК Modicon M580 в модифікації VMER582040S, який є спеціально захищеним і має клас захисту IP54. Даний ПЛК має наступні характеристики:

- Процесор - ARM Cortex-M3
- Обсяг оперативної пам'яті - 64 Мбайт
- Обсяг пам'яті резервного копіювання - 8 Мбайт (літієва батарея)

- Кількість вбудованих портів Ethernet - 2
- Додаткові комунікаційні порти - CANopen, Serial Line, USB
- Підтримка протоколів - Modbus TCP/IP, EtherNet/IP, Modbus Serial Line
- Можливість розширення - до 7 комунікаційних модулів
- Напруга живлення - від 19 до 30 В пост. струму
- Допустимий діапазон температур - від -25 до 60°C
- Ступінь захисту – IP54
- Габарити - 185 x 100 x 119 мм

Даний ПЛК має специфікацію для використання в екстримальних умовах, має більш розширений список типів зв'язку відносно моделі ВМЕР5810 і має великий діапазон напруги живлення, що дає можливість використання в автономних системах живлення. Отже модель ВМЕР582040S задовольняє вимоги до апаратних засобів і може бути використаний в SCADA системі.

6.4 Канали зв'язку

Для реалізації обміну даними між рівнями і компонентами SCADA системи постає задача сформулювати канали зв'язку і провести узгодження протоколів обміну даними з використанням програмних і апаратних інтерфейсів і протоколів.

Так, як система є локальною і АРМ знаходиться на відстані не більше 20 метрів від ОК, використання засобів зв'язку для великих дистанцій не є обов'язковим, це дозволить уникнення використання спеціальних засобів зв'язку так, як це не доцільно. Виходячи з того що система є локальною, було прийнято рішення використання дротових каналів зв'язку. Обрані канали зв'язку є найбільш оптимальним варіантом, так як критеріями оптимуму можна обрати відстань передачі, вплив навколишнього середовища і необхідну частоту обміну даними.

Виходячи з сформованих умов експлуатації ОК, частоти обміну інформацією, наявних інтерфейсів і можливостей програмних засобів, для зв'язку RTU і MTU пристроїв, було обрано асинхронний інтерфейс RS-485 і протокол Modbus. Інтерфейс RS-485 забезпечує підтримку до 32 прийомопередатчиків в одному сегменті мережі довжиною до 1200 метрів [16]. Якщо відстань між рівнями системи або компонентами становить менше 100 метрів, то використанням виті пари забезпечує швидкість передачі даних до 10 Мб/с, що задовольняє вимоги по передачі даних з частотою в 1 Гц. Так, як протокол Modbus побудований на архітектурі Master-Slave, він може використовуватись через послідовні лінії зв'язку з використанням інтерфейсів RS-485, RS-232, RS-422. Протокол Modbus-RTU передбачає використання в мережі одного MTU пристрою і до 247 RTU пристроїв. Також використання протоколу дає можливість виявлення помилок в мережевих кадрах, що виключає передачу пошкодженої інформації. Відповідно до специфікації протокола, максимальний розмір пакету становить 256 байтів.

Отже, використання апаратного інтерфейсу RS-485 і комунікаційного протоколу Modbus відповідає всім поставленим вимогам до каналів зв'язку.

6.5 Модулі входів і виходів

Так, як ПЛК M580 не має аналогових або дискретних входів і виходів, але має можливість підключення модулів, які мають такі контакти або інші інтерфейси, постає задача вибору модулів зв'язку. Модульний підхід є найбільш оптимальним з точки зору енергозбереження, витрат на придбання, простоті обслуговування і компонування. Комплекс Eco Structure надає модуль X80, який є розширенням для роботи з ПЛК M580 з можливістю встановлення модулів різного призначення, як для роботи з аналоговими, дискретними сигналами і силовими механізмами з напругою живлення до 220В [17].

Виходячи з ФСА контуру керування висотою підйому платформи (рис. 6.5) аналогові входи і виходи необхідні для обміну даними з давачами і

виконавчими механізмами, дискретні входи і виходи для обміну даними між рівнями і модулями. Так, як обрані апаратні засоби використовують дискретні інтерфейси для зв'язку між модулями по протоколу Modbus, непотрібно використовувати додаткові засоби узгодження дискретних сигналів. Тільки один дискретний вихід необхідний для передачі керуючого сигналу до драйвера КД.

