

Міністерство освіти і науки України
 Національний технічний університет
 «Дніпровська політехніка»

Навчально-науковий інститут електроенергетики
 (інститут)

Електротехнічний факультет
 (факультет)

Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем
 (повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА кваліфікаційної роботи ступеню магістра

студента Север'янова Даниїла Владиславовича
 (ПІБ)

академічної групи 151М-20-1
 (шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
 (код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
 (офіційна назва)

на тему Дослідження та синтез системи автоматичного керування процесом лиття пластмас під тиском
 (назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	проф. Бубліков А.В.			
розділів:				
Теоретичний розділ	проф. Бубліков А.В.			
Синтез системи	проф. Бубліков А.В.			
Експериментальний розділ	проф. Бубліков А.В.			
Економічний розділ	ст.викл.Яремчук І.О.			
Охорона праці	проф.Чеберячко Ю.І.			
Рецензент				
Нормоконтролер	ас. Славінський Д.В.			

Дніпро
2022

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
кіберфізичних та інформаційно-
вимірювальних систем
(повна назва)

_____ Бублік А.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 2022 року

ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

студенту Север'янову Д.В. академічної групи 151М-20-1
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(офіційна назва)

на тему Дослідження та синтез системи автоматичного керування процесом лиття пластмас під тиском

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 15.11.2021 р. №969-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання. Теоретичний розділ	Вступ. Опис технологічного процесу для об'єкта автоматизації. Огляд існуючих систем автоматизації. Стан питання. Вибір напрямку створення автоматизованої системи. Визначення моделі об'єкта керування.	12.10.2021
Синтез системи керування	Обрання структури системи керування та регулятора. Розрахунок параметрів регулятора. Дослідження функціонування системи керування на базі обраного регулятора.	22.10.2021
Експериментальний розділ	Розробка програмного забезпечення системи керування на підставі обраного регулятора та його налаштувань.	23.11.2021
Економічна частина	Економічне обґрунтування доцільності витрат на створення системи керування.	25.12.2021
Охорона праці	Розробка організаційно-технічних заходів, щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи.	25.12.2021

Завдання видано

_____ (підпис керівника)

проф. Бублік А.В.
(прізвище, ініціали)

Дата видачі

01.09.2021

Дата подання до екзаменаційної комісії

11.01.2022

Прийнято до виконання

_____ (підпис студента)

Север'янов Д.В.
(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 85 с., 48рис., 14табл., 3 додатки, 19 джерела.

Об'єкт дослідження: Система автоматичного керування процесом лиття пластмас під тиском

Мета роботи: Створення та дослідження системи автоматичного керування процесом лиття пластмас під тиском

Керування температурою у матеріальному циліндрі здійснюється за рахунок регулювання потужності електричного нагрівача. Температура у матеріальному циліндрі контролюється датчиком температури з діапазоном від 200 до 500 С.

Головними показниками при розробці системи керування температурою матеріального циліндра є: забезпечення постійного контролю над перебігом технологічного процесу, дотримання вимог, пред'явлених до САК, енерго- та ресурсозбереження, а також забезпечення безпеки роботи персоналу. Робота системи визначається показами приладів на технологічному обладнанні.

Використовуючи інформацію та результати виконання кваліфікаційної роботи бакалавра в представленій роботі було визначено вимоги до досліджуваної системи керування, задачі, які повинна виконувати САК, виконано синтез системи та вибір регулятора для забезпечення перебігу перехідного процесу згідно з визначеними вимогами та розроблено програмне забезпечення людино-машиного інтерфейсу.

СИСТЕМА, ПЛАСТМАСА, НАГРІВ, ТЕХНОЛОГІЯ, РЕГУЛЯТОР,
ЕКСПЕРИМЕНТ, ЛЮДИНО-МАШИННИЙ ІНТЕРФЕЙС

ABSTRACT

Explanatory note: 85 pages, 48 figures, 14 tables, 3 appendices, 24 sources.

Object of research: System of automatic control of the process of plastic injection molding

Purpose: Creation and research of a system of automatic control of the plastic injection molding process

The temperature in the material cylinder is controlled by regulating the power of the electric heater. The temperature in the material cylinder is controlled by a temperature sensor with a range from 200 to 500 C.

The main indicators in the development of the temperature control system of the material cylinder are: ensuring constant control over the technological process, compliance with the requirements for SAC, energy and resource conservation, as well as ensuring the safety of personnel. The operation of the system is determined by the readings of devices on process equipment.

Using the information and results of the bachelor's qualification work in the presented work the requirements to the designed control system, tasks to be performed by SAC, system synthesis and regulator selection to ensure the transition process according to the defined requirements were determined and human-machine interface software was developed.

SYSTEM, PLASTIC, HEATING, TECHNOLOGY, REGULATOR, EXPERIMENT,
HUMAN-MACHINE INTERFACE

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень та визначень	7
Вступ	8
1 Стан питання та постановка завдання	10
1.1 Характеристика галузі	10
1.2 Технологічний процес	11
1.3 Об'єкт керування	17
1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування	17
1.3.2 Структура об'єкту керування	19
1.3.3 Принцип функціонування об'єкту керування	19
1.4 Структура системи керування	20
1.5 Формулювання задачі дослідження	23
1.6 Висновки по розділу	23
2 Теоретичний розділ	25
2.1 Модель об'єкта керування	25
2.2 Критерії якості функціонування об'єкта керування	27
2.3 Висновки по розділу	31
3 Синтез системи керування	33
3.1 Модель системи керування	33
3.2 Оцінка якості функціонування системи керування	40
3.3 Висновки до розділу	47
4 Експериментальний розділ	48
4.1 Цифрова модель об'єкта керування	48
4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування	51
4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу	53
4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення	58
4.5 Висновки по розділу	59

5	Економічна частина	60
5.1	Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи контролю	60
5.2	Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення	62
5.2.1	Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення	62
5.2.2	Розрахунок витрат на розробку програмного продукту	64
5.3	Розрахунок експлуатаційних витрат	66
5.3.1	Амортизація основних фондів	66
5.3.2	Розрахунок фонду заробітної плати	67
5.3.3	Відрахування на соціальні заходи	68
5.3.4	Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт	68
5.3.5	Витрати на електроенергію	68
5.3.6	Інші витрати	68
5.4	Визначення додаткового прибутку від впровадження системи керування	69
5.5	Оцінка економічної ефективності проекту	70
6	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	73
6.1	Аналіз небезпечних і шкідливих факторів	73
6.2	Інженерно-технічні заходи щодо охорони праці в приміщенні операторського пункту	74
6.3	Розрахункова частина	75
6.4	Пожежна безпека	77
6.5	Безпека при надзвичайній ситуації	79
	Висновки	81
	Перелік посилань	82
	Додаток А Програмні модулі системи керування	
	Додаток Б Програмне забезпечення системи керування	
	Додаток В Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу	

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ ТА
ВИЗНАЧЕНЬ**

САК	–	Система автоматичного керування;
ЛМІ	–	Людино-машиний інтерфейс
ПК	–	Персональний комп'ютер;
ОК	–	Об'єкт керування

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні машини - це складні технічні системи, що складаються з великої кількості технічних апаратів, приводів різного типу, пристосувань, вимірювальних і обчислювальних пристроїв. Всі ці машини і пристрої являють собою обладнання, яке є основою функціонування самих різних систем: машинобудівних заводів, транспорту, електростанцій і т.д. Помилки керування можуть призвести до серйозних проблем – від псування продукту до серйозних екологічних катастроф і людських жертв у разі аварії. Відомо, що 20 – 30% відмов на різних об'єктах та понад 60% аварій на потенційно небезпечних об'єктах відбувається через помилки персоналу.

Покращити показники якості керування процесом лиття пластмас під тиском, такі як час виходу на режим, стабілізація температурного режиму та коефіцієнт робочого часу обладнання можна за допомогою ретельного дослідження існуючих систем керування та їх вдосконалення, або розробки нових систем.

Втім, існуючі методи, моделі та інформаційне забезпечення при керуванні процесом лиття пластмас під тиском найчастіше створюються для установок певного типу та конфігурації. Отже, створення універсальних методів, моделей та інформаційного забезпечення при керуванні процесом лиття пластмас під тиском для установок різних типів та конфігурації є **актуальною науково-технічною задачею**, розв'язання якої забезпечує підвищення ефективності процесів керування процесом лиття пластмас під тиском в умовах промислового використання обладнання для лиття під тиском і в процесі підготовки операторів.

Мета і задачі дослідження. Мета каліфікаційної роботи полягає у покращенні показників процесу автоматичного керування температурою у матеріальному циліндрі машини для лиття пластмас під тиском, таких як час виходу на режим, стабілізація температурного режиму, зниження коефіцієнту робочого часу обладнання в умовах промислового використання.

Об'єкт дослідження – система автоматичного керування процесом лиття пластмас під тиском.

Предмет дослідження – методи, моделі та інформаційне забезпечення при керуванні температурою у матеріальному циліндрі машини для лиття пластмас під тиском.

Методи дослідження. Для дослідження існуючих систем керування машинами для лиття пластмас під тиском використано системний аналіз та системний підхід. Математичне моделювання процесу нагріва матеріального циліндра виконано за допомогою диференціальних рівнянь. Оцінка ефективності процесів керування температурою у матеріальному циліндрі проведена на основі використання методів математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

Удосконалено класичну схему керування температурою у матеріальному циліндрі, яка містить регулятор, за допомогою якого отримується найкраще рішення для формування еталонного керуючого впливу.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Характеристика галузі

Основними методами (способами) переробки полімерних матеріалів у виробу є: лиття під тиском; полімеризація у формі; ротаційне формування; лиття спінених виробів; пресування пінопластів; отримання профільних виробів, екструзія; формування волокна; виготовлення плівок поливом; занурення; пресування; видування; каландрування; пневмо – і вакуум формування.[1]

У зв'язку з тим, що основна номенклатура виробів технічного і побутового призначення виготовляється з термопластичних матеріалів, то найбільш прийнятними способами формування виробів є: лиття під тиском, пресування, пневмо - і вакуум формування.

Лиття під тиском

Лиття під тиском - це основний метод переробки полімерних матеріалів і отримання виробів, що полягає в пластикації, гомогенізації полімерного матеріалу в матеріальному циліндрі і впорскуванні його в заздалегідь замкнуту форму, яка охолоджується для термопластів і нагрівається для реактопластів.

Литтям під тиском виготовляють вироби з термопластичних і термореактивних пластмас різноманітної конфігурації та маси, що розрізняються від десятих часток грама до багатьох десятків кілограм, по товщині стінок - від десятих часток міліметра до декількох десятків сантиметрів. Причому вироби мають високу точність і стабільність розмірів.

При лиття термопластів розплав, що заповнив форму, твердне при охолодженні, після чого форма розкривається і виріб виштовхується.

При формуванні реактопластів полімерну композицію впорскують у форму, яку потім нагрівають до температури затвердіння матеріалу. Після цього форму відкривають, і виріб також витягується.

Переробка пластмас у виробі зводиться до створення конструкції, яка забезпечує заданий комплекс експлуатаційних властивостей, шляхом перекладу полімерного матеріалу в стан, в якому він легко набуває необхідну форму з його подальшою фіксацією (збереженням).

Лиття під тиском має ряд переваг у порівнянні з пресуванням і екструзією: хороша пластикація і гомогенізація продукту; точне дозування полімерного матеріалу; легко автоматизується. Серед недоліків слід відзначити: анізотропію властивостей, при литті; різну усадку для матеріалів.

Метод лиття під тиском широко застосовується в промислових процесах для виробництва технічних деталей для електротехнічної, радіотехнічної, машинобудівельної та інших галузей промисловості. Технічні вироби являються складовими деталями до машин, приладів і повинні відповідати потребам.[2]

Переробка пластмаси у виробі литтям під тиском пов'язана із змінами теплових і реологічних властивостей полімерних матеріалів. При литті під тиском матеріал нагрівають до пластичного стану, а потім під тиском заливають у форму, що має температуру як правило нижче температури силування.

1.2 Технологічний процес

Технологічний процес лиття виробів з термопластичних полімерів складається з таких операцій:

- плавлення, гомогенізація і дозування полімеру;
- змикання форми, підведення вузла впорскування до форми;
- впорскування розплаву;
- витримування під тиском і відведення вузла вприскування, охолодження виробу;
- розкриття форми і витягання виробу.

Гранульований матеріал, дозований з бункера, подається на обертовий шнек всередині циліндра спеціальної конструкції. Циліндр ливарної машини

підігрівається від електричних (іноді, масляних) нагрівних елементів. Матеріал нагрівається як від стінок циліндра, так і внаслідок тертя. Обертання шнека забезпечує рух матеріалу в циліндрі ливарної машини а також інтенсивне його перемішування, що сприяє вирівнюванню температури. За допомогою поршня приводу вузла вприскування на шнеку створюється зусилля підпору, тому шнек відходить не вільно, а долаючи тиск підпору. Слід зауважити, що тиск підпору збільшує температуру розплаву і підвищує її однорідність по перерізу в каналах шнека. Шнек створює високий тиск. Поєднання високої температури і тиску призводить до розплавлення матеріалу. Частоту обертання шнека і температуру по зонах циліндра визначають експериментально або розраховують з врахуванням розмірів шнека і тиску підпору. [3]

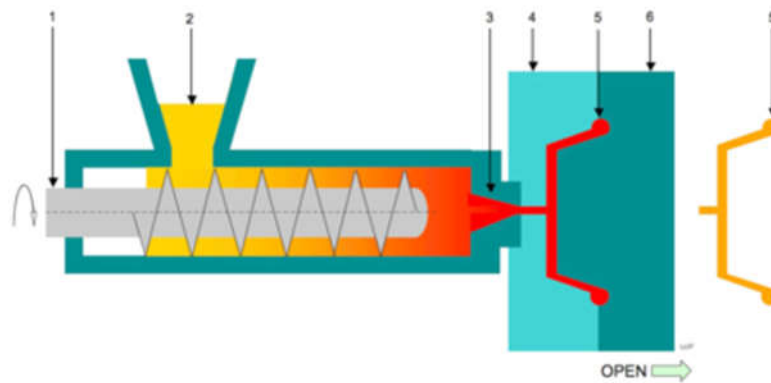


Рисунок 1.1 – Технологічна схема процесу лиття термопластичних матеріалів:

1 – шнек; 2 – дозувальний пристрій грануляту; 3 – сопло; 4 і 6 – половини прес-форми; 5 – (червоним) порожнина форми з ливниковими каналами; 5 – (жовтим) готовий вилівок.

Змикання форми, підведення вузла вприскування до форми

Змикання форми і створення певного зусилля змикання здійснюється в результаті переміщення рухомої плити термопластавтомата разом із закріпленою на ній частиною прес-форми. Зусилля змикання $N_{зм}$ необхідне для виключення розкриття форми в момент заповнення її розплавом, воно має дорівнювати

$$N_{зм} \geq p_{\phi}(F_{вир}n + F_{л}),$$

де p_f — тиск у формі, усереднений по площі виливка;

$F_{вир}$ і F_l — площа ливників у площині розняття форми.

У випадку, коли площа виливка дуже велика і розрахункове зусилля перевищує максимальне зусилля змикання машини, через надмірне зростання пружних деформацій замикальних ланок механізму виробу після лиття можуть мати товстий облой. Іноді з цієї ж причини може відбутися розкриття форми.

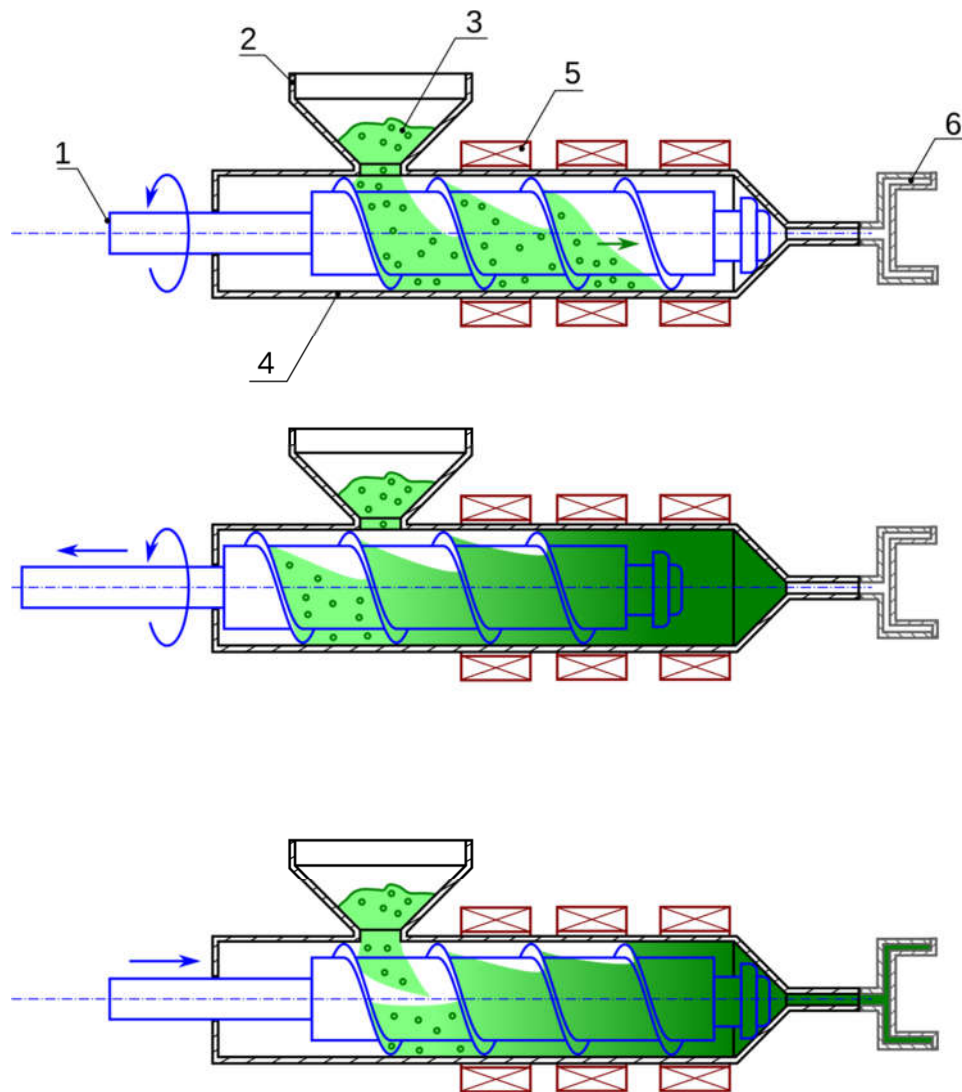


Рисунок 1.2 – Основні операції циклу лиття пластмас під тиском:

1 – шнек; 2 – бункер; 3 – гранульований матеріал; 4 – циліндр ливарної машини; 5 – система нагрівання; 6 – формувальна порожнина прес-форми

Підведення вузла вприскування до форми проводиться окремим механізмом, при цьому сопло циліндра впирається в ливникову втулку прес-форми та створюється необхідне притискання, що запобігає витіканню

розплаву. У момент підведення вузла впорскування сопло повинне розташовуватися співвісно з ливниковим каналом форми.[3]

Впорскування розплаву

Шнек ливарної машини може здійснювати два типи руху. Обертальний, що виконується для подавання та пластифікування матеріалу і вертально-поступний, що виконується при впорскуванні матеріалу. Шнек у другому випадку виконує роль поршня, що витискає розплав у форму. Зріджений матеріал потрапляє у порожнину сталеві форми через сопло (сопла) і систему ливникових каналів, виконаних у формі. Форма конструюється так, щоб час заповнення її порожнини був мінімальним (1...3 с). Тиск упорскування може досягати значень до 1000 бар.

Характер заповнення форми розплавом залежить від швидкості уприскування і розмірів формувальної порожнини. Так при, дуже високій швидкості уприскування розплав після виходу з ливників рухається у формувальній порожнині спочатку зигзагоподібно, а по мірі заповнення порожнини форми розплавом відбувається ущільнення окремих зигзагів і турбулентний режим переходить в ламінарний — течію суцільним потоком. Вихровий режим виникає переважно у тому випадку, коли глибина впускного ливника набагато менша за формувальний зазор. При литті тонкостінних виробів або впорскуванні розплаву з невисокою швидкістю заповнення форми відбувається суцільним потоком, який утворюється у безпосередній близькості до впускного ливника. Як у першому, так і в другому режимах заповнення розплав при зіткненні з холодними стінками форми прилипає до поверхні і на ній з'являється плівка затверділого полімеру. З одного боку, утворення плівки трохи зменшує глибину формувальної порожнини, а з другого, різко знижує подальше охолодження розплаву через малу теплопровідність полімеру. Оскільки заповнення форми відбувається з високою швидкістю, товщина утвореного твердого шару становить частки міліметра і не робить значного впливу на швидкість течії, особливо коли лиття проводиться при високій температурі розплаву і форми.[3]

Витримування під тиском і охолодження виробу

Після заповнення форми розплавом відбувається його охолодження, в результаті чого збільшується густина і зменшується об'єм матеріалу. Внаслідок зменшення об'єму (усадки) через ливники у форму продовжує надходити додаткова порція розплаву і тиск в ній підтримується сталим. Таким чином, після закінчення операції впорскування настає деяке рівновага тисків у циліндрі машини та у формувальній порожнині і течія переходить в повільне додаткове нагнітання розплаву (підживлення); останнє компенсує усадку полімеру у формі при його охолодженні.

Витримування під тиском зазвичай продовжується до тих пір, поки розплав в центральній частині впускного ливника не охолodиться нижче за температуру текучості. Після затвердіння ливника маса розплаву у формувальній порожнині більше не змінюється (при відведенні сопла витікання розплаву не відбувається) то ці значення температури і тиску розплаву визначають подальшу зміну лінійних розмірів виробу при охолодженні. Чим довше витримування під тиском, тим сильніше знижується температура розплаву у формувальній порожнині, тому при наступному охолодженні розміри виробу будуть змінюватися у меншій мірі. Те ж спостерігається при підвищенні тиску в формі. Таким чином, витримування під тиском компенсує усадочні процеси, що відбуваються в формі, і залежить від розмірів ливника, температури розплаву і форми, а також від тепло-фізичних властивостей полімеру. Витримування під тиском доцільне, поки полімер в формувальній порожнині знаходиться у розплавленому стані, тому глибину впускного ливника зазвичай вибирають з урахуванням заданої усадки, але меншою за товщину стінки виробу.