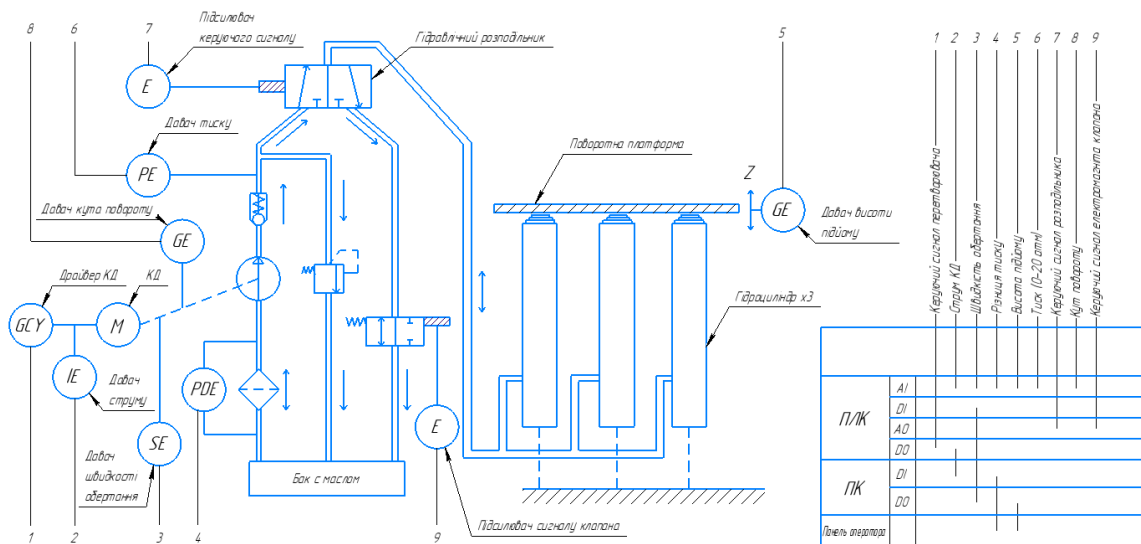


Рисунок 6.5 Функціональна схема автоматизації контуру керування висотою підйому платформи

Платформа X80 дозволяє реалізувати багаторівневу топологію систем автоматизації з використанням різних мережевих технологій - EtherNet/IP, Modbus TCP, Profinet. До складу X80 входить широка номенклатура універсальних та спеціалізованих модулів аналогового та дискретного В/В, модулів вимірювання температури, тиску, витрати. Модулі X80 відрізняються підвищеною надійністю, стійкістю до вібрацій та ударів. Вони можуть використовуватись в системах промислової автоматизації в складних умовах експлуатації. Для вибору необхідних модулів було розглянуто наступні варіанти:

- ВМХАМІ0410 - 4-канальний модуль аналогового вводу струмових сигналів. Діапазон вимірювання на кожен канал - від 0 до 20 мА, роздільна здатність 12 біт.

- VMXAMO0210 - 2-канальний модуль аналогового виводу струмових сигналів. Діапазон вихідного струму на канал - від 0 до 20 мА, роздільна здатність 12 біт.
- VMXAMM0600 - 6-канальний модуль аналогового вводу/виводу. Конфігурується під вхід/вихід струмових сигналів від 0 до 20 мА, а також уніфікованих сигналів напруги/струму.

Всі модулі мають гальванічну розв'язку каналів, захист від перенапруг, діагностику несправностей. Відрізняються кількістю та універсальністю каналів. Підключаються по шині CANopen, живляться від ПЛК. Можуть встановлюватися на стандартну профільну шину DIN або монтуватися на платі ПЛК. Мають розширений температурний діапазон, підходять для використання в промислових умовах.

Так, як система керування має 6 аналогових входів, 2 аналогових виходів і 1 дискретний вихід, з яких 2 аналогових входи і 2 аналогових вихода відносяться до контуру керування тиском і розподільниками, і 1 дискретний вихід, 4 аналогових входи – до ПЛК контуру керування приводом насосу. Виходячи з цього, оптимальним рішенням було обрати модуль VMXAMM0600 для аналогових сигналів для обох ПЛК і додатково використати модуль дискретних виходів VMXDDO3202. Модуль дискретних виходів має наступні характеристики:

- Кількість каналів - 32
- Тип вихідних сигналів – транзисторні, з гальванічною розв'язкою
- Максимальний комутований струм – 0.5А при 24В постійного струму на канал
- Індикація стану виходів світлодіодами
- Інтерфейс зв'язку - CANopen
- Сумісність з ПЛК - M580, M340 та інші

- Живлення - 24 В постійного струму від ПЛК
- Споживана потужність - 3 Вт максимум
- Робоча температура - від 0 до 60°C
- Відносна вологість - від 5 до 95%
- Ступінь захисту – IP54
- Монтаж на DIN-рейку шириною 35 мм

Обраний модуль відповідає вимогам експлуатації і має повну сумісність як з ПЛК так і драйвером КД.