При великій глибині ливника час витримки під тиском зростає і збільшується час, необхідний для охолодження деталі. Оскільки операція охолодження суміщається з дозуванням розплаву (пластикацією) за короткий проміжок часу не встигає накопичитися задана порція розплаву і необхідним буде збільшення тривалості циклу лиття або підвищення швидкості обертання

шнека, що погіршує гомогенізацію. У зв'язку з цим не рекомендується застосовувати ливники великого перетину. При тривалому підживленні на розплав при його охолодженні в формі діють напруження зсуву, зростає ступінь орієнтації макромолекул і збільшується анізотропія властивостей виробу. Для запобігання цьому доцільно заповнити форму розплавом, ущільнити його під високим тиском, перекрити ливникові канали і припинити підживлення. У цьому випадку течія розплаву в формі припиняється і в результаті релаксаційних процесів відбувається дезорієнтація макромолекул. Такий процес можна здійснити при використанні ливників з невеликою глибиною (точкові ливники) або мундштуків із запірним клапаном. Однак у цьому випадку неможливо проводити підживлення, тому для зменшення усадки виробів необхідно створювати у формі високий тиск.

Фактично охолодження розплаву починається відразу після упорскування розплаву, проте як окрема технологічна операція охолодження задається часом після закінчення витримки під тиском. Таким чином, витримка при охолодженні необхідна для остаточного затвердіння розплаву полімеру і досягнення певної конструкційної жорсткості виробів, що виключає їх деформацію при витяганні з форми.

Температура полімеру перед розмиканням форми повинна бути такою, щоб при витяганні виробу не відбулося його жолоблення чи руйнування.

Розкриття форми і витягання виробу

Після закінчення операції охолодження відбувається розкриття форми. Рухома частина форми, що закріплена на плиті вузла змикання, відводиться, при цьому виріб рухається разом з нею. Виступаюча частина блоку штовхачів впирається в обмежувач і вони зупиняються разом з виробом, а рухома частина форми відводиться далі, за рахунок чого відбувається вилучення виробу. Одночасно з виробом з ливникової втулки витягується ливник. Розплав при витіканні з центрального ливника затікає в отвір плити, що має зворотний конус і застигає в ньому. В результаті утворюється замок, за

допомогою якого при розкритті форми відбувається видалення ливника з ливникової втулки.[3]

1.3 Об'єкт керування

1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування

Термопластавтомат (ТПА) - інжекційно-ливарна машина (англ. Injection moulding machines) - машина для лиття пластмас під тиском, при температурі пластикації 150-350°C. ТПА є універсальним обладнанням для отримання штучних виробів з полімерів. Вихідним матеріалом для них служать поліолефіни, полістирол, його сополімери, поліаміди, термопластичні поліуретани, поліефіри, поліфеніленоксиди. При оснащенні ТПА вузлами пластикації, що поставляються за спеціальним замовленням, на них можна отримувати вироби з полікарбонату, сополімерів формальдегіду, непластифікованого полівінілхлориду, поліакрилатів, наповнених термопластичних матеріалів.

Основними параметрами, які мають найбільш сильний вплив на конструкцію і техніко-економічні характеристики термопластавтоматів і які необхідні для розробки універсальної і спеціальної конструкцій ливарних машин, є: обсяг вприскування за цикл (обсяг виливки), об'ємна швидкість уприскування (час уприскування), тиск лиття, площа лиття, зусилля замикання і розкриття форми, хід рухомої плити, максимальна відстань між плитами, жорсткість, швидкохідні, пластифікаційних здатність і діапазон температур інжекционного циліндра.

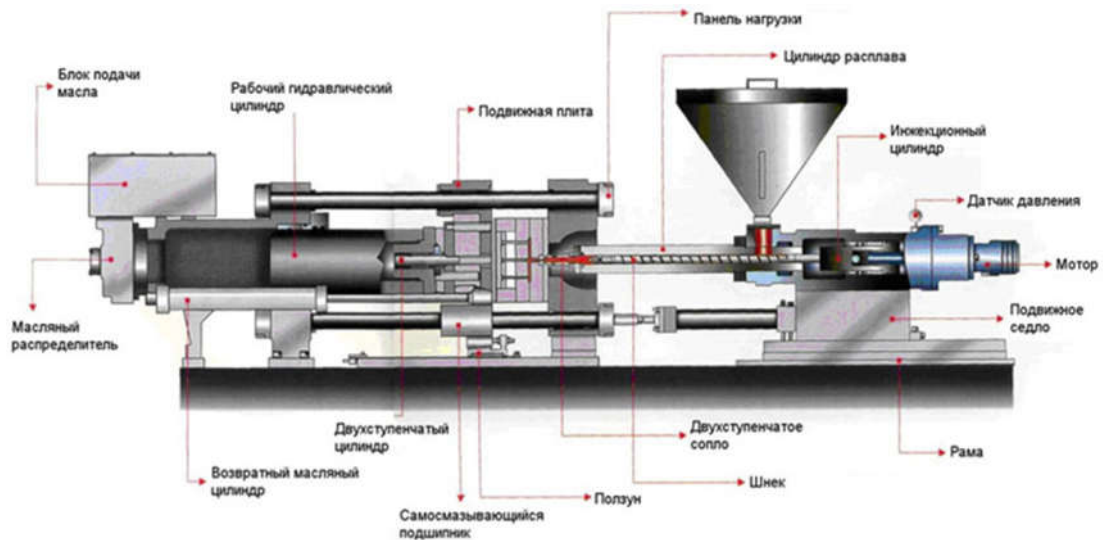


Рисунок 1.3 – Схема термопластавтомата

Гідролінійна система термопластавтомата складається з силових гідролінійних переміщення рухомої плити з консолями і рухомої полуформи і утримання прес-форми в замкнутому стані, гідролінійного поршня виштовхування готових виробів з форми, регульованих і нерегульованих насосів приводу, розподільних і регулюючих клапанів. Точність позиціонування, контроль і регулювання швидкості і тиску забезпечується сервоклапанами і пропорційними регуляторами, що діють за принципом зворотнього зв'язку. Золотникові розподільники забезпечують стабільність параметрів, застосовуються гідролінійні акумулятори, призначені для збільшення швидкості виконання технологічних операцій.[4]

Механізм поршня виробів з прес-форми виконується у вигляді автономного гідролінійного виштовхування стрижнів.

Найпоширеніші марки термопластавтоматів випускають компанії "ENGEL" (Австрія), Demag, Arburg, Battenfeld, Krauss-Maffei (Німеччина), Haitian (Китай), Netstal (Швейцарія), LS (Південна Корея), VM Viraghi (Італія), Husky (Канада), Ferromatik (США). В Україні термопластавтомати випускаються Хмельницьким ТОВ «Полімермаш». [5]

1.3.2 Структура об'єкту керування

Автоматична система контролю, регулювання та керування включає мікропроцесор, командне пристрій, програмне забезпечення, кольоровий і монохромний екрани, пристрій, що запам'ятовує тиск і інші задані технологічні параметри, а також лічильники робочих циклів і робочих годин. Система дозволяє здійснити повний і наочний контроль виробничого процесу, забезпечуючи необхідну відтворюваність і стабільність всіх технологічних параметрів. і умов.

Захисні пристрої термопластавтомата складають: рухома захисна перегородка і її електрична, гідравлічна та механічне блокування, захист простору перед соплом і форми від попадання сторонніх предметів. Передбачені також автоматичний контроль і сигналізація рівня масла в баку, забрудненості масляного фільтра, невиконання уприскування, виштовхування виробу і інших операцій.

1.3.3 Принцип функціонування об'єкту керування

Основними технологічними параметрами контрольованими і регульованими в процесі лиття під тиском є:

1) температура розплаву термопластичних матеріалів, тому що ці матеріали мають вузький інтервал температури переходу в в'язкотекучий стан, що ускладнює їх переробку викликає необхідність точніше підтримувати температуру розплаву. При нагріванні термопласта в інжекційних циліндрі повинен забезпечуватися рівномірне нагрівання матеріалу і відсутність місцевих перегрівів. Необхідно встановлювати такі прилади для регулювання і контролю температур форми. Оптимально допустима різниця температур на поверхні форми не повинна перевищувати 5-6°C.

2) Тиск в циліндрі і формі. Під тиском частина грануляту проходить через обігрівальний циліндр і канали форми в порожнину форми, де тиск зменшується через протидію сил тертя. Тиск, що створюється розплавом в

формі завжди менше створюваного поршнем. У процесі відливання і затвердіння виробів тиск ще більше зменшується.

Чим вище тиск в процесі лиття, чим нижче температура термопласта, тим менше усадка і більше щільність матеріалу у виробі.

3) Тривалість циклу складається з часу змикання форми уприскування, витримки під тиском і розкриття форми. Час уприскування залежить від маси виливки форми виробу, перетину впускних каналів, плинності термопласту, температури і тиску розплаву в матеріальному циліндрі і інтенсивності охолодження виробу у формі.

Технологічні параметри процесу при існуючому конструктивному оформленні не можуть регулюватися безпосередньо. Необхідне значення цих параметрів може бути доступно шляхом установки певних значень безпосередньо регульованих механічних властивостей циклу.

Обігрів для циліндра складається з чотирьох ланцюгів регулювання. Кожна ланцюг регулювання складається з термометра опору, електронного терморегулятора.

Термометр опору Pt -100, номінальний опір 1000 Ом, діапазон температур тривалого застосування $200 \div 500$ ° С.

Для контролю і регулювання процесу використовується ПЛК VIPA 200V.

Робота локальних систем на термопластавтоматі: системи регулювання швидкості уприскування, системи стабілізації тиску, системи регулювання температури пластифікованого матеріалу координується залежно від протікання технологічного процесу за допомогою загальнопромислового контролера.

Спостереження за ходом технологічного процесу і внесення коригувань здійснюється з пульта керування, розташованого безпосередньо на автоматі.

1.4 Структура системи керування

В якості об'єкту керування, що розробляється, виступає контур стабілізації температури матеріального циліндра. Вхідним параметром об'єкта є

потужність стрічкового електронагрівача опору, що може змінюватись у діапазоні від 0 до 5кВт. Вихідним параметром об'єкта керування є температура матеріального циліндра. Основним завданням розроблюваної системи керування є нагрів та стабілізація температури матеріального циліндра на рівні 260°C. Температура вихідного продукту - грануляту, що надходить до матеріального циліндру становить 20°C.

Виходячи з цього, система керування повинна містити: датчик температури в матеріальному циліндрі, стрічковий кільцевий нагрівач, потужність якого обумовлює зміни температури у матеріальному циліндрі, пристрій керування, що задає потужність нагрівача і пульт оператора, за допомогою якого задається режим роботи системи (рис. 1.4) .

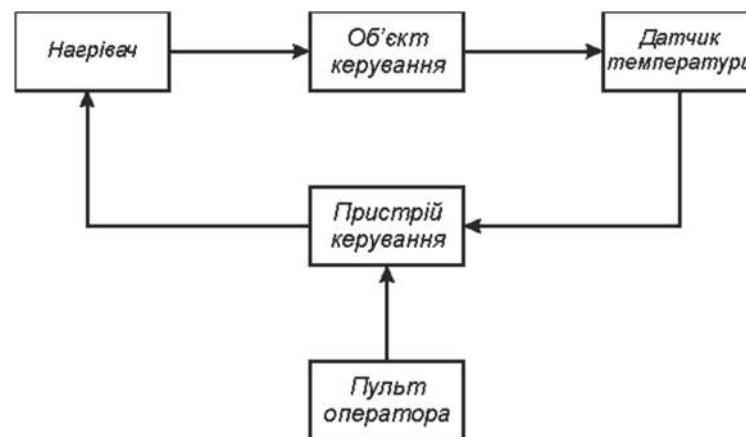


Рисунок 1.4 – Структурна схема системи керування

Відповідно до вимог, система автоматичного керування повинна підтримувати температуру матеріального циліндра ливарної машини і відповідно містить підсистему керування технологічним обладнанням. Ця підсистема складається з пристроїв збору інформації (датчик температури матеріального циліндра ливарної машини), еталонів і станів обладнання, системи контролю стану обладнання, програми керування реалізує формування керуючого впливу, протиаварійного захисту, і виконуючих органів (кільцевий нагрівач).

Крім того, система повинна забезпечувати візуалізацію і контроль за процесами, тому вона повинна містити підсистему інформаційного забезпечення роботи оператора. Ця підсистема складається з реєстрації

параметрів процесів, персонального комп'ютера і сигналізації досягнення параметрів керування заданих значень.

Так само системою повинно забезпечуватися архівування технологічних процесів, що відбуваються, тому в ній має бути присутня підсистема ведення архівів параметрів і подій, що включає базу даних та резервне сховище.

З урахуванням перерахованих вимог функціональна структура системи має вигляд, наведений на рисунку 1.5.

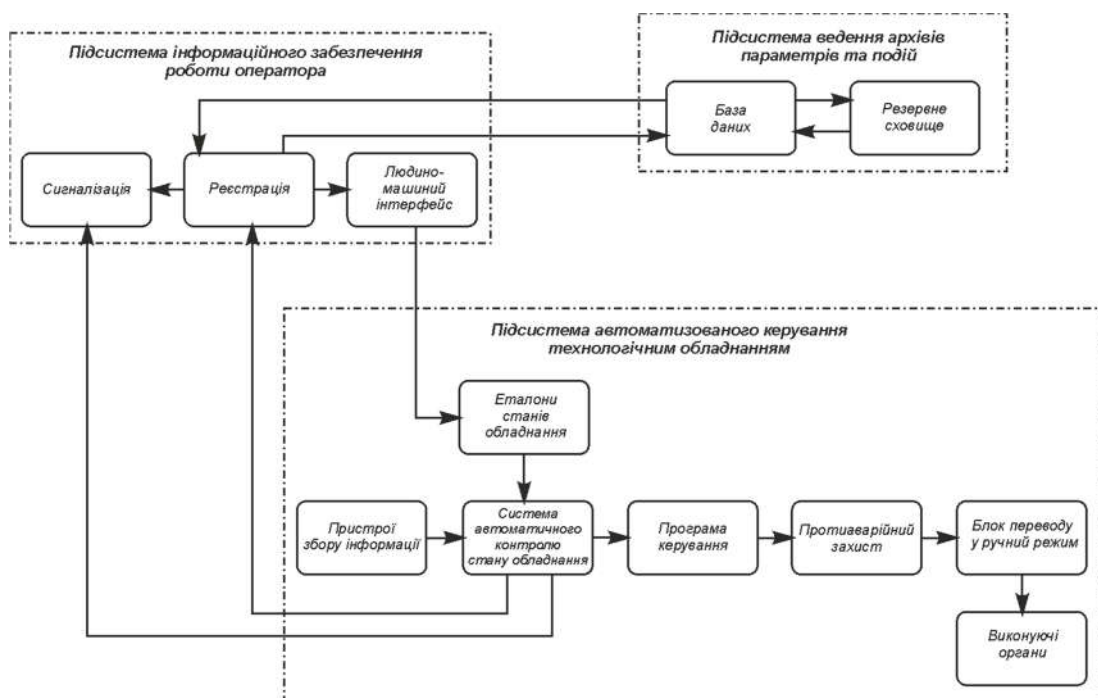


Рисунок 1.5 – Функціональна структурна схема

Для підсистеми інформаційного забезпечення одним з найбільш поширених рішень в галузі є SCADA-системи.

SCADA (абр. від англ. Supervisory control and data acquisition, диспетчерське керування і збір даних) - програмний пакет, призначений для розробки або забезпечення роботи в реальному часі систем збору, обробки, відображення та архівування інформації про об'єкт моніторингу або керування. SCADA може бути частиною АСУ ТП, АСКОЕ, системи екологічного моніторингу, наукового експерименту, автоматизації будівлі і т. д. SCADA-системи використовуються у всіх галузях господарства, де потрібно забезпечувати операторський контроль за технологічними процесами в реальному часі. Це програмне забезпечення встановлюється на комп'ютери і,

для зв'язку з об'єктом, використовує драйвери вводу-виводу або OPC / DDE сервери. Програмний код може бути як написаний на мові програмування (наприклад на C ++), так і з генерований в середовищі проектування. [8]

1.5 Формулювання задачі дослідження

Метою кваліфікаційної роботи магістра є створення системи керування процесом нагріву матеріального циліндра машини для лиття пластмас під тиском та підтримку температури на заданому рівні.

Сформуємо основні задачі дослідження:

- Розрахувати параметри для P, PI, PID регуляторів, та порівнявши їх обрати найкращий, що буде задовольняти усім вимогам.

- Оцінити реакцію на збурюючий вплив.

- Оцінити інтеграл помилки.

- Дослідити систему на робастність.

Враховати основні вимоги до системи, такі як:

- Доведення температури у середині матеріального циліндра машини для лиття пластмас під тиском до заданого рівня

- Підтримка температури на заданому рівні.

- Забезпечення мінімального часу перехідного процесу.

- Забезпечення мінімального часу встановлення, коли дійсне значення потрапило у діапазон $\pm 5\%$.

- Зменшення енерговитрат.

1.6 Висновки по розділу

Об'єктом дослідження є система керування температурою у матеріальному циліндрі машини для лиття пластмас під тиском.

Метою роботи є створення та дослідження системи керування температурою у матеріальному циліндрі машини для лиття пластмас під тиском.

Актуальність роботи полягає в тому, що розробка нової системи автоматичного керування, згідно з висунутими вимогами щодо якості та часу перехідного процесу, зменшить вплив основних недоліків машини для лиття пластмас під тиском, забезпечить досконале керування об'єктом.

2 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Модель об'єкта керування

Точність підтримки температури по зонах циліндра пластикації істотно впливає на якість підготовленої для пластикації порції розплаву до упорскуванню. Циліндри пластикації ливарних машин обігріваються стрічковими електронагрівачами опору, закріпленими на їх зовнішній поверхні. Кожна зона обігріву має локальну систему регулювання температури, яка зазвичай складається з датчика температури, терморегулюючого приладу з вбудованим задаючим пристроєм і вихідним підсилювачем потужності. Широко застосовують двопозиційні терморегулятори. Однак двопозиційне регулювання призводить до значних коливань температури циліндра відносно заданого значення. Це обумовлено наявністю певної зони нечутливості в регуляторі і великим значенням чистого запізнювання зони обігріву.

Інший спосіб регулювання температури стінки інжекційного циліндра - регулювання потужності обігріву шляхом дозування енергії. Живлення обігріву подається не безперервно, а імпульсами. Регулюючи співвідношення між періодами подачі енергії для обігріву та паузами, можна регулювати середнє значення сили струму обігріву. Однак порційне регулювання енергії скорочує термін служби обігрівальних елементів. Цих недоліків позбавлений пристрій плавного регулювання сили струму обігріву. Термопара підключається до вимірювального мосту, який балансується для заданої температури. При відхиленні температури від заданого значення виробляється різницевий сигнал, який керує виконавчими органами в системах автоматичного регулювання температури, посилюючи або зменшуючи потужність обігріву за рахунок зміни напруги.

Побудуємо математичну модель об'єкта регулювання - матеріального циліндра термопластавтомата. Для цього складемо рівняння теплового балансу:

$$Q_{нагр} = Q_{охл} + Q_{исп} \quad (2.1)$$

где $Q_{нагр} = CM[T(t) - T(t - \Delta t)]$ – кількість тепла, яка потрібна для того, щоб нагріти до необхідної температури, $T(t) - T(t - \Delta t)$ об'єкт з масою M та питомою теплоємністю C за час t ;

$Q_{охл} = -\lambda_{oc} [T(t) - T_{cp}(t)]\Delta t$ – теплові втрати за час t за рахунок теплопередачі в оточуюче середовище з температурою $T_{cp}(t)$ та з коефіцієнтом теплопередачі «об'єкт-середовище» λ_{oc} ;

$Q_{ист} = \lambda_{он} [T_n(t) - T(t)]\Delta t$ – кількість тепла, яке надходить за час Δt від нагрівача з температурою поверхні $T_n(t)$ та з коефіцієнтом теплопередачі «об'єкт-нагрівач» $\lambda_{он}$.

В результаті температура в об'єкті описується наступним диференціальним рівнянням:

$$\frac{dT}{dt} + \frac{T}{\tau_0} = \frac{1}{\tau_0} \left[\frac{T_{cp}(t)}{1 + \mu} + \frac{T_n(t)\mu}{1 + \mu} \right], \quad (2.2)$$

де $\tau_0 = \frac{CM}{\lambda_{oc} + \lambda_{ii}}$ – постійна часу об'єкта з урахуванням ефектів теплопередачі з навколишнім середовищем і нагрівачем;

$\mu = \frac{\lambda_{oc}}{\lambda_{ii}}$ – коефіцієнт, що показує наскільки ефективніше теплопередача «об'єкт-нагрівач» у порівнянні з теплопередачею «об'єкт-середовище».

Отримана найпростіша модель дозволяє побудувати графік зміни температури нагріву в матеріальному циліндрі

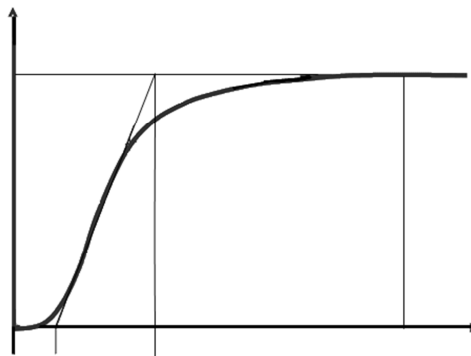


Рисунок 2.1– Розгінна характеристика нагріву матеріального циліндра

За отриманою розгінною характеристикою графічним методом визначаємо параметри об'єкта регулювання:

а) $T_{об} = 150$ с – час розгону об'єкта регулювання;

б) $\tau_{об}=50\text{с}$ – запізнювання в часі об'єкта регулювання;

в) $k_{об}=150$ – передавальний коефіцієнт об'єкта регулювання.