6.6 Промисловий комп'ютер і АРМ

Для відображення інформації і здійснення операторного керування системою, необхідно реалізувати програмні і апаратні засоби відображення і керування. В результаті проведення вибору програмних засобів було обрано програмний комплекс Zenon-SCADA. Виходячи із структурної схеми SCADA системи, необхідно обрати набір засобів для операторного рівня, а саме промисловий комп'ютер і панель оператора. Так, як система є локальною то вимоги до апаратних засобів операторного рівня такі самі, як і для засобів польового рівня, які конструктивно закрплені на принтері. Виходячи з того, в якості екосистеми для SCADA була обрана EcoStruxure від Schneider Electric, то доцільно було використати промисловий комп'ютер і операторну панель яка входить до цього комплексу. Такий підхід виключить використання додаткових узгоджуючих пристроїв і конфліктів типів даних.

Промисловий комп'ютер Harmony iPC модульної конструкції призначений для побудови систем автоматизації та збору даних на виробництві. В основі пристрою використовується процесор Intel Atom E3930 з тактовою частотою 1.8 ГГц. Об'єм оперативної пам'яті становить 4 Гб типу DDR3. Для збереження даних передбачено 64 Гб пам'яті типу eMMC. Операційна система - Windows 10 IoT Enterprise 64 bit. Комп'ютер має розширені комунікаційні можливості - 2 порти Ethernet, USB 2.0 та USB 3.0, послідовний порт RS-232/422/485. Також

є роз'єм для підключення модуля TPM для апаратного шифрування даних. Живлення здійснюється від джерела постійного струму напругою 24 В. Споживана потужність становить 15-21 Вт залежно від типу підключеного дисплея. Габаритні розміри корпусу - 150 x 187 x 46 мм. Вага близько 1,2 кг. Корпус виконаний з металу, має ступінь захисту IP40. Підтримує роботу в діапазоні температур 0...50°C (при плоскому монтажі - 0...45°C). Відносна вологість повітря - 10...95% без конденсату. Відповідає вимогам стандартів EN 61131-2, UL 60950, має сертифікати CE, cULus для використання в автоматизованих системах. До комп'ютера можна підключити зовнішній дисплей HMIDM діагоналлю 12, 15, 19 або 22 дюйми для візуалізації та керування технологічним процесом [18]. Обраний промисловий комп'ютер не відповідає вимогам до захисту від зовнішніх факторів впливу середовища, але можна вжити додаткових заходів захисту, які виключають потрапляння пилу і вологи до корпусу. Промисловий комп'ютер має наступний вигляд, зображений на рис.6.6. Отже використання можливе при додаткових заходах організації захисту промислового комп'ютера від зовнішніх впливів.



Рисунок 6.6 Промисловий комп'ютер Harmony iPC, PoT edge smart

Для вирішення задачі відображення параметрів і операторного контролю за технологічним процесом, необхідно відобразити отриману від промислового комп'ютера інформацію на дисплей. В комплексі з Harmony iPC йде дисплей Harmony P6.

Дисплей Harmony P6 (рис 6.7) має розширення Full HD - 1920x1080 пікселів. Технологія сенсорної панелі - багатоточковий проекційно-ємнісний екран з оптимізованим шумовим фільтром. Кут огляду - 178°, кольорова гамма 16 млн кольорів. Яскравість - 400 кд/м². Час роботи підсвічування 50000 годин. Підтримує режими роботи в рукавичках, з водяним захистом. Живлення здійснюється від контролера. Споживана потужність 67-88 Вт в типовому режимі, 85-153 Вт максимум. Габаритні розміри 532,6 x 330,6 x 32 мм. Вага 6,5 кг. Матеріал лицьової панелі - захисне скло. Має ступінь захисту IP66f, IP67f. Робоча температура 0...60°C, вологість повітря 10-90% без конденсату. Відповідає стандартам IEC 61131-2, UL 61010, а також сертифікатам ATEX, IECEx для використання у вибухонебезпечних зонах. Дисплей Harmony P6 призначений для візуалізації та керування в складних умовах: запилення, вологи, масел, мастил [19]. Може застосовуватись на відкритих майданчиках та об'єктах з підвищеною небезпекою.