За зовнішнім виглядом характеристики визначаємо, що даний об'єкт відноситься до багатоємних об'єктів з самовирівнюванням, відповідно вид передавальної функції об'єкта має такий вигляд

$$W = \frac{150}{1+150s} e^{-50s}$$

Модель об'єкту керування у математичному пакеті MATLAB буде мати вигляд:

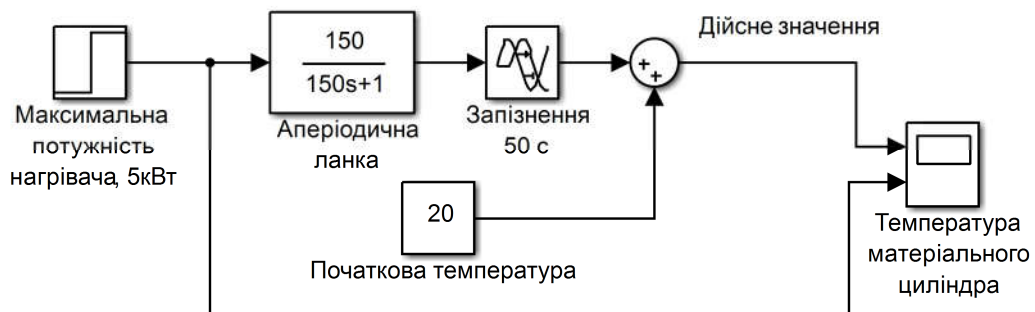


Рисунок 2.2 – Модель об'єкту керування у математичному пакеті MATLAB

2.2 Критерії якості функціонування об'єкта керування

Відповідно до поставлених вимог до роботи системи, і ідентифікованої раніше моделі об'єкта (аперіодичної ланки першого порядку з затримкою), необхідно провести дослідження на робастність – за рахунок погіршення теплоізоляції матеріального циліндра, збільшуються тепловтрати, таким чином варто збільшити коефіцієнт посилення на 10%. Та постійну часу збільшити на 10% за рахунок змін теплопередачі.

Також необхідно дослідити поведінку системи, з умовою застосування декількох типів регуляторів. Та вивести залежності якості роботи системи відповідно до зміни параметрів системи.

Для цього об'єкту, виходячи з його характеристик, буде проведено дослідження з використанням оптимального регулятора для визначення граничних показників, П, ІІ та ІІІ-регуляторів. ІІІ регулятор є кращим

рішенням для об'єктів 1-2го порядків з затримкою, а також має здатність компенсувати статичну помилку за її наявності. Проте ПІД-регулятор може показати кращі результати. [9]

Методи за допомогою яких, буде проведено дослідження, і одержання параметрів для кожного з регуляторів:

- Метод Зільгера-Николса
- Метод AMIGO

Щоб визначити граничні показники для критеріїв якості, розробимо оптимальний регулятор за принципом максимуму Понтрягіна для даного об'єкту керування. [10]

Існує об'єкт керування виражений аперіодичною ланкою першого порядку з затримкою з такими параметрами:

$$K=150,$$

$$T_1=150,$$

$$T_{\text{delay}}=50\text{с}.$$

Розрахунки буде виконано за допомогою пакета MATLAB:

Де, x_n – початкове дійсне значення, x_k – кінцеве дійсне значення, U_{min} – мінімальний керуючий вплив, U_{max} – максимальний керуючий вплив.

```
function PontryaginMaximumPerformanceO1(K, T, xn, xk, Umin, Umax)
```

```
fprintf('\nОб'єкт керування\n'), tf([K],[T 1])
```

```
if (xn < xk)
```

```
    U0 = Umax;
```

```
    fprintf('Виконується збільшення дійсного значення \n\n')
```

```
else
```

```
    U0 = Umin;
```

```

fprintf('Виконується зменшення дійсного значення \n\n')

end

%Розрахунок

TU1 = T * log((xn - K * U0) / (xk - K * U0));

U1 = xk / K;

fprintf('u0 = %f, u = %f, t1 = %f\n\n', U0, U1, TU1)

Результат:

u0 = 5.000000, u = 1.6, t1 = 53.795071

```

Таким чином, необхідно спочатку подати максимальний керуючий вплив, що дорівнює 5кВт потужності електронагрівача, та через 53.795071секунд змінити його 1.6кВт потужності електронагрівача.

Визначимо вимоги, щодо часу наростання – час за який ОК досягає значення, що дорівнює 90 % від уставки. Для цього порівнюємо час за який ОК досягає 90% уставки при використанні оптимального регулятора та при використанні керуючого впливу, що дорівнює 1,6кВт потужності електронагрівача. А також визначимо час встановлення – час за який об'єкт досягає 99% від уставки, та порівнюємо. Таким чином знайдемо мінімальний та максимальний час.

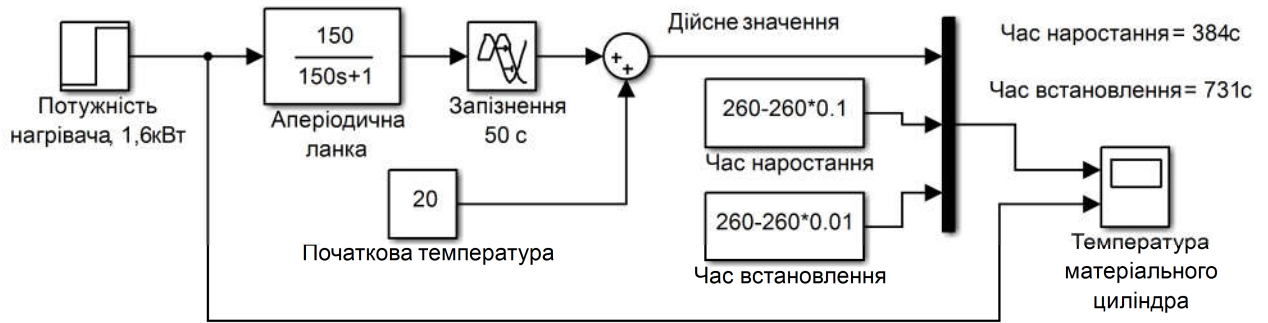


Рисунок 2.3 – Реалізація схеми у пакеті MATLAB для визначення максимального часу наростання та встановлення

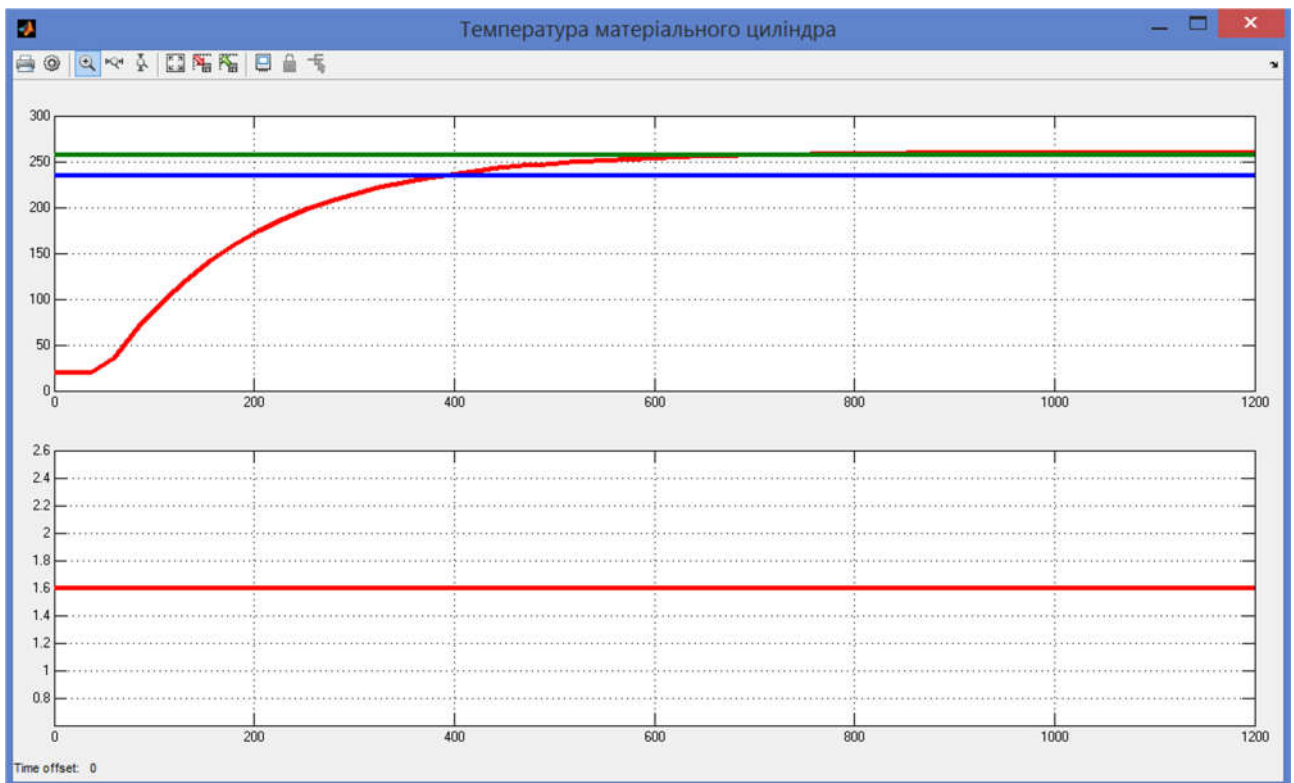


Рисунок 2.4 – Результати моделювання

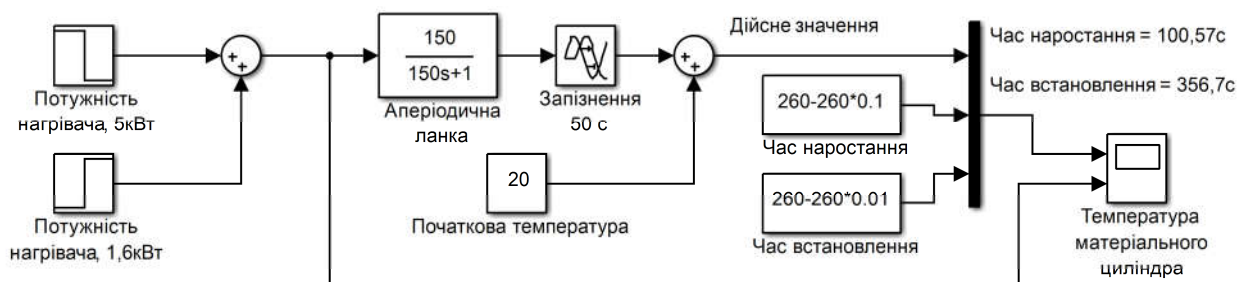


Рисунок 2.5 – Реалізація оптимального регулятора у пакеті MATLAB для визначення мінімального часу наростання та встановлення

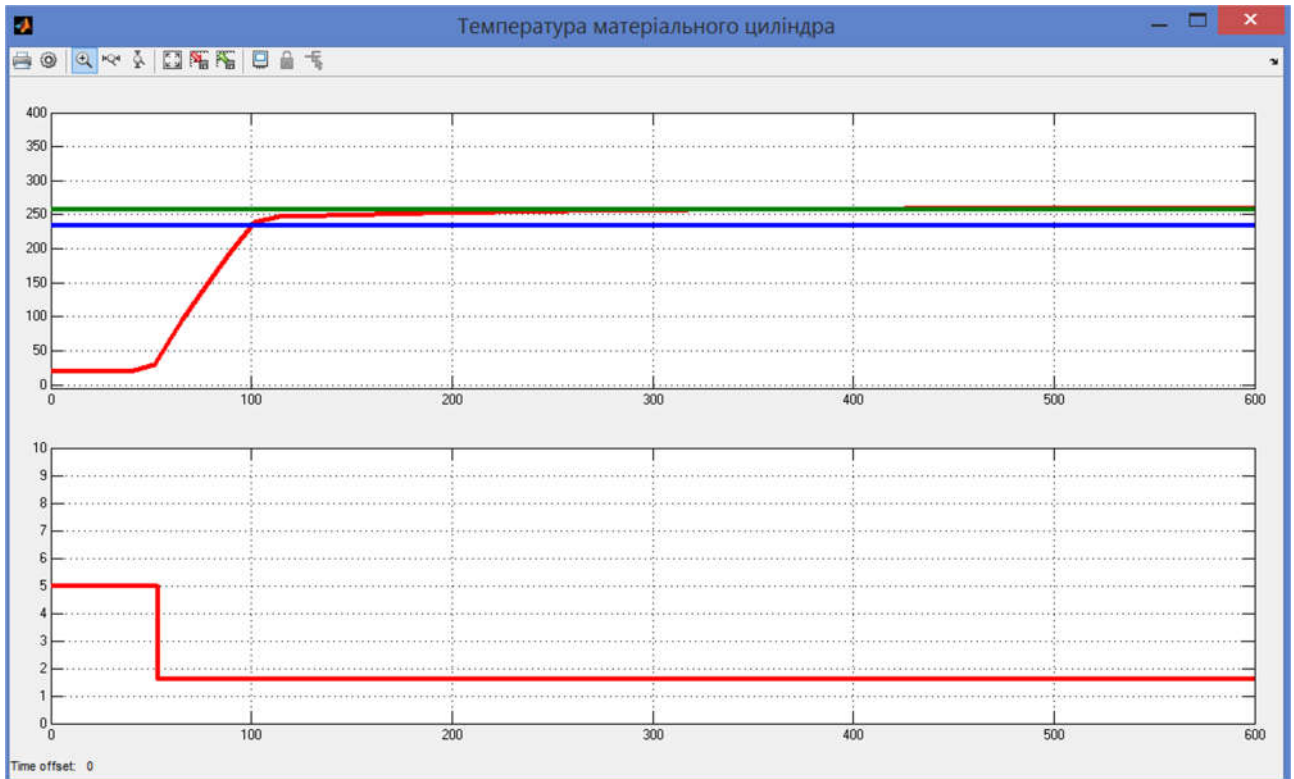


Рисунок 2.6 – Результати моделювання

Таким чином, було розраховано граничні показники для системи, за критеріями:

А саме, T_{\max} наростання = 384 с, T_{\min} наростання = 100,57 с,

T_{\max} встановлення = 731 с, T_{\min} встановлення = 356,7 с.

Перерегулювання максимум 5%, що дорівнює максимальному значенню уставки 273.

2.3 Висновки по розділу

В результаті проведених досліджень було отримано модель ОК, визначено параметри оптимального регулятора для керування, та визначено граничні показники, межах яких повинна відповідати розроблена система керування.

А саме, T_{\max} наростання = 384 с, T_{\min} наростання = 100,57 с,

T_{\max} встановлення = 731 с, T_{\min} встановлення=356,7 с.

Перерегулювання максимум 5%, що дорівнює максимальному значенню уставки 273.

Отриманих даних про функціонування ОК, та висунутих критеріїв достатньо для проведення синтезу системи та обрання конкретного типу регулятора, з використанням описаних у цьому розділі методів.

3 СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

3.1 Модель системи керування

Система автоматичного регулювання являє собою комплекс, що складається з задаючого пристрою, регулюючого пристрою, виконавчого механізму, регулюючого органу, об'єкта регулювання і вимірювального пристрою.

Перші три пристрої складають автоматичний регулятор, а решта - об'єкт регулювання.

Так при виборі і розрахунку параметрів регулятора систему автоматичного регулювання представляють у вигляді узагальненого об'єкта керування і регулятора, взаємодіючих між собою по замкнутому циклу.

При виборі регулятора і розрахунку його параметрів спочатку задаються видом перехідного процесу, а саме аперіодичним з мінімальним часом регулювання, з 10% перерегулюванням або з мінімальною квадратичною помилкою. В даному випадку заданим вимогам відповідає перший тип перехідного процесу, а саме аперіодический з мінімальним часом регулювання.

Далі вибирається тип регулятора виходячи зі співвідношення між запізненням і часом розгону.

$\tau_{об}/T_{об}=50/150=0,33$, що відповідає пропорційно-інтегральному регулятору.

Перевіримо це припущення та розрахуємо параметри для П, ІІ та ІІД-регуляторів.

Як було сказано вище, в якості регулятора може бути використаний пропорційно-інтегруючо-диференціюючий (ІІД) регулятор, або один з його підвидів: пропорційний (ІІ), пропорційно-інтегруючий (ІІІ).

Розрахунок параметрів для ІІ, ІІІ та ІІД-регуляторів проведемо методами Зиглера-Николса та АМІГО про які говорили раніше.

Для визначення параметрів регуляторів необхідно розрахувати параметри, що передаються за функції, а саме: К- коефіцієнта підсилення

інтегруючої ланки, T – постійної часу, τ - затримки, що відповідає першому перетину.

Модель відповідає аперіодичній ланці

$$K = 149.368, T = 147.089, \tau = 49.782$$

Розрахунок параметрів ПІД-регулятора по методу Зиглера-Николса:

Пропорційний регулятор

$$K_p = 0.020$$

Пропорційно-інтегруючий регулятор

$$K_p = 0.018, T_i = 149.347$$

Пропорційно-інтегруючо-диференціюючий регулятор

$$K_p = 0.024, T_i = 99.565, T_d = 24.891, N = 10.000$$

Таблиця 3.1 – Параметри регуляторів, розраховані методом Зиглера-Николса

	K_p	T_i	$T_d=K_d$	T_f	N
P	0.020				
PI	0.018	149.347			
PID	0.024	99.565	24.891	2.4891	10

Розрахунок параметрів ПІД-регулятора по методу AMIGO:

Пропорційний регулятор

$$K_p = 0.006$$

Пропорційно-інтегруючий регулятор

$$K_p = 0.004, T_i = 127.801$$

Пропорційно-інтегруючо-диференціюючий регулятор

$$K_p = 0.010, T_i = 106.204, T_d = 22.597, N = 10.000$$

Таблиця 3.2 – Параметри регуляторів, розраховані методом AMIGO

	K_p	T_i	$T_d=K_d$	T_f	N
P	0.006				
PI	0.004	127.801			
PID	0.010	106.204	22.597	2.2597	10

Побудуємо модель системи у пакеті MATLAB та реалізуємо усі типи регуляторів, перевіривши їх роботу з параметрами, що розраховані методами Зиглера-Николса та AMIGO:

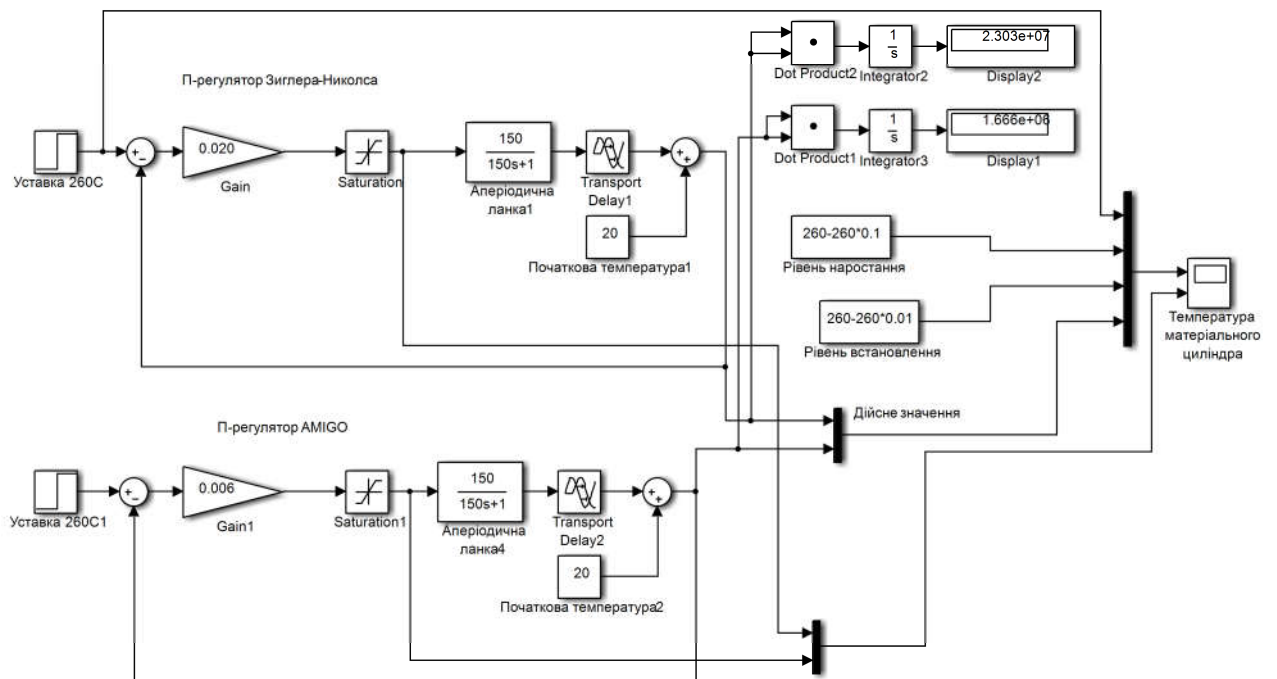


Рисунок 3.1 – Модель системи керування з P-регулятором за методами Зиглера-Николса та AMIGO

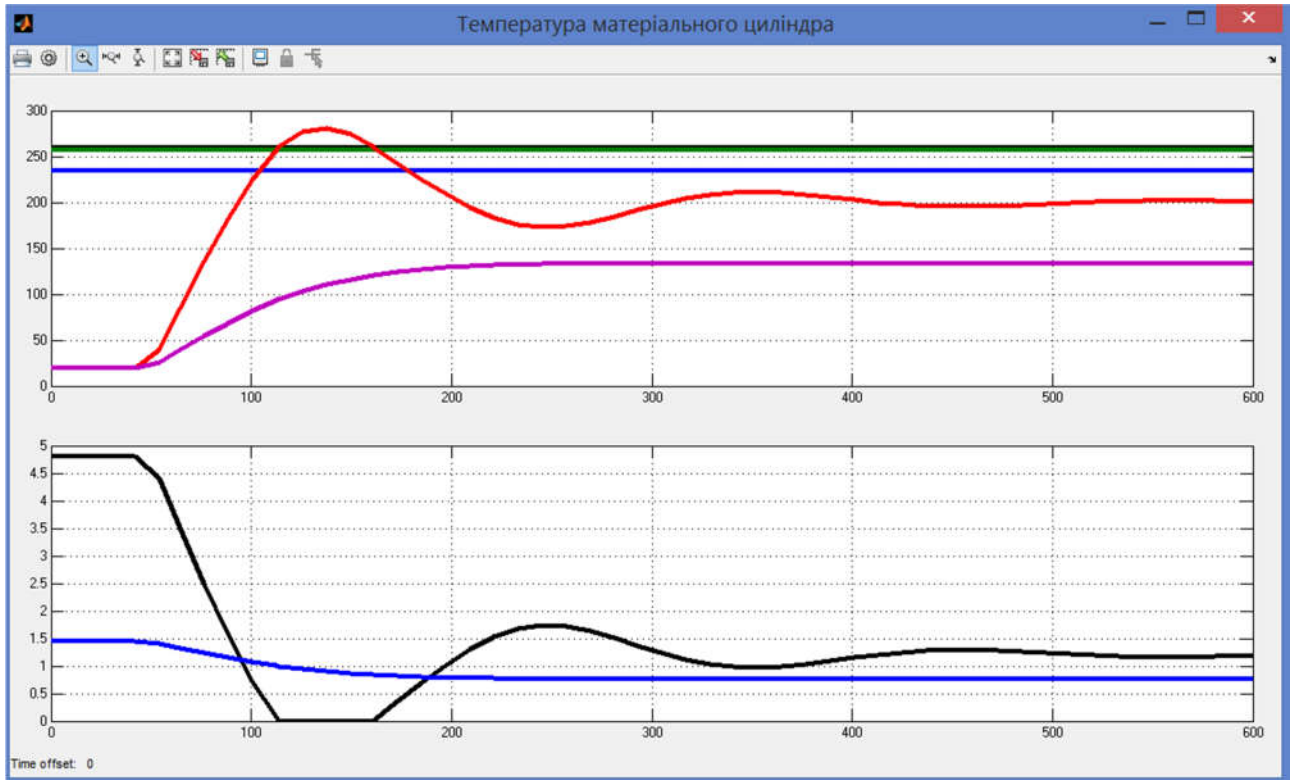


Рисунок 3.2 – Результат моделювання системи керування з Р-регулятором з параметрами, що розраховані за методом Зиглера-Николса та AMIGO.

Таблиця 3.3 – Оцінка Р-регулятора відповідно до критеріїв

№	Метод	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання		Інтегральна оцінка
		с	%	с	%	°С	%	
1	Зиглера-Николса	103,9		112,46		21	-	10^7 2.303
2	AMIGO	-	-	-	-	-	-	0.8578

Проаналізувавши результати моделювання системи з використанням Р-регулятора, з параметрами, що розраховані методами Зиглера-Николса та AMIGO, можна зробити висновок, що використання Р-регулятора неможливе для системи керування, що проектується у даній роботі, через велику статичну помилку та коливання вихідної величини. Для подальшого дослідження, проаналізуємо PI-регулятор, який за допомогою інтегруючої складової може компенсувати статичну помилку.

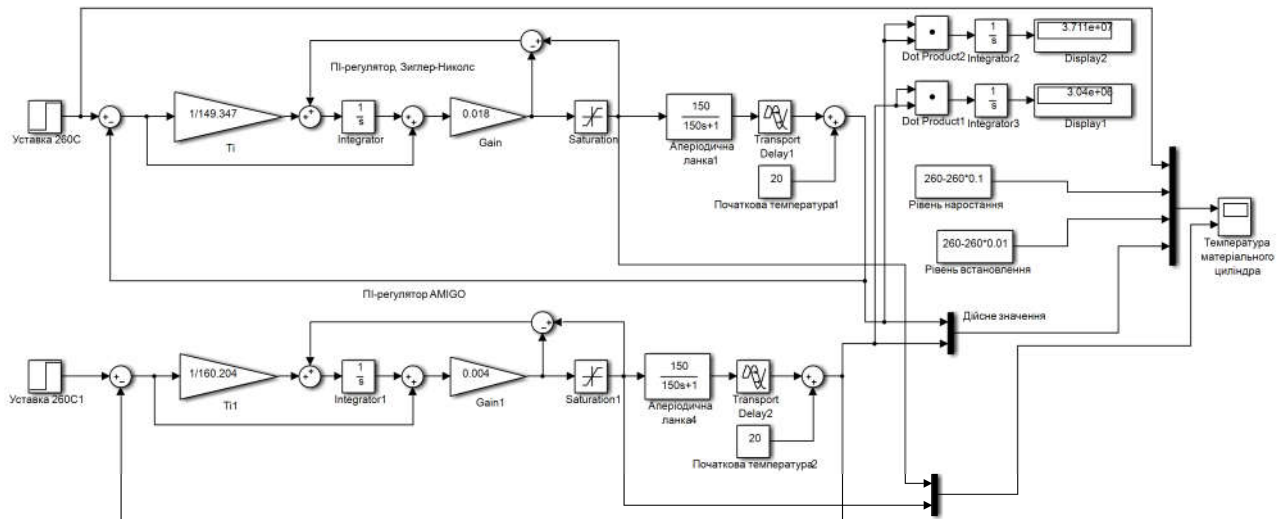


Рисунок 3.3 – Модель системи керування з ПІ-регулятором за методами Зиглера-Николса та AMIGO

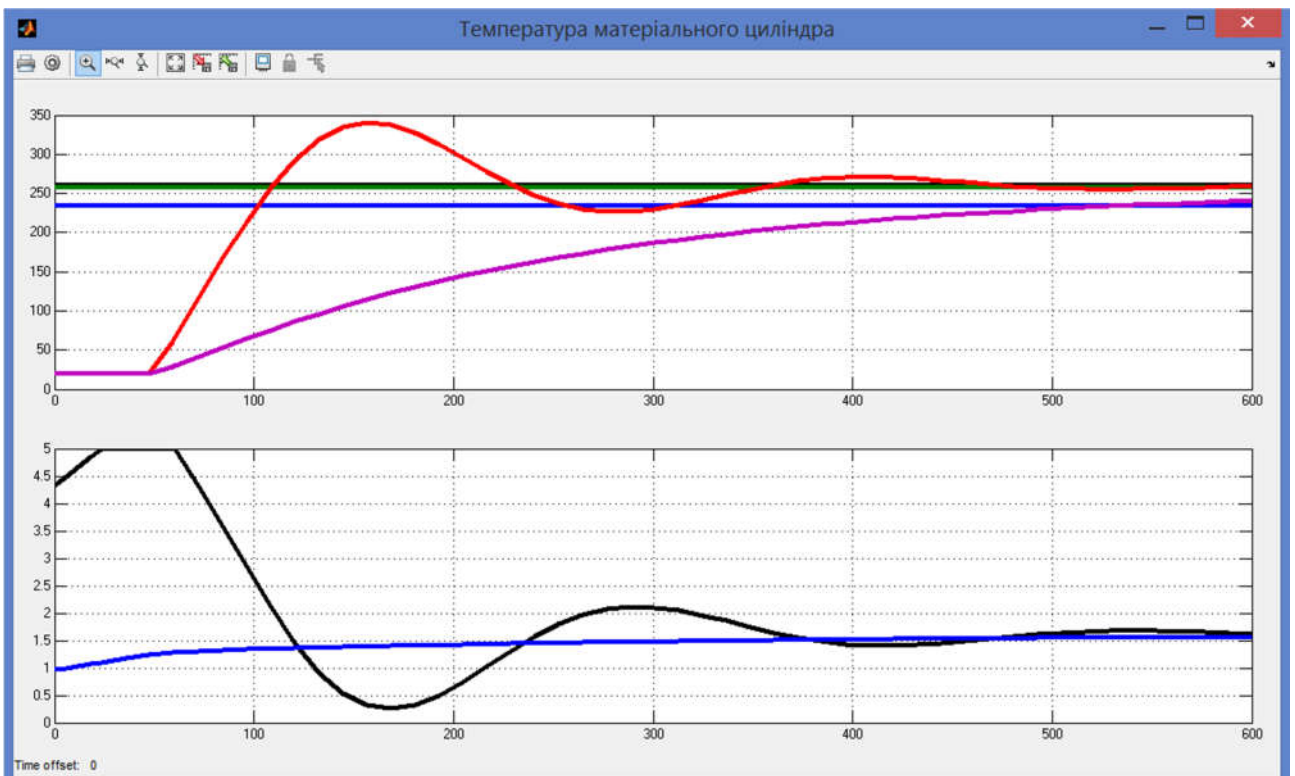


Рисунок 3.4 – Результат моделювання системи керування з ПІ-регулятором з параметрами, що розраховані за методом Зиглера-Николса та AMIGO.

Таблиця 3.4 – Оцінка PI-регулятора відповідно до критеріїв

№	Метод	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання		Інтегральна оцінка
		с	%	с	%	°С	%	
1	Зиглера-Николса	102.2		108.81		80	-	3.711
2	AMIGO	532.5		>1000		-	-	1.868

Проаналізувавши результати моделювання системи з використанням PI-регулятора, з параметрами, що розраховані методами Зиглера-Николса та AMIGO, можна зробити висновок, що використання PI-регулятора, відповідає вимогам системи керування, але з додатковим налаштуванням параметрів. Для подальшого дослідження, проаналізуємо PID-регулятор, який за допомогою диференційної складової може компенсувати неузгодженості та повільний вихід ОК на значення уставки.

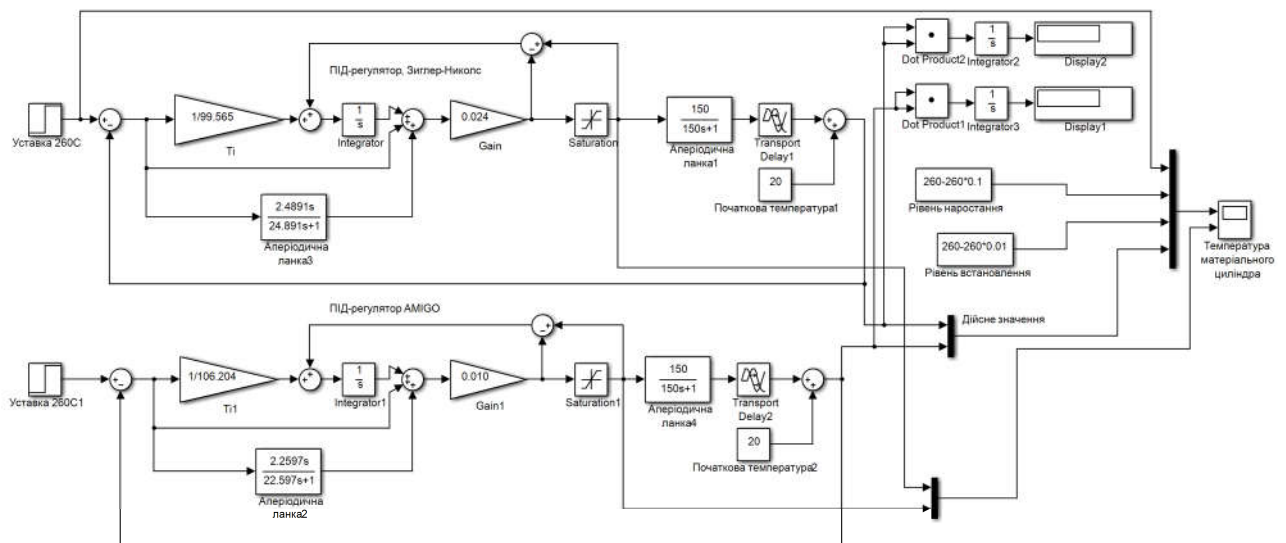


Рисунок 3.5 – Модель системи керування з PID-регулятором за методами Зиглера-Николса та AMIGO

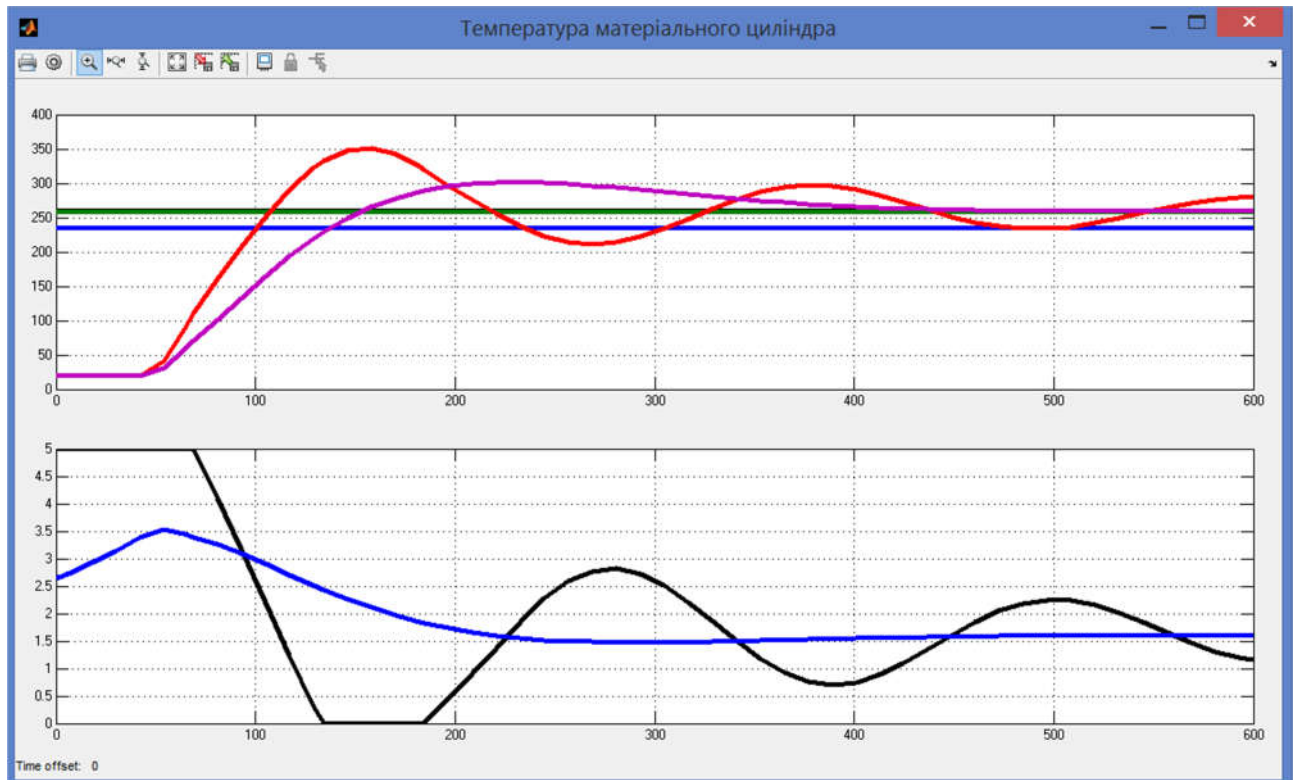


Рисунок 3.6 – Результат моделювання системи керування з PID-регулятором з параметрами, що розраховані за методом Зиглера-Николса та AMIGO.

Таблиця 3.5 – Оцінка PID-регулятора відповідно до критеріїв

№	Метод	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання		Інтегральна оцінка 10^7
		с	%	с	%	°C	%	
1	Зиглера-Николса	100.55		107.18		90	-	3.772
2	AMIGO	137.7		152.85		42	-	3.661

Проаналізувавши результати моделювання системи з використанням PID-регулятора, з параметрами, що розраховані методами Зиглера-Николса та AMIGO, можна зробити висновок, що використання PID-регулятора також може бути використаний для функціонування системи керування, що проектується у даній роботі. Спробуємо налаштувати регулятор вручну.

При налаштуванні регулятора вручну виявилось, що для роботи системи цілком достатньо ПІ-регулятора з наступними параметрами:

$$K_p = 0,01, T_i = 150.$$

3.2 Оцінка якості функціонування системи керування

Остаточний вигляд системи керування:

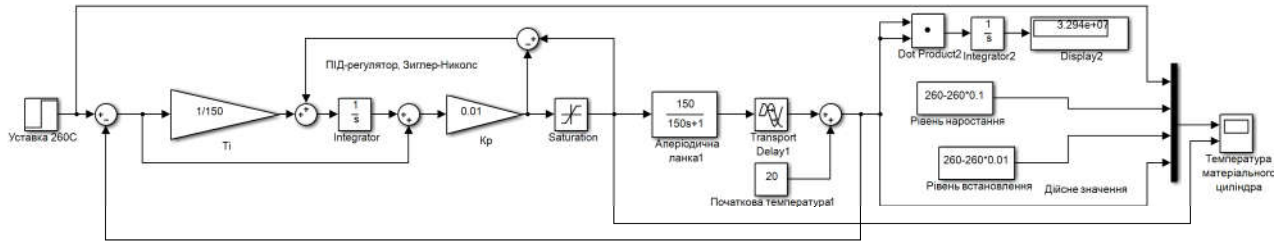


Рисунок 3.7 – Остаточна модель системи керування

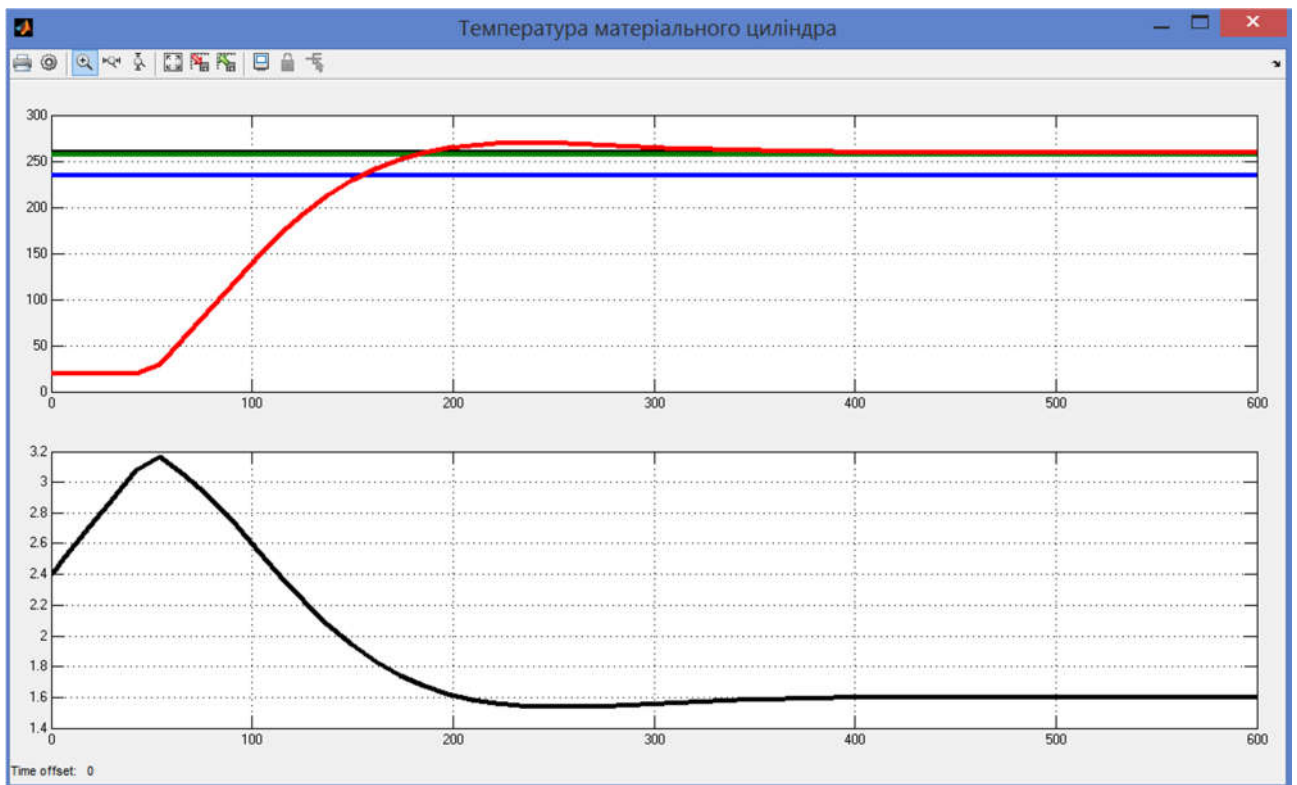


Рисунок 3.8 – Результати моделювання

Дослідимо роботу системи керування в умовах технологічного процесу, а саме, перевіримо систему на робастність та реакцію на збурюючий вплив, так як, через зміну властивостей теплоізоляції змінюється коефіцієнт теплопередачі.

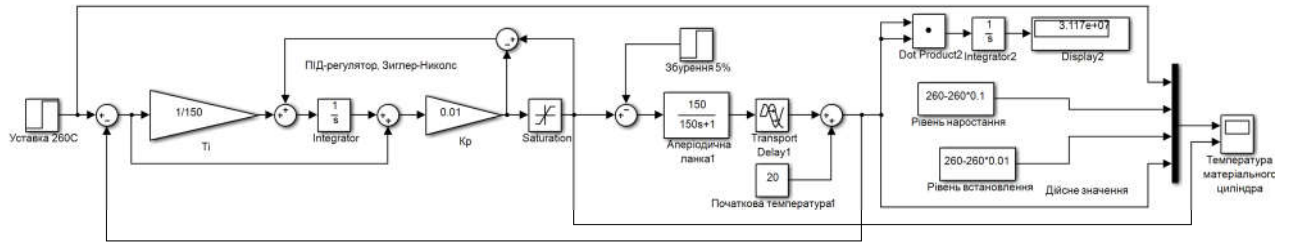


Рисунок 3.9 – Модель перевірки СК на збурення

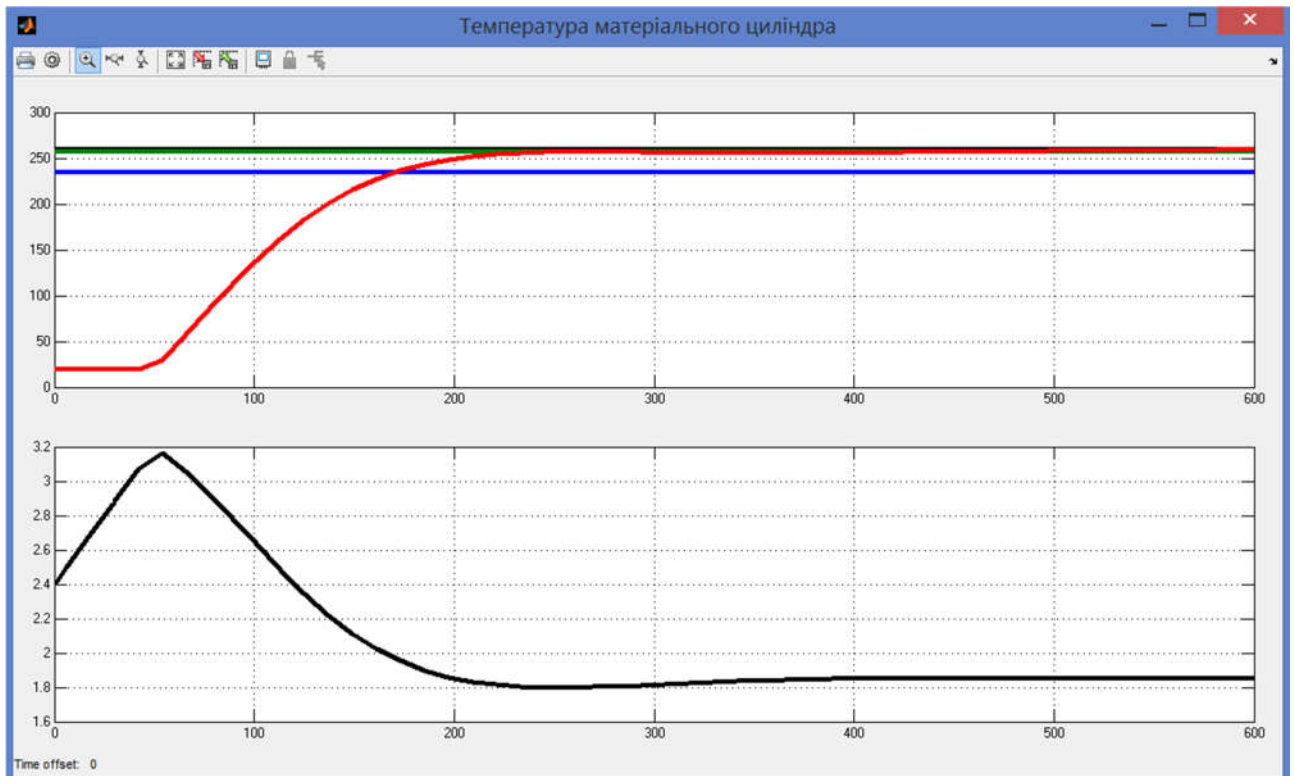


Рисунок 3.10 – Результати моделювання

Перевірка СК на збурення відбувалася шляхом подачі збурюючого впливу (+5% від максимального керуючого впливу) на вхід об'єкту через 30с після початку роботи системи. Результати моделювання (рис. 3.10) показують, що присутність збурення не вносить критичних змін в роботу системи.