Рисунок 6.7 Промисловий сенсорний дисплей Schneider Electric серії Harmony P6

Даний промисловий дисплей працює напряму з промисловим комп'ютером і задовольняє вимоги до параметрів апаратних засобів.

6.7 Принципіальна схема

На основі структурної схеми SCADA системи, проведеного вибору програмних і апаратних засобів була розроблена принципіальна схема роботи SCADA системи будівельного принтера радіального типу, яка зображена на рис. 6.8. Дана схема відображає канали зв'язку між компонентами системи на всіх рівнях, типи сигналів, інтерфейси і протоколи передачі даних, обрані апаратні засоби і канали живлення системи.

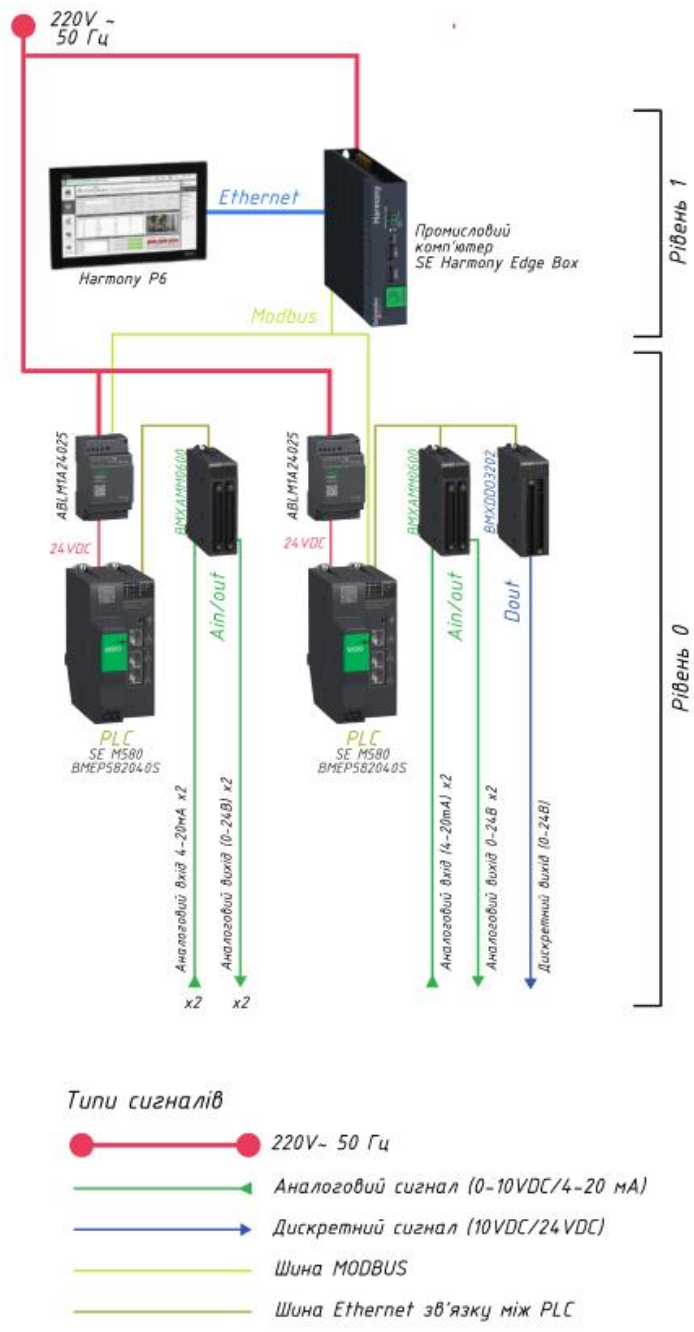


Рисунок 6.8 Принципіальна схема роботи SCADA системи

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було проведено аналіз і підбір літератури і першоджерел інформації, були сформовані задачі автоматизації і складене технічне завдання. Було проведено ідентифікацію параметрів об'єкта керування за рахунок розробки математичної моделі системи керування. Проведено аналіз факторів впливу на точність позиціонування на основі досліджень на моделях процесу з використання різних алгоритмів керування. На основі даних отриманих при моделюванні алгоритмів керування було синтезовано і побудовано регулятор на базі нечіткої логіки, який зміг відпрацювати збурення і досягти максимальної точності позиціонування платформи. Також було проведено аналіз і вибір засобів автоматизації для побудови SCADA системи керування позиціонування платформи принтера.