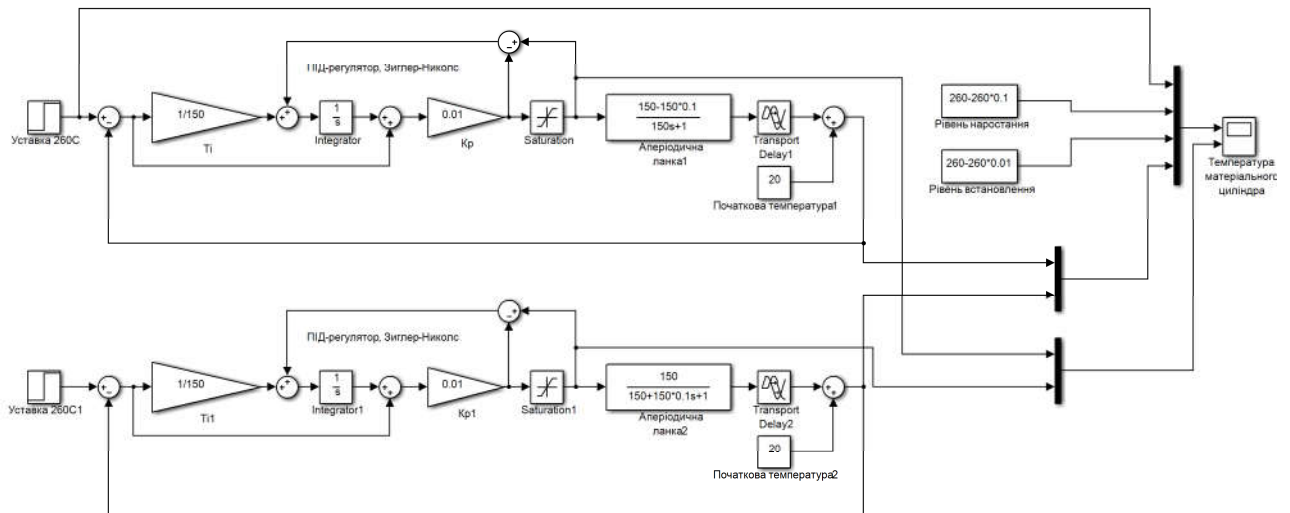


Рисунок 3.11 – Модель перевірки СК на робастність

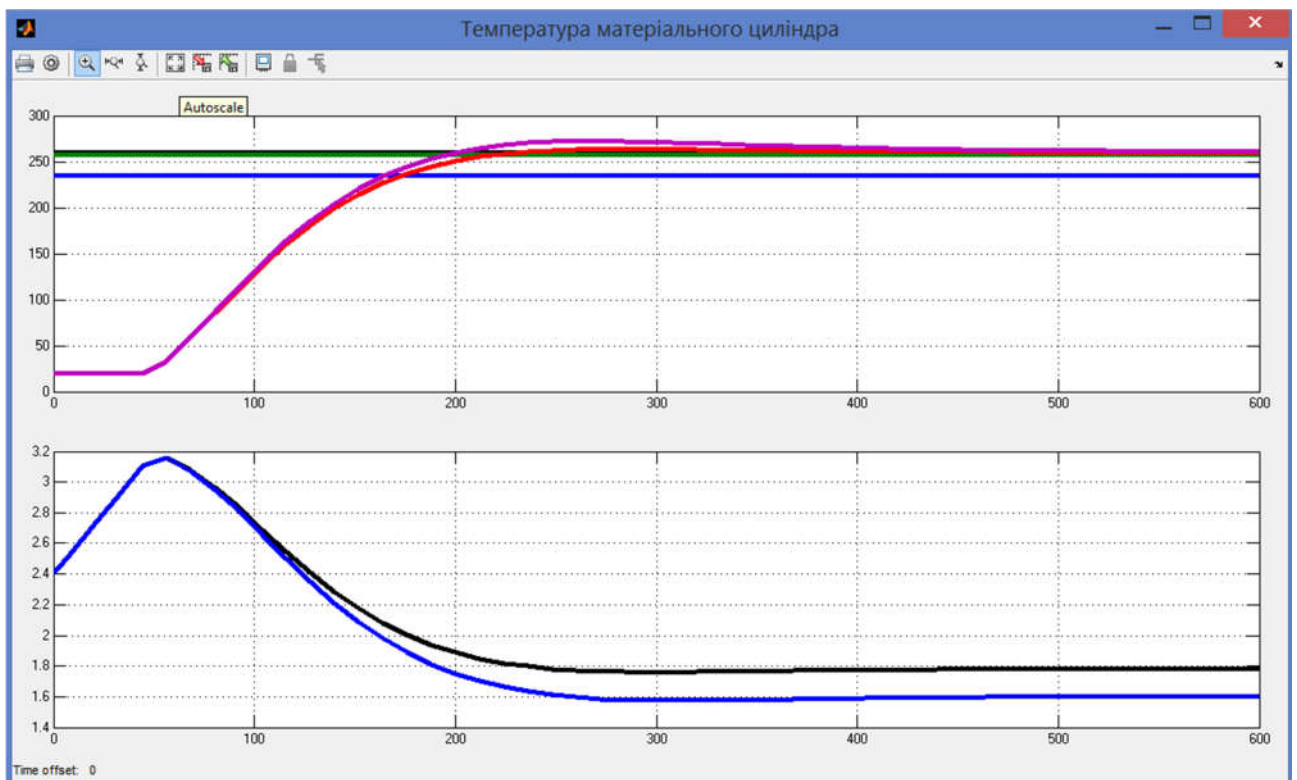


Рисунок 3.12 – Результати моделювання

Перевірка моделі на робастність була проведена шляхом зміни параметрів об'єкта : $K+10\%$, $T+10\%$. Результати показали, що навіть при такій зміні параметрів об'єкта регулятор виконує свої функції відповідно до вимог.

Знайдемо залежності між значеннями параметрів регулятора, та якістю роботи системи за критеріями. Для цього, змінимо значення K_p та T_i на $\pm 20\%$ для кожного параметра, та визначимо діапазон на якому побудуємо залежності.

Таблиця 3.10 – Дані для побудови залежності критеріїв від зміни K_p при $T_i=120$

Кр	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання	
	с	%	с	%	°C	%
При $T_i=120$						
0,008	176,15	26,6662	207,65	-39,821	18	6,923077
0,009	157,3	20,01552	180,14	-47,1707	24,4	9,384615
0,01	143,32	15,08309	160,33	-52,4633	32,25	12,40385
0,011	132,67	11,32555	146,23	-56,2303	41,3	15,88462
0,012	124,18	8,330099	135,4	-59,1237	51,4	19,76923

На основі даних у таблиці 3.10 було побудовано залежності зміни часу наростання, часу встановлення та перерегулювання, від зміни коефіцієнта посилення K_p при $T_i=120$ (рис 3.15).

Таблиця 3.11 – Дані для побудови залежності критеріїв від зміни K_p при $T_i=150$

Кр	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання	
	с	%	с	%	°C	%
При $T_i=150$						
0,008	200,71	35,33148	293	-17,0184	0,2	0,076923
0,009	172,95	25,53717	220,7	-36,3345	3,4	1,307692
0,01	154	18,85122	182,53	-46,5322	9,8	3,769231
0,011	140,22	13,98934	159,67	-52,6396	18,27	7,026923
0,012	130,7	10,63049	144,8	-56,6123	28	10,76923

На основі даних у таблиці 3.11 було побудовано залежності зміни часу наростання, часу встановлення та перерегулювання, від зміни коефіцієнта посилення K_p при $T_i=150$ (рис 3.16).

Таблиця 3.12 – Дані для побудови залежності від зміни K_p при $T_i=180$

Кр	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання	
	с	%	с	%	°C	%
При $T_i=180$						
0,008	239,43	48,9927	720	97,06118	0	0
0,009	193,93	32,93935	648	77,82527	0	0
0,01	166	23,08507	590	62,32968	0	0
0,011	147,56	16,57905	180,1	-47,1814	2,7	1,038462
0,012	135,31	12,25699	155,4	-53,78	12	4,615385

На основі даних у таблиці 3.12 було побудовано залежності зміни часу наростання, часу встановлення та перерегулювання, від зміни коефіцієнта посилення K_p при $T_i = 180$ (рис 3.17).

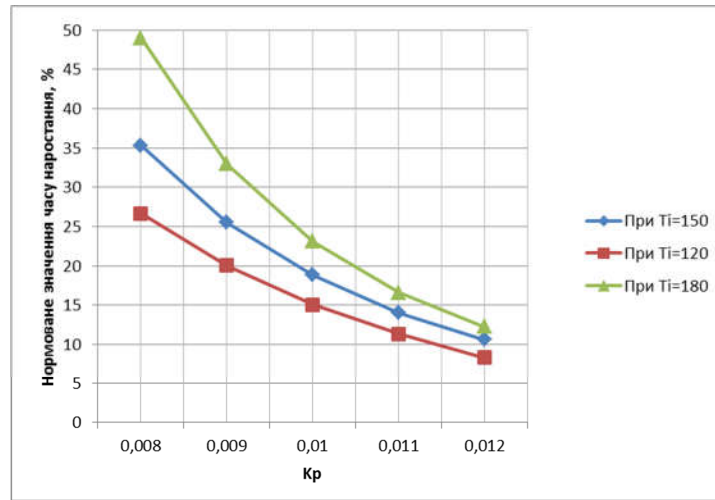


Рисунок 3.15 – Залежність зміни часу наростання від зміни K_p

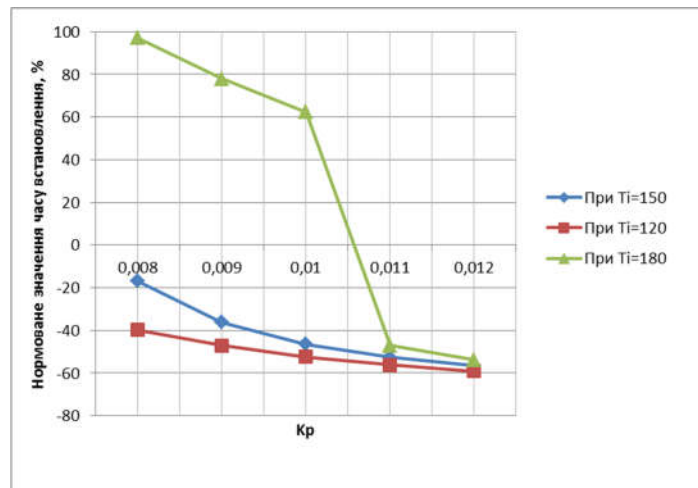


Рисунок 3.16 – Залежність зміни часу встановлення від зміни K_p

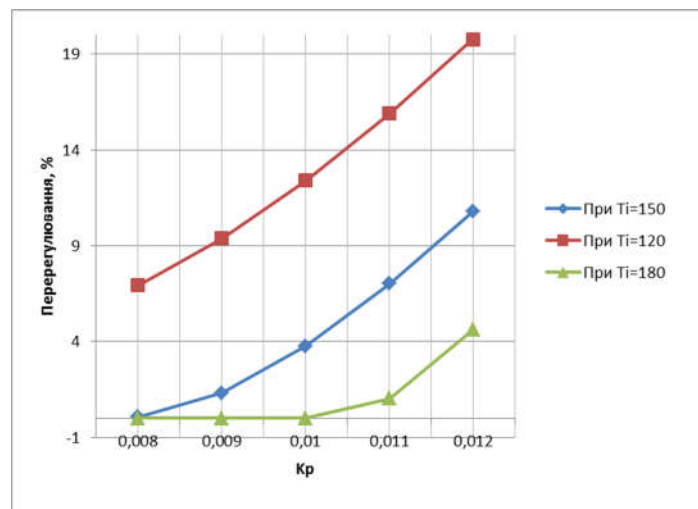


Рисунок 3.17 – Залежність зміни перерегулювання від зміни K_p

Таблиця 3.13 – Дані для побудови залежності критеріїв при $K_p=0,008$

Ті	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання	
	с	%	с	%	°С	%
120	176,15	26,6662	207,65	-39,821	18	6,923077
135	187,82	30,78362	235,2	-32,4606	7,8	3
150	200,71	35,33148	293	-17,0184	0,2	0,076923
165	217,22	41,15655	550	51,64307	0	0
180	239,43	48,9927	720	97,06118	0	0

На основі даних у таблиці 3.13 було побудовано залежності зміни часу наростання, часу встановлення та перерегулювання, від зміни часу інтегрування T_i при $K_p = 0,008$ (рис 3.18).

Таблиця 3.14 – Дані для побудови залежності критеріїв при $K_p = 0,01$

Ті	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання	
	с	%	с	%	°С	%
120	143,32	15,08309	160,33	-52,4633	32,25	12,40385
135	148,47	16,90012	170,67	-49,7008	20	7,692308
150	154	18,85122	182,53	-46,5322	9,8	3,769231
165	159,86	20,91875	202,56	-41,1809	1,6	0,615385
180	166	23,08507	590	62,32968	0	0

На основі даних у таблиці 3.14 було побудовано залежності зміни часу наростання, часу встановлення та перерегулювання, від зміни часу інтегрування T_i при $K_p = 0,01$ (рис 3.19).

Таблиця 3.15 – Дані для побудови залежності критеріїв при $K_p=0,012$

Ті	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання	
	с	%	с	%	°С	%
120	124,18	8,330099	135,4	-59,1237	51,4	19,76923
135	127,57	9,526162	140,24	-57,8306	38,5	14,80769
150	130,7	10,63049	144,8	-56,6123	28	10,76923
165	132,96	11,42787	150,03	-55,2151	19,2	7,384615
180	135,31	12,25699	135,4	-59,1237	12	4,615385

На основі даних у таблиці 3.15 було побудовано залежності зміни часу наростання, часу встановлення та перерегулювання, від зміни часу інтегрування T_i при $K_p = 0,012$ (рис 3.20).

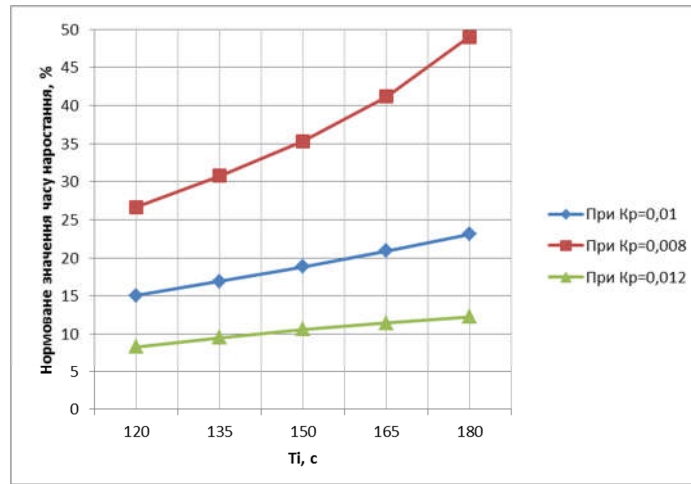


Рисунок 3.18 – Залежність зміни часу наростання від зміни T_i

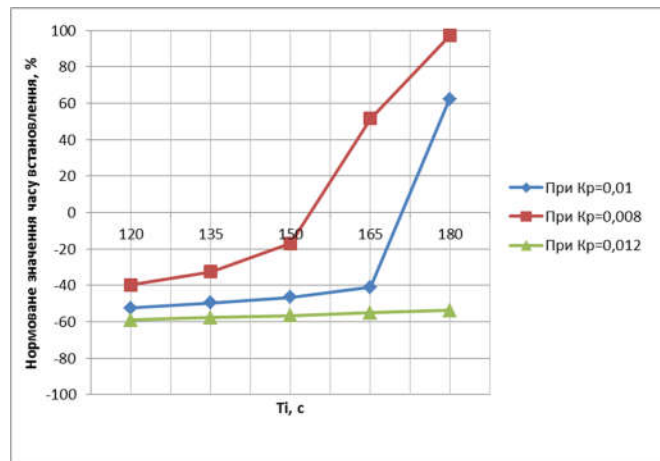


Рисунок 3.19 – Залежність зміни часу встановлення від зміни T_i

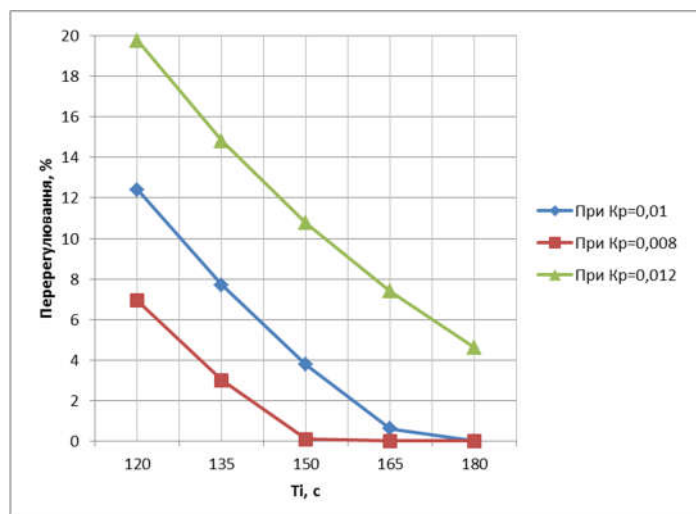


Рисунок 3.20 – Залежність зміни перерегулювання від зміни T_i

На основі проведеного дослідження та вперше отриманих залежностей для даного об'єкту, можемо сформулювати правила до налаштування регулятора:

1. Найкращого значення за заданими критеріями можна досягти шляхом обрання параметра T_i таким чином: змінити значення T_i з кроком 10 – 15, та визначити у якому напрямі зміни T_i відносний час встановлення збільшується. Якщо точка екстремуму не знайдена, продовжуємо змінювати T_i у напрямі, що відповідає збільшенню часу встановлення, з тим самим кроком до тих пір, поки T встановлення не почне зменшуватися. Після зменшення T встановлення змінюємо T_i у зворотному напрямі, але із меншим кроком.
2. Чим більшими є величина T_i у діапазоні від 120 до 180 та K_p , у діапазоні від 0,008 до 0,012, тим кращі результати буде отримано за критеріями висунутими до системи.

3.3 Висновки до розділу

В результаті проведеного дослідження, було отримано модель системи керування, визначено структуру та параметри регулятора, оцінено роботу системи згідно з висунутими критеріями. А також отримано залежності зміни роботи системи за критеріями в залежності від зміни параметрів регулятора.

Отриманих результатів достатньо для переходу до експериментального розділу, та розробки ЛМІ.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Цифрова модель об'єкта керування

В результаті синтезу системи керування було отримано безпервну модель системи керування, що відповідає сформульованим критеріям якості.

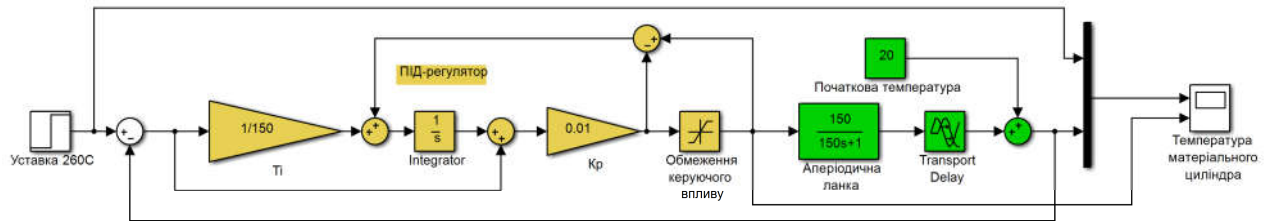


Рисунок 4.1 – Безперевна модель системи керування

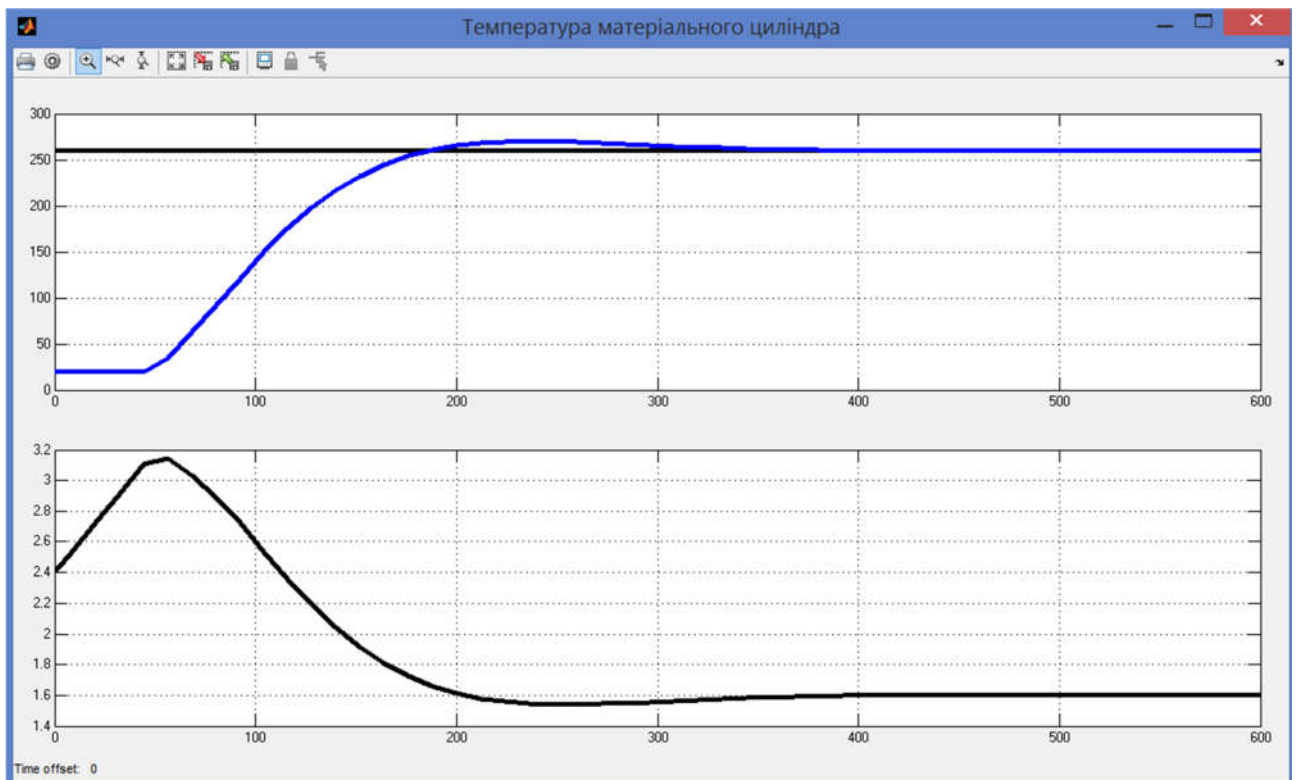


Рисунок 4.2 – Результати моделювання

Проведемо заміну безпервних елементів модулі системи керування цифровими:

Для об'єкта:

```
>> c2d(tf([150],[150 1]), 0.1)
```


ans =

0.09997

z - 0.9993

Sample time: 0.1 seconds

Discrete-time transfer function.

Ланка чистого запіздження

```
>> tfz = c2d(tf([1], 'ioDelay', 50), 0.1);
```

```
delayLength = tfz.ioDelay;
```

```
fprintf('Delay length = %0.3f\n\n', delayLength);
```

Delay length = 500.000

Для регулятора:

Виконаємо заміну блоку інтегратора з безперервного на цифровий.

В результаті заміни безперервних елементів моделі на цифрові, було отримано:

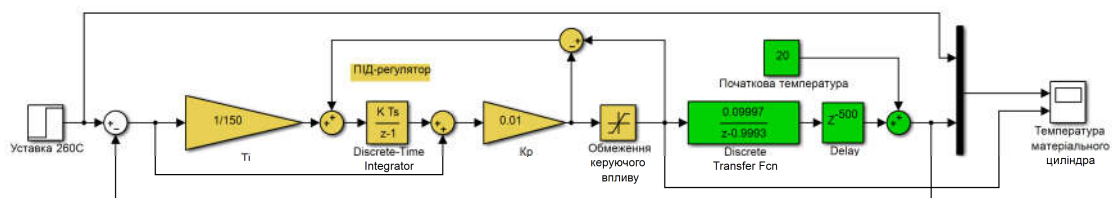


Рисунок 4.3 – Цифрова модель системи керування

За нормованим середньо-квадратичним відхиленням оцінимо відповідність цифрової моделі системи керування безперервній моделі.

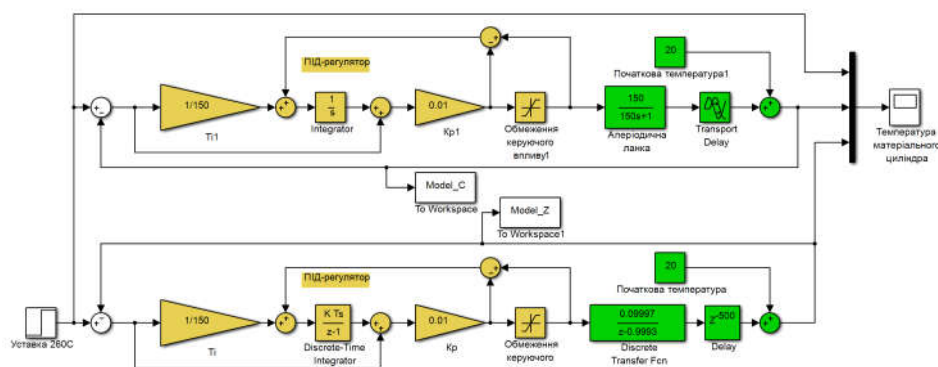


Рисунок 4.4 – Перевірка відповідності

```
>> goodnessOfFit(Model_Z, Model_C, 'NRMSE')*100
```

```
ans = 97.0131
```

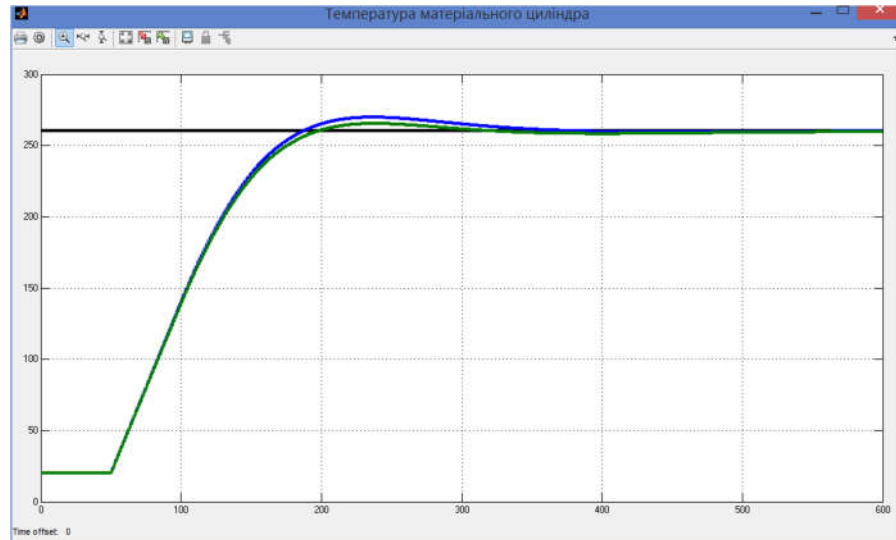


Рисунок 4.5 – Результати моделювання

Як видно за результатами перевірки, маємо дуже високий відсоток відповідності цифрової моделі безперервній.

Далі, виконаємо поділ системи керування шляхом створення блоків підсистем. Та для полегшення експорту моделей з математичного пакету MATLAB до середи розробки zenon Logic перейменуємо входні\вихідні порти підсистем, згідно з правил.

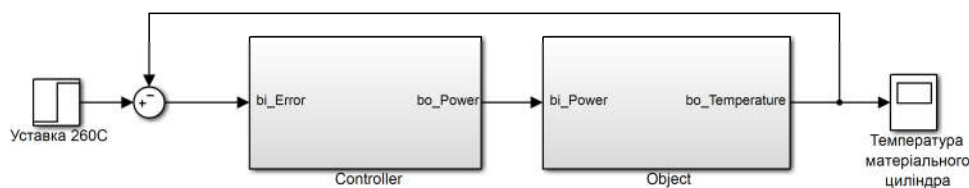


Рисунок 4.6 – Система керування

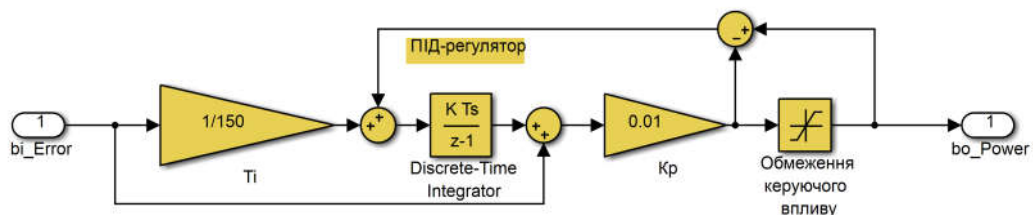


Рисунок 4.7 – Підсистема регулятора

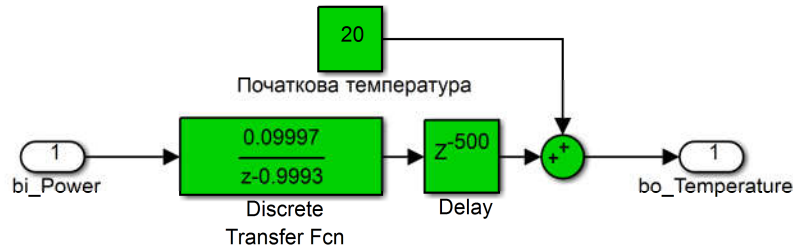


Рисунок 4.8 – Підсистема об'єкта

Далі було згенеровано програмні модулі, що наведені у додатку А.

4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування

Програмне забезпечення системи керування поділено на два окремих програмних блоки: регулятор та об'єкт керування.

Програмне забезпечення регулятора розроблено під програмований логічний контролер zenon Logic, що входить до складу SCADA системи zenon. Програмне забезпечення об'єкту керування розроблено як ПЗ перевірки функціонування системи керування для драйверу пристрою керування.

Для розробки ПЗ об'єкту керування було створено драйвер пристрою керування з налаштуванням, що показано на рисунку 4.9.

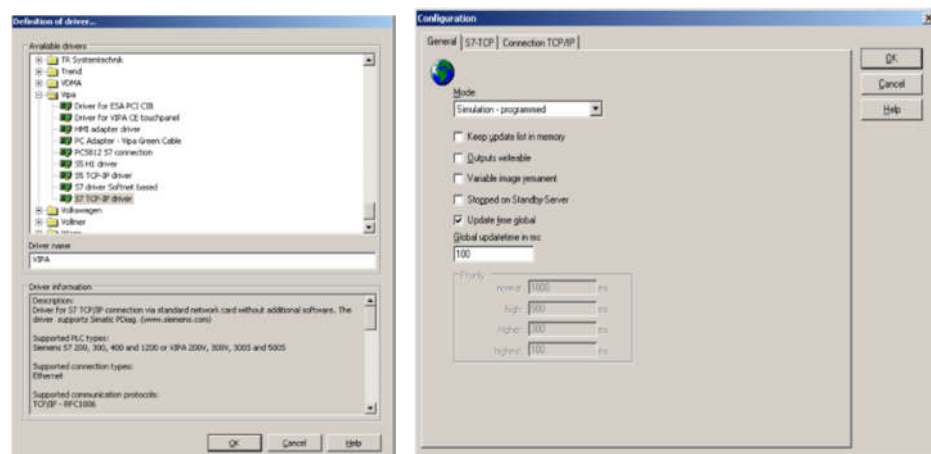
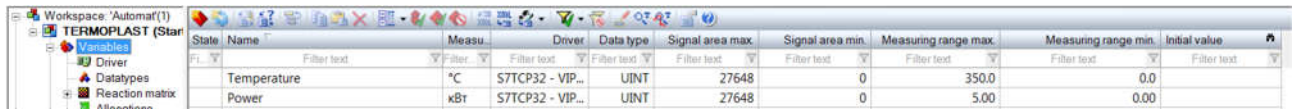


Рисунок 4.9 – Вибір драйверу пристрою керування та його налаштування

Для драйвера пристрою керування було створено такі змінні, що забезпечують доступ до входів та виходів об'єкта керування (рис. 4.10).



State	Name	Measu...	Driver	Data type	Signal area max	Signal area min	Measuring range max	Measuring range min	Initial value
	Temperature	°C	S7TCP32 - VIP...	UINT	27648	0	350.0	0.0	
	Power	kВт	S7TCP32 - VIP...	UINT	27648	0	5.00	0.00	

Рисунок 4.10 – Змінні драйверу об'єкту керування

У середі розробки zenon Logic Workbench для драйверу пристрою керування було реалізовано модель об'єкту керування на базі раніше отриманого програмного модуля. Далі, на основі отриманого користувацького функціонального блоку і було розроблено програмне забезпечення об'єкту керування.

Так як програмований логічний контролер компанії VIPA перетворює аналогові сигнали у цифровий код з діапазоном від 0 до 27648, то отримане значення від SCADA системи zenon було нормалізовано шляхом переводу з діапазону від 0 до 27648 до діапазону значення потужності нагрівача від 0 до 5 кВт. Крім того було перетворено вихід об'єкту керування з діапазону фізичного значення від 0 до 350 С, до діапазону цифрового значення від 0 до 27648. Більш докладно список програм, змінних, драйверів для програмного забезпечення ОК наведено у додатку Б1.

Для реалізації програмного забезпечення регулятора спочатку було створено проект регулятора (рис. 4.11).



State	Project name	Target host	Targ...	Start type	Start place	Host	Startup
	Controller	localhost	1200	start/stop automatically	all computers	localhost	Cold start

Рисунок 4.11 – Проект регулятора

Також було створено змінні регулятора, що відповідають значенню уставки, дійсному значенню та керуючому впливу (додаток Б2).

В процесі розробки програмного забезпечення регулятора також було виконано нормалізацію значень уставки, температури та потужності нагрівача, а також розрахунок значення помилки керування.

Зв'язок між програмним забезпеченням регулятора та об'єкта керування було реалізовано через механізм розподілу «Allocations» (рис. 4.12).

Name	Source variable	Target variable	Trigger variable	Trigger type
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
PLC_To_Zenon	Temperature	Controller/Global/Temperature	< no variable linked >	Edge
Zenon_To_PLC	Controller/Global/Power	Power	< no variable linked >	Edge

Рисунок 4.12 – Механізм розподілу «Allocations»

Таким чином було створено два розподіли. Перший, копіює значення температури з об'єкту керування до регулятора, другий – значення потужності нагрівача з регулятора до об'єкту керування. Більш докладно список програм, змінних, драйверів для програмного забезпечення регулятора наведено у додатку Б2.

4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу

Невід'ємною частиною розробки системи керування є створення програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу.

Для забезпечення повної функціональності комп'ютеризованої системи керування, необхідно розробити ЛМІ, що буде забезпечувати:

- можливість спостерігати за протіканням перехідного процесу;
- можливість спостерігати за зміною параметрів об'єкта;
- можливість слідкувати за станом протікання технологічного процесу та в разі виникнення непередбачуваних подій вчасно вирішити проблему.

Таким чином, можна сформулювати основні вимоги до ЛМІ:

- мінімальне розширення екрану 1024x920 px;
- кількість зображень: 5 – зображення з кнопками, що дозволять без проблем переходити між іншими зображеннями, технологічна схема, графік перехідного процесу, список подій, список тривоги.

На зображеннях кнопках, що були реалізовані для ЛМІ, кожна має свою функцію. «Технологічна схема»: при натисканні цієї кнопки відбувається перехід на наступне зображення, де можна спостерігати технологічну схему

системи, розташування датчиків, та основну інформацію про об'єкт. Реалізація роботи цієї кнопки була виконана за допомогою функції `switch screen`, що дозволяє перейти на наступне зображення. Наступні кнопки : «Тренд», «Список тривог», «Список подій», було реалізовано аналогічно та дозволяють перейти на відповідні зображення. Кнопки «Вихід», «Перезавантажити» реалізовано за допомогою функцій `exit runtime` та `reload project` відповідно.

Усі зображення розташовано згідно шаблону, рисунок 4.13.

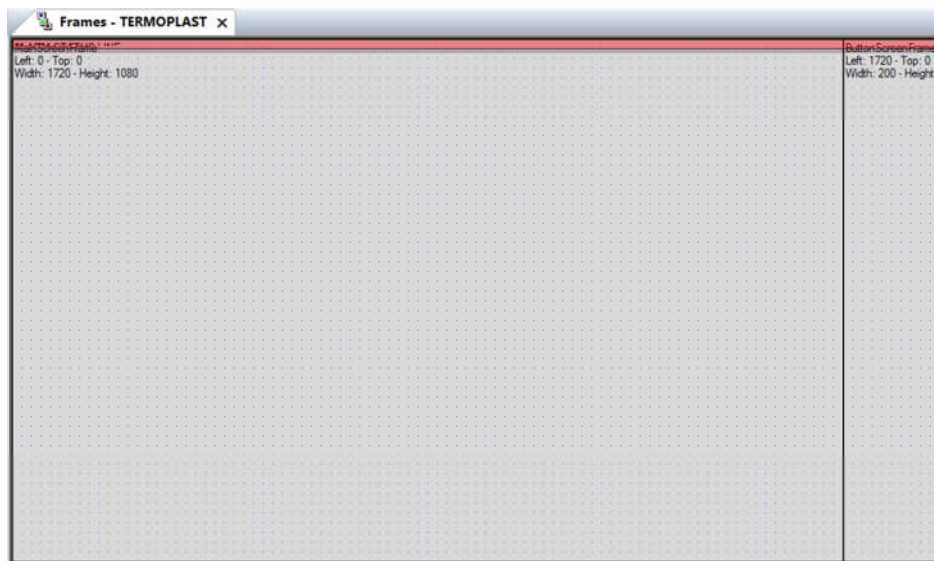


Рисунок 4.13 – Шаблон

Основні зображення розташовано в основному фреймі, зображення з кнопками окремим фреймом, проте є статичним та відображається постійно. Для розробки таких зображень, як «Список подій» та «Список тривог» були використані шаблони SCADA системи zenon.

Відповідно до завдання було розроблено технологічне зображення яке наведено на рисунку 4.14.

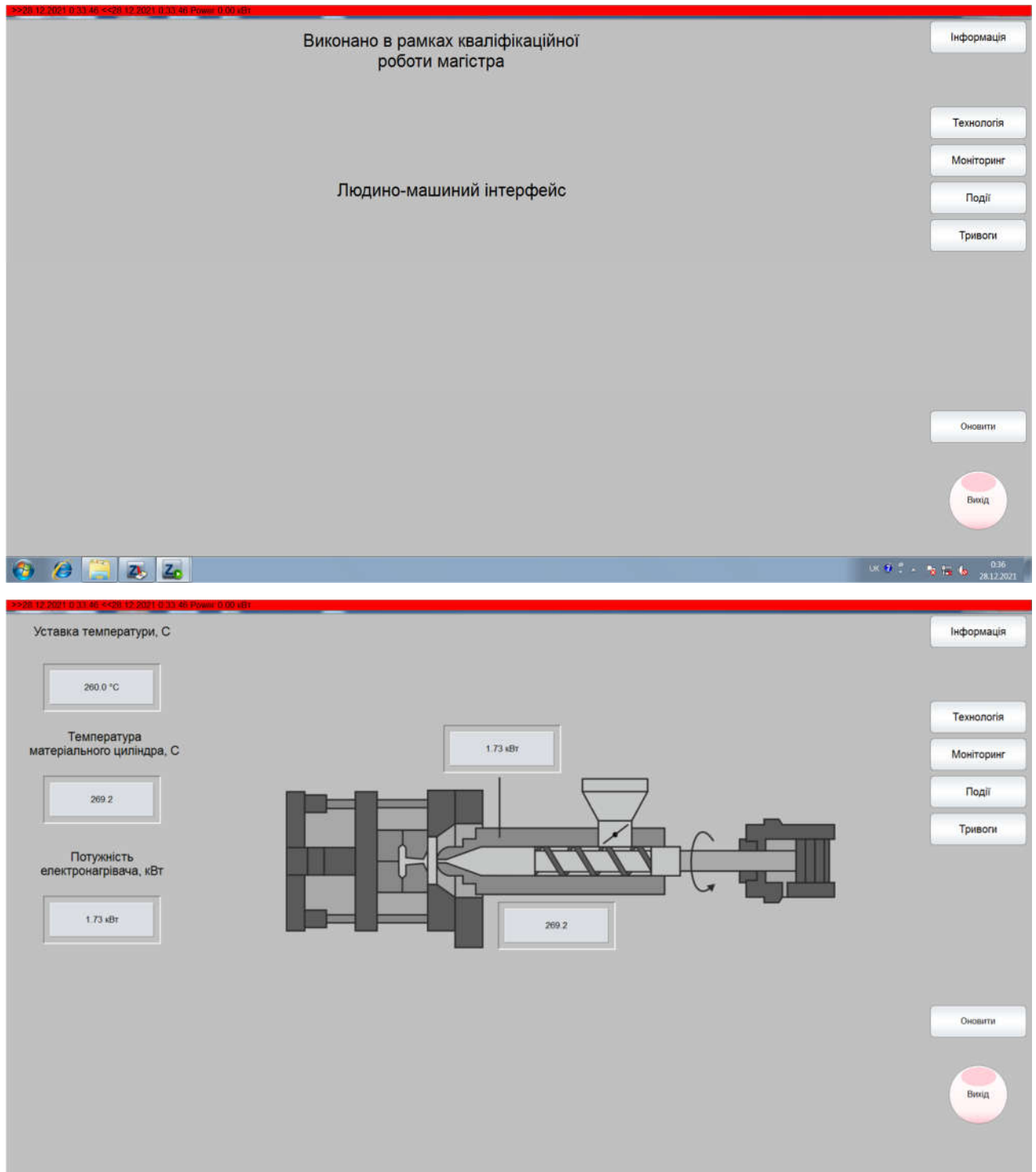


Рисунок 4.14 – Технологічне зображення

На технологічному зображенні вказані основні складові елементи термопластавтомата.

За для контролю зміни температури матеріального циліндра розроблено відповідне зображення яке наведено на рисунку 4.15. На зображенні за допомогою розширеного тренду відображається уставка процесу, зміна

потужності електронагрівача та температури матеріального циліндра термопластавтомата.