Отримані результати дозволили перейти від математичної моделі системи керування до розбудови програмного регулятора, що забезпечую необхідні параметри системи керування і можуть бути впроваджені в систему керування реального прототипу будівельного принтера.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кисіль Д. І. и др. Оцінка процесу функціонування системи позиціонування мобільного крану по горизонту //Інновації молоді в машинобудуванні. – 2019. – №. 1. – С. 180-184.
2. Панченко А. І. и др. Модель гідравлічного приводу мехатронної системи //Праці Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного. – 2018. – Т. 18. – №. 2. – С. 59-83.
3. Shah J. et al. Large-scale 3D printers for additive manufacturing: design considerations and challenges //The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2019. – Т. 104. – №. 9-12. – С. 3679-3693.
4. Клепиков В. Б., Банєв Є. Ф. Моделювання електропривода ТРН-АД з fuzzy-регулюванням за уточненою моделлю. – 2011. – с. 126-129. - <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/6408/1578.pdf?sequence=3>
5. Кулінченко Г., Леонтьев П., Панич А., Савенко А. (2022). Керування підйомом платформи будівельного принтера. Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security, (1), 30-38.
6. Кулінченко Г., Савенко А. (2023). Моделювання процесу переміщення стріли будівельного принтера радіального типу. Informatics. Mathematics. Automation, (1), 240.
7. Huang H. et al. Study on the pressure fluctuation characteristics of the high-pressure common rail system with a distributor //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2022. – Т. 2378. – №. 1. – С. 012028.
8. Krysko A. V. et al. On 3D and 1D mathematical modeling of physically nonlinear beams //International Journal of Non-Linear Mechanics. – 2021. – Т. 134. – С. 103734.
9. German E. et al. ОПТИМАЛЬНИЙ НЕЧІТКИЙ РЕГУЛЯТОР В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ КАРБОНІЗАЦІЇ У СОДОВОМУ

- ВИРОБНИЦТВИ //Advanced Information Systems. – 2019. – Т. 3. – №. 2. – С. 14-21.
10. Mintsá H. A. et al. Optimal Tuning PID Controller Gains from Ziegler-Nichols Approach for an Electrohydraulic Servo System //Journal of Engineering Research and Reports. – 2023. – Т. 25. – №. 11. – С. 158-166.
 11. KASSIM S. O., Ali A. G., Harram I. M. Design And Implementation Of Mamdani Type Fuzzy Inference System Based Water Level Controller //IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering. – 2021. – Т. 16. – №. 4. – С. 15-22.
 12. Guráň M., Janota A., Holečko P. AUTOMATION OF SCADA SYSTEM DEVELOPMENT //Acta Technica Corviniensis-Bulletin of Engineering. – 2019. – Т. 12. – №. 2. – С. 73-77.
 13. Gusarova A. A., Shilkina S. V. Modeling the Operation of the System in the CODESYS Software Environmentper //2019 International Science and Technology Conference" EastConf". – IEEE, 2019. – С. 1-6.
 14. Nikko, J. P. Safety PLCs–Competitor analysis of software usability. – 2019. – p.21-23.-
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/261420/Nikko_Thesis_1_0.pdf?sequence=2
 15. Schneider Electric Industries SAS. Modicon M580 automation platform.– 2021.-p.1-115.-
https://www.electrocentr.com.ua/files/documentation/SE/plc/m580/Modicon_M580_catalog_2023_en
 16. Kellers R. Home Automation Network MODBUS. – 2021. – p.7-12. -
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/498883/Home_Automation_Network_MODBUS_rihards_kellers_thesis.pdf?sequence=2
 17. . Schneider Electric Industries SAS. Catalog Modicon X80 modules for Modicon M580 and Modicon M340 PACs. – 2023. – p.7-53. -

https://www.electrocentr.com.ua/files/documentation/SE/plc/m580/Modicon_X80_catalog_2023_en

18. Schneider Electric Industries SAS. Паспорт продукту “ПРОМ ПК IIoT Edge Box Core DC Linux, 8ГБ”. – 2023. – p.1-6.
19. Schneider Electric Industries SAS. Паспорт продукту “W22 Display module, Harmony P6”. – 2023. – p.1-8.
20. Yue X., Dazhou G., Weiyu W. Dynamic performance of key components for oil-hydraulic power take-off of wave energy converters. – 2019. – p. 1-13. - https://www.researchgate.net/profile/Xuhui-Yue/publication/336335361_Dynamic_performance_of_key_components_for_oil-hydraulic_power_take-off_of_wave_energy_converters/links/5de780bf299bf10bc33d981c/Dynamic-performance-of-key-components-for-oil-hydraulic-power-take-off-of-wave-energy-converters.pdf