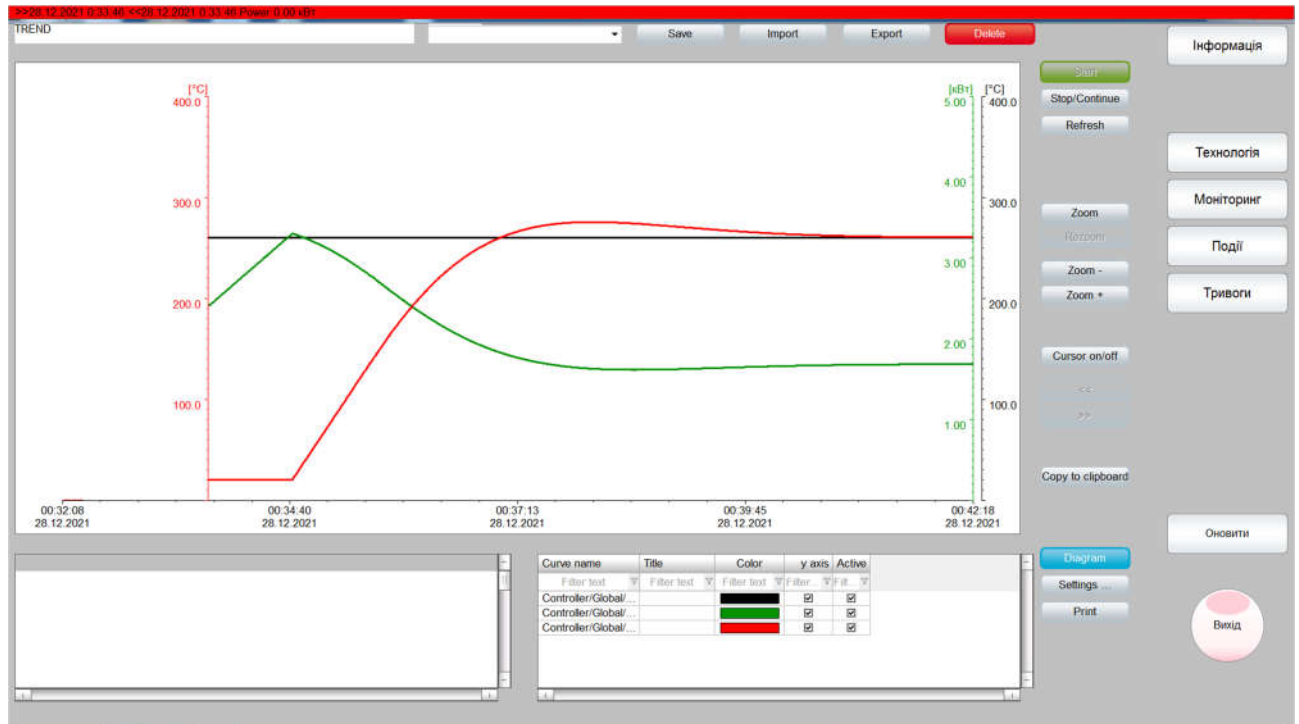


Рисунок 4.15 – Зображення тренду зміни температури матеріального циліндра термопластавтомата

За для відображення списку подій використано зображення типу “Chronologic event list”. Відповідно до вимог в хронологічному списку подій записується інформація про зміни температури матеріального циліндра термопластавтомата, зміни потужності електронагрівача. Розроблене зображення наведено на рисунку 4.16

Time received	Text	Variable name	Value	Meas...	User - full name	Computer name	Comment
28.12.2021 0:28:55	System was started	Power	0.00	kВт	SYSTEM	ZENON_7_10	
28.12.2021 0:28:55		Power	2.61	kВт			
28.12.2021 0:30:52	System was stopped				SYSTEM	ZENON_7_10	
28.12.2021 0:31:26	System was started				SYSTEM	ZENON_7_10	
28.12.2021 0:31:26		Power	0.00	kВт			
28.12.2021 0:31:26		Power	2.61	kВт			
28.12.2021 0:33:09	System was stopped				SYSTEM	ZENON_7_10	
28.12.2021 0:33:46	System was started				SYSTEM	ZENON_7_10	
28.12.2021 0:33:46		Power	0.00	kВт			
28.12.2021 0:33:46		Power	2.41	kВт			

Рисунок 4.16 – Зображення хронологічного списку подій

На зображенні хронологічного списку подій відображаються події які виникають під час роботи системи керування зміною матеріального циліндра термопластавтомата.

Розроблене зображення інформаційного списку тривог наведено на рисунку 4.17.

Alarm status	Time received	Time cleared	Variable name	Value	M..
●	>>28.12.2021 0:33:46	<<28.12.2021 0:33:46	Power	0.00	kВт
●	>>28.12.2021 0:33:46		Power	2.41	kВт

Рисунок 4.17 – Зображення інформаційного списку тривог

За для відображення списку тривог використано зображення типа “Alarm message list”. Відповідно до вимог в інформаційному списку тривог записується інформація про досягнення кінцевих точок процесу.

Розроблене програмне забезпечення наводиться в додатку В.

4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення

Перевірка функціонування програмного забезпечення відбувалася шляхом подачі уставки температури 260°C на вхід об’єкта і результати показали, що об’єкт та регулятор адекватно працюють.

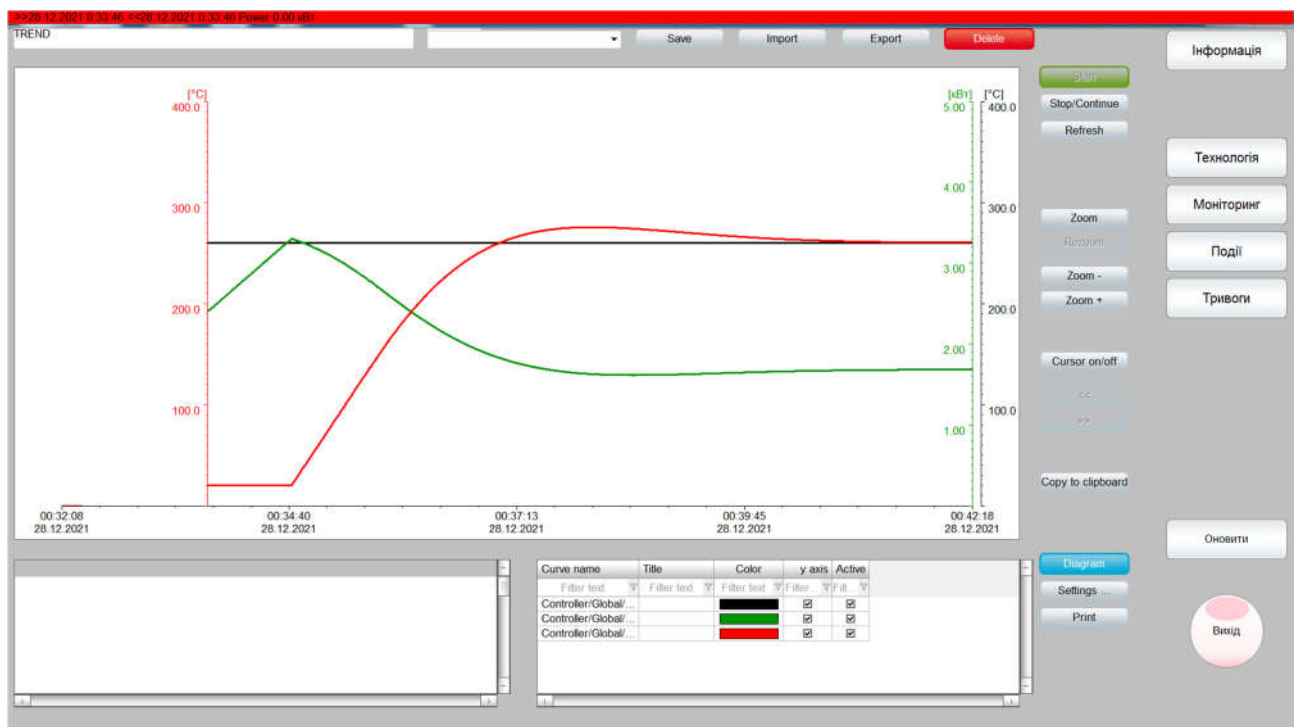


Рисунок 4.18 – Перевірка роботи людино-машиного інтерфейса

Усі кнопки виконують свої функції, на технологічній схемі коректно відображаються усі необхідні дані про стан та роботу системи керування. До списку подій вносяться дані про зміну уставки. Так як система працює згідно з вимог, список тривог порожній.

В результаті проведеної перевірки, можна зробити висновок, що програмне забезпечення ЛМІ функціонує згідно з вимог, та може бути використане на виробництві.

4.5 Висновки по розділу

На базі безперервної моделі системи керування розроблена цифрова модель системи керування. З моделі відокремлені модель об'єкта керування та модель регулятора. За допомогою стандартних засобів математичного пакета MATLAB отримані програмні модулі, які реалізують об'єкт керування та регулятор на мові програмування Structured Text.

На базі програмних модулів розроблено програмне забезпечення системи керування для програмного програмованого логічного контролера zenon Logic який входить до складу SCADA системи zenon.

В SCADA системі zenon розроблено людино машинний інтерфейс, який містить відображення інформації про технологічний процес, зміну температури, хронологічний список подій та інформаційний список тривоги.

Виконано перевірку функціонування програмного забезпечення.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

У роботі розглядається економічна доцільність розробки та впровадження системи керування процесом лиття пластмас під тиском. Розроблену систему передбачається використовувати на промислових підприємствах.

В наш час велика частина використовуваних систем мають локальне призначення. Система керування процесом лиття пластмас під тиском має такі переваги:

- дозволяє підвищити інформативність процесу, що дає передумови до створення повністю автоматизованої системи керування підприємством;
- зменшує витрати на електроенергію;
- збільшую продуктивність виробництва.

Для визначення економічної ефективності удосконалення системи керування процесом лиття пластмас під тиском, зробимо розрахунок величини річного економічного ефекту.

5.1 Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи контролю

Розрахуємо капітальні витрати, пов'язані з виготовленням та впровадженням системи керування процесом лиття пластмас під тиском.

Визначення проектних капітальних витрат проводиться за такою формулою:

$$K_{\text{пр}} = C_{\text{об}} + D_{\text{тр}} + M_{\text{мн}} + K_{\text{пз}} \quad (5.1)$$

де $C_{\text{об}}$ – витрати на комплектуючі вироби;

$D_{\text{тр}}$ – витрати на транспортно-заготівельні витрати;

$M_{\text{мн}}$ – витрати на монтаж і налагодження системи;

$K_{\text{пз}}$ – витрати на програмне забезпечення.

Вартість комплектуючих деталей наведена в таблиці 5.1.

Таблиці 5.1 – Вартість комплектуючих системи

№ п/п	Найменування виробів згідно проектних розробок	Одиниці виміру	Кількість	Оптова ціна за од., грн.	Сума, грн.
1.	ПЛК VIPA System 300S	од.	1	5700	5700
2.	MELA CVR 3/5	од.	3	598,80	1796,4
3.	EJA130A	од.	5	330	1650
4.	SC G240 A101	од.	3	480	1440
5.	KB C2 S11 Lovato electric	од.	1	235	235
6.	Мережевий кабель BUS L2	м.	50	4	200
7.	Панель оператора	од.	1	2500	2500
8.	Блок живлення	од.	1	540	540
Разом					14061,4

Витрати на транспортно-заготівельні і складські витрати визначаються по всіх розділах в залежності від вартості обладнання матеріалів, виробів, конструкцій, беруться 8 % від загальної вартості.

$$D_{\text{тр}} = C_{\text{об}} \times 0,08, \quad (5.2)$$

де, $C_{\text{об}}$ – вартість комплектуючих, грн.

Таким чином витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи складають

$$D_{\text{тр}} = 14061,4 \times 0,08 = 1124,912 \text{ грн}$$

Вартість монтажних-налагоджувальних робіт приймаємо на рівні 7 % від вартості обладнання.

$$M_{\text{МН}} = C_{\text{об}} \times 0,07 \quad (5.3)$$

Витрати на монтажні-налагоджувальні роботи складуть

$$M_{\text{МН}} = 14061,4 \times 0,07 = 984,298 \text{ грн.}$$

5.2 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення

5.2.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення

Трудомісткість розробки програмного забезпечення розраховуються за формулою:

$$t = t_o + t_u + t_a + t_n + t_{om} + t_g \quad (5.4)$$

де t_o - витрати праці на підготовку і опис поставленого завдання;

t_u - витрати праці на дослідження алгоритму рішення завдання;

t_a - витрати праці на обробку блок-схеми алгоритму;

t_n - витрати праці на програмування по готовій блок-схемі;

t_{om} - витрати праці на налаштування програм на ЕОМ;

t_g - витрати праці на підготовку документації по завданню.

Складові витрат праці визначаються на підставі умовного кількості оброблюваних операторів у програмному забезпеченні. До них відносять ті оператори, які необхідно написати в процесі роботи над програмою з урахуванням можливих уточнень в постановці завдання і удосконалення алгоритму.

Умовне кількість операторів у програмі:

$$Q = q \times c(1 + p), \quad (5.5)$$

де q – кількість операторів, які у програмі, приймаємо $q = 60$ (виходячи з ПЗ на мові FBD);

c – коефіцієнт складності програми;

p – коефіцієнт корекції програми в процесі її обробки.

Коефіцієнт складності « c » програми визначає відносну складність програми по відношенню до типового завданням, складність якого відповідає 1.

Приймаємо $c=1,25$

Коефіцієнт коригування програми « p » визначає збільшення обсягу робіт за рахунок внесення змін в алгоритм або програму в результаті уточнення постановки завдання. Величина p приймемо рівною 0,1.

Таким чином, для програми, описаної в дипломному проекті:

$$Q = 60 * 1,25(1+0,1) = 83$$

Оцінка витрат праці на підготовку і опис завдання в даному дипломному проєкті складають 30 люд.-годин.

Витрати праці на вивчення опису завдання визначаються з урахуванням уточнення опису та кваліфікації програміста за формулою:

$$t_u = \frac{Q \cdot B}{(75 \dots 85) \cdot k}, \text{ люд.-годин} \quad (5.6)$$

де B - коефіцієнт збільшення витрат праці приймаємо $B = 1,5$;

k - коефіцієнт кваліфікації програміста, які визначається залежно від стажу роботи за спеціальністю.

У нашому випадку коефіцієнт кваліфікації програміста становить $k=1,2$.

Для розроблювального програмного забезпечення:

$$t_u = \frac{83 \cdot 1,5}{80 \cdot 1,2} = 1,3 \text{ люд.-годин.}$$

Витрати на розробку алгоритму рішення завдання визначаються за формулою:

$$t_a = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k}, \text{ люд.-годин} \quad (5.7)$$

Для розроблювального програмного забезпечення:

$$t_a = \frac{83}{20 \cdot 1,2} = 3,5 \text{ люд.-годин.}$$

Витрати праці на складання програми по готовій блок-схемі алгоритму визначаються за формулою:

$$t_n = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k}, \text{ люд.-годин} \quad (5.8)$$

Для розроблювального програмного продукту:

$$t_n = \frac{83}{20 \cdot 1,2} = 3,5 \text{ люд.-годин.}$$

Витрати праці на налагодження програми на ЕОМ розраховуються за формулою:

$$t_{\text{нал}} = \frac{Q}{(4 \dots 5) k}, \text{ люд.-годин} \quad (5.9)$$

Для конкретного програмного продукту:

$$t_{\text{нал}} = \frac{83}{5 * 1,2} = 14 \text{ люд.-годин.}$$

Витрати праці на підготовку документації по завданню визначаються за формулою:

$$t_{\text{д}} = t_{\text{др}} + t_{\text{до}}, \text{ люд.-год,} \quad (5.10)$$

де $t_{\text{др}}$ – трудомісткість підготовки матеріалів до написання;

$t_{\text{до}}$ – трудомісткість редагування, друку та оформлення документації.

$$t_{\text{др}} = Q / (15 \dots 20) \text{ к,} \quad (5.11)$$

$$t_{\text{др}} = \frac{83}{18 * 1,2} = 4 \text{ люд.-годин.}$$

$$t_{\text{до}} = 0,75 t_{\text{др}}, \quad (5.12)$$

$$t_{\text{до}} = 0,75 * 4 = 3 \text{ люд.-год.}$$

Для програмного забезпечення, що розроблено в дипломній роботі:

$$t_{\text{д}} = 4 + 3 = 7 \text{ люд.-год.}$$

Трудомісткість розробки програмного забезпечення становитиме:

$$t = 30 + 1,3 + 3,5 + 3,5 + 14 + 7 = 59,3 \text{ людино-годин.}$$

5.2.2 Розрахунок витрат на розробку програмного продукту

Витрати на розробку програмного продукту включають витрати на заробітну плату розробника програми $Z_{\text{зп}}$ і вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми на ЕОМ $Z_{\text{мі}}$

$$K_{\text{пз}} = Z_{\text{зп}} + Z_{\text{мі}}, \text{ грн.} \quad (5.13)$$

Заробітна плата розробника програмного забезпечення:

$$Z_{\text{зп}} = t C_{\text{пр}}, \text{ грн.} \quad (5.14)$$

де t – загальна трудомісткість обробки програмного забезпечення;

$C_{\text{пр}}$ – середня годинна тарифна ставка програміста становить:

$$C_{\text{пр}} = 78 \text{ грн./час.}$$

Заробітна плата за розробку програмного забезпечення дорівнює:

$$Z_{\text{зп}} = 59,3 * 78 = 4626 \text{ грн.}$$

Вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми на ЕОМ:

$$Z_{\text{МВ}} = t_{\text{нал}} C_{\text{МЧ}}, \text{ грн.} \quad (5.15)$$

де $t_{\text{отл}}$ – трудомісткість налагодження програми на ЕОМ, людино-годин;

$C_{\text{МЧ}}$ - вартість машино-години ЕОМ, грн. / год. $C_{\text{МЧ}} = 9 \text{ грн. / год.}$

$$Z_{\text{МВ}} = 14 * 9 = 126 \text{ грн.}$$

Витрати на розробку програмного забезпечення системи керування термопластавтоматами становитимуть:

$$K_{\text{ПЗ}} = 4626 + 126 = 4752 \text{ грн.}$$

Певні, таким чином, витрати на створення програмного забезпечення є частиною одноразових капітальних витрат на створення системи керування термопластавтоматами.

Очікувана тривалість розробки програмного забезпечення:

$$T = \frac{t}{B_k \cdot F_p}, \text{ міс.} \quad (5.16)$$

де B_k – кількість розробників, так як програма в дипломній роботі розроблялася однією людиною, то $B_k = 1$;

F_p – місячний фонд робочого часу ($F_p = 176 \text{ годин}$).

Визначимо тривалість розробки ПЗ:

$$T = \frac{59,3}{1 \cdot 176} = 0,34 \text{ міс.}$$

Розрахувавши всі показники, використовуємо формулу 5.1 і розраховуємо капітальні витрати:

$$K_{\text{пр}} = 14061,4 + 1124,9 + 984,3 + 4752 = 20922,6 \text{ грн.}$$

Вартість системи керування що знаходиться в експлуатації становить 16000 грн. Використовувана система в розрахунках прийнята за базовий варіант.

$$\Delta K = K_{\text{пр}} - K_{\text{баз}} = 20922,6 - 16000 = 4922,6 \text{ грн.}$$

5.3 Розрахунок експлуатаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати розраховуються за формулою:

$$C_e = C_a + C_z + C_c + C_{p.o.} + C_{ee} + C_{ини} , \quad (5.17)$$

де C_e - річні поточні витрати, пов'язані із застосуванням системи керування термопластавтоматами;

C_a – амортизація основних фондів;

C_z – заробітна плата обслуговуючого персоналу;

C_c – відрахування на соціальні заходи;

$C_{p.o.}$ – витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання та мережі;

C_{ee} – вартість електроенергії;

$C_{ини}$ – інші витрати.

5.3.1 Амортизація основних фондів

Обладнання, розробленої в дипломній роботі системи керування термопластавтоматами, належить до 4 групи за нормами нарахування амортизації основних фондів. Передбачуваний термін експлуатації системи становить 5 років. При використанні методу прискореного зменшення залишкової вартості норма амортизації визначається за формулою:

$$H_a = (2 / T) * 100\% \quad (5.18)$$

T – термін корисного використання об'єкта;

H_a – норма амортизації;

$$C_a = (ПВ * H_a) / 100\%, \quad (5.19)$$

C_a – амортизація основних фондів (річна);

$ПВ$ – первинна вартість, дорівнює капітальним витратам $ПС = K$;

Отже, норма амортизації для проектованої системи складе:

$$H_a = (2/5) * 100\% = 40\%$$

Сума амортизації для проектованої і базової системи становитиме:

$$C_{a.пр} = (20922,6 * 40\%) / 100\% = 8369,04 \text{ грн.}$$

$$C_{a.баз} = (16000 * 40\%) / 100\% = 6400 \text{ грн.}$$

5.3.2 Розрахунок фонду заробітної плати

Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника:

$$T_{ном.рік} = (T_k - T_{вих.св} - T_{відп}) * T_{зм}, \text{ ГОДИН} \quad (5.20)$$

де, T_k – календарний фонд робочого часу, 365 днів;

$T_{вих.св}$ – вихідні дні та свята, 114 дні;

$T_{відп}$ – відпустка, 21 день;

$T_{зм}$ – тривалість зміни, 8 год.

Таким чином, річний фонд робочого часу працівника складе:

$$T_{ном.рік} = (365 - 114 - 21) * 8 = 1840 \text{ годин}$$

Для керування процесом задіяні 2 оператори процесу, 2 технологи і 1 налагоджувальник електроустаткування.

Після впровадження проектованої системи керування штат персоналу не зміниться, отже заробітна плата і відрахування на соціальні заходи будуть однакові.

Розрахунок річного фонду заробітної плати виробничих робітників здійснюється у відповідності з формою, наведеною в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Розрахунок заробітної плати персоналу

№ п/п	Найменування професії робітників	Число працюючих, чол		Годинна тарифна ставка, грн. / ч.	Номінальний річний фонд робочого часу (годину)	Пряма заробітна плата, грн.	Додаткова заробітна плата (10%), грн.	Доплати (7%), грн.	Всього заробітна плата, грн.
		яв.	сп.						
1	Оператор процесу	2		30	1840	110400	11040	7728	129168
2	Технолог	2		28	1840	103040	10304	7212,8	120557
3	Наладчик електроустаткув.	1		32	1840	58880	5888	4121,6	68889,6
	Разом								318614,4

$$C_{з.пр} = C_{з.баз} = 318614,4 \text{ грн.}$$

5.3.3 Відрахування на соціальні заходи

Відрахування на соціальні заходи визначаються за формулою:

$$C_c = 0,36 * C_3 \quad (5.21)$$

$$C_{c.пр} = C_{c.баз} = 0,36 * 318614,4 = 114701,18 \text{ грн.}$$

5.3.4 Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт

Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання та мережі приймаємо на рівні 5% від величини капітальних витрат:

$$C_{то.тр} = 0,05 \cdot K \quad (5.22)$$

$$C_{р.о.пр} = 0,05 * 20922,76 = 1046,14 \text{ грн.}$$

$$C_{р.о.баз} = 0,05 * 16000 = 800 \text{ грн.}$$

5.3.5 Витрати на електроенергію

Розрахуємо вартість електроенергії, споживаної системою, розробленої у проекті:

$$C_{ee} = K_e * K_{др} * ds * T \quad (5.23)$$

де K_e – кількість електроенергії, спожите проектованої системою за годину, 0,4 кВт * год;

$K_{др}$ – кількість робочих днів у році, $K_{др} = 365 - 114 = 251$ день;

ds – тривалість зміни, 8 годин;

T – тариф на електроенергію для підприємств (Для користувачів електроенергії 2 класу тариф складає 2,01 грн. за кВт з ПДВ).

$$C_{ee.пр} = 0,4 * 251 * 8 * 2,01 = 1614,43 \text{ грн.}$$

Кількість електроенергії, спожите системою, що знаходиться в експлуатації – 0,5 кВт * год

$$C_{ee.баз} = 0,5 * 251 * 8 * 2,01 = 2018,04 \text{ грн.}$$

5.3.6 Інші витрати

Інші витрати з експлуатації об'єкта проектування включають витрати з охорони праці, на спецодяг та інше згідно практики, ці витрати визначаються в розмірі 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу:

$$C_{\text{інш}} = C_3 \cdot 0,04 \text{ грн.} \quad (5.24)$$

$$C_{\text{інш.пр}} = C_{\text{інш.баз}} = 318614,4 \cdot 0,04 = 12744,58 \text{ грн.}$$

За формулою 5.17 розраховуємо річні експлуатаційні витрати для проектного та базового варіантів:

$$C_{\text{пр}} = 8369,10 + 318614,4 + 114701,18 + 1046,14 + 1614,43 + 12744,58 = 457089,83 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{баз}} = 6400 + 318614,4 + 114701,18 + 800 + 2018,04 + 12744,58 = 455278,2 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.3 – Експлуатаційні витрати

Назва показника	Базовий варіант	Проектний варіант
Амортизація	6400	8369,10
Фонд заробітної плати	318614,4	318614,4
Відрахування на соц. виплати	114701,18	114701,18
Ремонт та тех. обслуговування	800	1046,14
Електроенергія	2018,04	1614,43
Інше	12744,58	12744,58
Загалом	455278,2	457089,83

Таким чином, економія експлуатаційних витрат, при впровадженні системи контролю становитиме

$$C = C_{\text{пр}} - C_{\text{баз}} = 457089,83 - 455278,2 = 1811,63 \text{ грн.}$$

5.4 Визначення додаткового прибутку від впровадження системи керування

Середньодобового збільшення виходу готової продукції при впровадженні розробленої системи контролю складе 5%, за рахунок зниження простоїв обладнання.

Визначимо додатковий прибуток від впровадження проекрованої системи контролю:

$$\Delta\Pi = (C_{\text{пр.}} - S_{\text{пр.}}) \times Q_{\text{пр.}} - (C_{\text{баз.}} - S_{\text{баз.}}) \times Q_{\text{баз.}}$$

де $S_{пр.}$, $S_{баз.}$ – Собівартість одиниці продукції за проектним і базовим варіантами, грн. / од.;

$C_{пр.}$, $C_{баз.}$ – Ціна за одиницю продукції, грн., з урахуванням торгової надбавки 20% складе 96 грн.;

$Q_{пр.}$, $Q_{баз.}$ – обсяг виробництва продукції, од. На даний момент продуктивність проекрованої системи становить 400 од. на день. При 8 годинній зміні і 251 робочому дні обсяг виробленої продукції складе:

$$Q_{баз.} = 400 * 251 = 100400 \text{ од./рік.}$$

При впровадженні системи керування:

$$Q_{пр.} = 1,05 * 400 * 251 = 105420 \text{ од. / рік}$$

Додатковий прибуток від впровадження системи керування

$$\Delta\Pi = (96 - 80) * 105420 - (96 - 80) * 100400 = 80320 \text{ грн.}$$

5.5 Оцінка економічної ефективності проекту

Визначимо показники економічної ефективності проекрованої системи керування термопластавтоматами:

– річний економічний ефект:

$$E = \Delta\Pi - \Delta C - \Delta K * E_{\pi} > 0 \quad (5.26)$$

– економічна ефективність:

$$E_{\Gamma} = \Delta\Pi - \Delta C \quad (5.27)$$

– і термін окупності розробки:

$$T_{ок} = \Delta K / E_{\Gamma} \quad (5.28)$$

$$E_{\pi} = (N_{кр} - N_{инф}) / 100 \quad (5.29)$$

де, $N_{кр}$ – річна процентна ставка, %;

$N_{инф}$ – річний рівень інфляції, %.

В якості нормативного значення приймемо величину банківської кредитної ставки $N_{кр}$ (19%) з урахуванням інфляції $N_{инф}$ (11,4%), тобто:

$$E_{\pi} = (19 - 11,4) / 100 = 0,08$$

$$E = 80320 - 1811,63 - 0,076 * 4922,6 = 78134,25 \text{ грн.}$$

$$E_T = 80320 - 1811,63 = 78508,37 \text{ грн.}$$

$$T_{ок} = 4922,6 / 78508,37 = 0,06 \text{ року}$$

Коефіцієнт ефективності (прибутковості) капітальних витрат ϵ показує, скільки гривень додаткового прибутку (економії) приносить одна гривня капітальних витрат:

$$\epsilon = E_T / \Delta K \quad (5.30)$$

Коефіцієнт ефективності становить:

$$\epsilon = 78508,37 / 4922,6 = 15,94$$

Отже, при впровадженні системи керування процесом лиття пластмас під тиском 1 грн. капітальних витрат приносить 15,94 грн. прибутку.

Економічні показники, що характеризують ефективність створення і використання розробленого проекту системи керування процесом лиття пластмас під тиском відображені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Економічні показники

Найменування показників	Од. вимірювання	Показники базового варіанту системи	Показники проектного варіанту системи
Капітальні витрати	грн.	16000	20922,6
Експлуатаційні витрати, всього	грн.	455278,2	457089,83
В тому числі: - амортизація	грн.	6400	8369,10
- заробітна плата обслуговуючого персоналу	грн.	318614,4	318614,4
- відрахування на соціальні заходи	грн.	114701,18	114701,18
- технічне обслуговування та поточний ремонт системи керування	грн.	800	1046,14
- вартість споживаної електроенергії	грн.	2018,04	1614,43
- інші витрати	грн.	12744,58	12744,58
Додатковий прибуток	грн.	-	80320
Річний економічний ефект	грн.	-	78134,25
Коефіцієнт ефективності			15,94
Термін окупності капітальних вкладень	р	-	0,06

Висновок

При впровадженні проектової системи капітальні витрати 20922,6 грн. Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи 457089,83 грн.

Виходячи з отриманих результатів, можна зробити висновок, що впровадження проектової системи економічно вигідно.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У роботі розробляється системи керування процесом лиття пластмас під тиском. На різних технологічних процесах у цеху використовують різноманітне технологічне обладнання: термопластавтомати, шнекові дозатори, сушильні камери. При використанні системи керування термопластавтоматами на робітників можуть впливати шкідливі та небезпечні фактори.

6.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів

Термопластавтомати при неправильній установці і експлуатації можуть служити джерелом безпеки для обслуговуючого персоналу, тому слід ретельно дотримуватися правил їх монтажу, пуску та експлуатації, запобігаючи небезпеці своєчасним здійсненням необхідних технічних і організаційних заходів.

Об'єктом дослідження в кваліфікаційній роботі магістра є приміщення операторського пункту. Приміщення має одні двері й два віконні прорізи. Двері начіпні, неспаленні, виготовлені з листової сталі. У приміщенні внутрішніх перегородок немає. Стіни й потовк побілені, вікна закриті білими алюмінієвими жалюзьями, підлога покрита ламінатом. Усередині приміщення розташовані чотири робочі місця, що представляють собою робочий стіл і персональний комп'ютер на ньому. Приміщення має пожежну сигналізацію.

По небезпеці поразки електричним струмом приміщення належить до приміщень із підвищеною безпекою, тому що існує можливість одночасного дотику до опалювальних батарей приміщення, з'єднаних із землею, і корпусам електричних апаратів. [16]

У приміщенні операторського пункту присутні наступні шкідливі й небезпечні фактори:

- небезпека поразки електричним струмом при контакті зі струмоведучими проводами, корпусами електроустаткування, при переміщенні по виробничому приміщенню, і корпусами ЕОМ, що опинилися під напругою в результаті пробую ізоляції;
- недостатня освітленість робочого місця, що призводить до зорового стомлення користувачів ПК;
- небезпека загоряння.

6.2 Інженерно-технічні заходи щодо охорони праці в приміщенні операторського пункту

Відповідно до правил і вимог по безпеці й охороні праці розроблені методи усунення шкідливих та небезпечних факторів.

Для забезпечення приміщення електричною енергією до нього підведена чотирьохпровідна трифазна електрична мережа 50 Гц і напругою 380/220В з глухо заземленою нейтраллю.

В основному в приміщенні розташовані споживачі з напругою 220В. Майже всі електричні розетки, розташовані по периметру приміщення мають напруга 220В.

Більшість споживачів електричної енергії (системні блоки персональних комп'ютерів, блоки живлення), у яких є ймовірність пробую електричної фази на корпус, являють собою значну небезпеку для здоров'я й життя людей, які працюють із ними. Небезпека, яка несе кожний з перерахованих вище пристроїв в аварійному режимі, можна усунути. Тому що в мережах із глухо заземленої нейтраллю напругою до 1000В захисне заземлення не ефективно (струм глухого замикання на землю залежить від опору заземлителя), те безпека забезпечується зануленням, зменшуючи тривалість режиму замикання на корпус. Для цього прокладається нульове проведення, яке з'єднується із глухо заземленої нейтраллю джерела, до якого й приєднують металеві корпуси всіх потенційних споживачів. При замиканні на корпус електроустановка переходить у режим короткого замикання, у результаті чого спрацьовує

максимальний струмовий захист, який селективно відключає ушкоджену ділянку мережі. Крім того, занулення знижує потенціали корпусів, які з'являються в момент замикання на землю.

Струмовий захист реалізований з використанням автоматів, які розривають електричну мережу при високих струмових навантаженнях. У приміщенні є один центральний автомат, який дозволяє знеструмити все приміщення. При замиканні фази на корпус одного з комп'ютерів, відбувається відключення від мережі всіх споживачів.

У цілому для забезпечення електробезпечності в приміщенні необхідно регулярно проводити інструктажі й перевірки всіх співробітників щодо знання техніки безпеки.

6.3 Розрахункова частина

Розрахунок заземлення [17]

Підприємство розташоване в м. Дніпро, III – я кліматична зона. Грунт на місці розташування цеху однорідний, пісок. Додатково в якості заземлення використовується водопровід з опором розтіканню 7 Ом

Приміщення цеху: довжина 24м., ширина 18м., висота стель 6м. Цех живиться від мережі 380/220В, має глухозаземлену нейтраль.

Характеристики електродів для проектного заземлювача. Вертикальні електроди – сталевий прут довжиною 3м і діаметром 16мм, горизонтальні електроди сталева смуга шириною 50мм.

Для заземлення ухвалюємо контурний тип заземлюючого пристрою. Глибина занурення електродів у землю 0,7 м.

Попередня схема заземлювача наведено на рисунку 6.1

Виходячи з попередньої схеми заземлювача необхідно $n=35$ вертикальних електродів і $L_{\Gamma}=5*22+7*16=222\text{м}$.

Визначимо необхідний опір штучних заземлювачів

$$R_u = \frac{R_l \cdot R_{ПВЭ}}{R_l - R_{ПВЭ}}, \text{ Ом.} \quad (6.1)$$

Rl – опір розтіканню природних заземлювачів

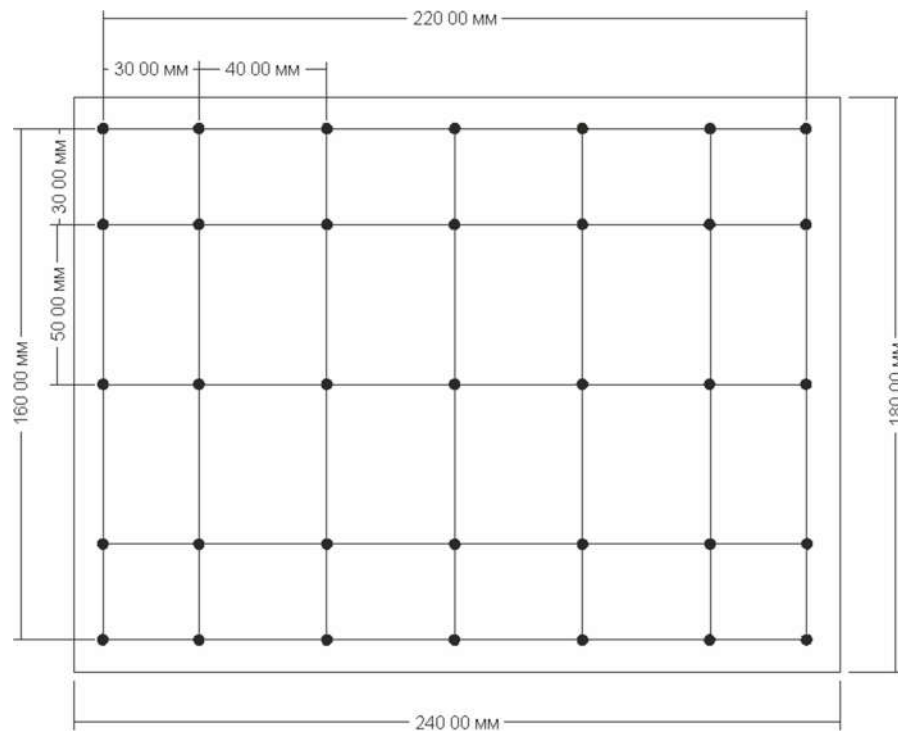


Рисунок 6.1 – Попередня схема заземлювача

$R_{\text{ПУЭ}}$ – припустимий опір розтіканню заземлюючого пристрою, згідно ПУЕ. [9, табл. 3.2], $R_{\text{ПУЭ}} = 4 \text{ Ом}$.

$$R_u = \frac{7 * 4}{7 - 4} = 9,33 \text{ Ом}$$

Наближене (вимірюване значення питомого електричного опору ґрунту: для піску – $\rho_{\text{изм.}} = 500 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Визначимо розрахунковий питомий опір ґрунту

$$\rho_{\text{рас.}} = \rho_{\text{изм.}} \cdot \psi, \text{ Ом} \cdot \text{м}, \quad (6.2)$$

де ψ – коефіцієнт сезонності для вертикальних і горизонтальних електродів при однорідному ґрунті [9, табл. 3.4]

Для вертикального електрода довжиною 3м при нормальній вологості питомий опір $\psi = 1.3$, для горизонтального електрода довжиною 50м питомий опір $\psi = 2.0$.

$$\rho_{\text{рас.вир}} = 400 * 1,3 = 520 \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

$$\rho_{рас.зир} = 400 \cdot 2 = 800 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Визначимо опір вертикального заземлювача:

$$R_g = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right), \text{ Ом.}$$

l – довжина електрода, м;

t – відстань від поверхні землі до середини електрода, м.

$$R_g = \frac{520}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0,016} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2,2 + 3}{4 \cdot 2,2 - 3} \right) = 27,59(5,93 + 0,36) = 173,54 \text{ Ом.}$$

Опір горизонтального заземлювача, протягнутого на глибині 0,7м від поверхні землі (ширина смуги $a=50\text{мм}$, $d=0.5a$ і $l=222\text{м.}$) складе:

$$R_z = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \ln \frac{l^2}{d \cdot t}, \text{ Ом.}$$

$$R_z = \frac{800}{2 \cdot 3,14 \cdot 222} \ln \frac{222^2}{0,025 \cdot 0,7125} = 0,573 \cdot 14,83 = 8,5 \text{ Ом}$$

Розрахунковий опір заземлювача складе:

$$R = \frac{R_g \cdot R_z}{R_g \cdot \eta_z + R_z \cdot \eta_g \cdot n}, \text{ Ом.}$$

$$R = \frac{173,54 \cdot 8,5}{173,54 \cdot 0,22 + 8,5 \cdot 0,41 \cdot 35} = \frac{1475,09}{160,15} = 9,21 \text{ Ом}$$

У такий спосіб:

При $R_u = 9,33 \text{ Ом} > R = 9,21 \text{ Ом}$ умова роботи контуру заземлення виконується.

6.4 Пожежна безпека

Ступінь вогнестійкості даного приміщення В-Іа. Основним засобом запобігання пожеж і вибухів від електроустаткування є правильний вибір і експлуатація встаткування. [18,19]

Приміщення, у яких розташовуються ЕОМ, повинні бути не нижче II ступеня вогнестійкості.

У приміщеннях з ЕОМ повинні бути медичні аптечки першої допомоги. Приміщення повинне бути оснащене системою автоматичної пожежної сигналізації відповідно вимогам переліку однотипних по призначенню об'єктів, які підлягають устаткуванню автоматичними установками пожежогасіння й пожежної сигналізації, з димовими пожежними сповіщувачами й переносними вуглекислотними вогнегасниками з розрахунків 2 шт. на кожні 20м² площі приміщення з обліком гранично допустимих концентрацій огнетушачей рідини відповідно вимогам Правил пожежної безпеки в Україні. В інших приміщеннях допускається встановлювати теплові пожежні сповіщувачі.

У якості засобу пожежогасіння використовуються вуглекислотні вогнегасники ОУ-5. Вогнегасник ОУ-5 (вуглекислотний) переносною місткістю балона 5 літрів (3,5 кілограма), призначений для гасіння загоряння різних речовин, горіння яких не може відбуватися без доступу повітря, загоряння на електрифікованому залізничному транспорті, електроустановок, що перебувають під напругою не більш 10кВ, загоряння в музеях, картинних галереях і архівах, широке поширення в офісних приміщеннях при наявності оргтехніки, а так само в житловому секторі. Перевагою вуглекислотних вогнегасників є відсутність слідів гасіння тому що вуглекислота після використання не залишає слідів і бруду. Вогнегасники не призначені для гасіння загоряння речовин, горіння яких може відбуватися без доступу повітря (алюміній, магній і їх сплави, натрій, калій).

Підходи до засобів пожежогасіння повинні бути вільними. У приміщенні передбачено 2 евакуаційних виходи.

При експлуатації встаткування неприпустимим вважається:

- експлуатація кабелів і проводів з ушкодженої або такої, яка втратила захисні властивості за час експлуатації, ізоляцією; залишення під напругою кабелів і проводів з неізольованими провідниками;
- застосування для опалення приміщення нестандартного (саморобного) електронагрівального встаткування або ламп розжарювання;

- використання електроапаратури й приладів в умовах, які не відповідають вказівкам (рекомендаціям) підприємств-виробників.

6.5 Безпека при надзвичайній ситуації

Цех перебуває в промисловій зоні міста Дніпро. Як промислове підприємство, цех може бути підданий надзвичайним ситуаціям:

- пожежа на території підприємства;
- вибухи на території підприємства
- терористичні акти й диверсії на території підприємства;
- розлив АХОВ на території підприємства;
- природні надзвичайні ситуації (ураган, повінь, снігопад).

При погіршенні обстановки й одержанні інформації про небезпеку або загрозу виникнення НС тимчасово припинити виконання повсякденних завдань і зосередити всі сили й засоби на виконанні робіт із запобігання або зменшення наслідків виниклої загрози.

Заходи при надзвичайній ситуації виконуються відповідно до таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Заходи при виникненні ЧС

№п.п.	Захід	Час виконання
1.	Оповіщення	У плинні 2-5 хвилин, після виникнення НС
2.	Зупинка роботи	5-15 хвилин після оповіщення про НС
3.	Видача засобів індивідуального захисту	1-3 хвилини після оповіщення про НС
4.	Евакуація персоналу	3-5 хвилин після зупинки встаткування

Всі співробітники підприємства повинні вживати заходи по збереженню матеріальних цінностей при загрозі або виникненні НС.

У період поведінки заходів щодо захисту від НС або ліквідації їх наслідків повинні ухвалюватися заходи щодо запобіганню або зменшенню можливих матеріальних збитків, по охороні майна й устаткування.

ВИСНОВКИ

Актуальність роботи полягає в тому, що розробка нової системи керування процесом лиття пластмас під тиском, згідно з висунутими вимогами щодо якості та часу перехідного процесу, зменшить вплив основних недоліків машини лиття пластмас під тиском, забезпечить досконале керування об'єктом.

В кваліфікаційній роботі проведено аналіз технологічного процесу лиття пластмас під тиском та розглянуто роботу об'єкта.

Відповідно до вимог до системи керування виконаний вибір апаратного забезпечення системи керування технологічним устаткуванням. Автоматизована система керування побудована на базі програмованого логічного контролера VIPA

Була використана модель об'єкта керування, отримана в кваліфікаційній роботі бакалавра.

В результаті проведених досліджень було отримано модель СК визначено граничні показники, межах якої повинна відповідати розроблена система керування, було отримано модель системи керування, визначено структуру та параметри регулятора, оцінено роботу системи згідно з висунутими критеріями.

Було розроблено ЛМІ, що дозволяє спостерігати за зміною температури в протягом всього процесу, та перевірено його функціональність, яка відповідає поставленим вимогам.

Також було визначено економічні показники ефективності впроваджуваної системи, розглянуті шкідливі та небезпечні фактори при експлуатації системи керування та розроблено ряд заходів з охорони праці.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кулезнев, В.Н. Основы технологии переработки пластмасс [Текст] / В.Н. Кулезнев, В.К. Гусев. -М.: Мир, 2006. – 600с.
2. Суберляк О. В. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів : підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] [Текст]/ О. В. Суберляк, П. І. Баштанник. — Львів : Растр-7, 2007. — 375 с. — ISBN 978-966-2004-01-4
3. Лиття пластиків під тиском. Матеріал з Вікіпедії: [сайт]. – Режим доступу:https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D1%82%D1%82%D1%8F_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D1%96%D0%B2_%D0%BF%D1%96%D0%B4_%D1%82%D0%B8%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BC (дата звернення 24.11.2021)
4. Машины для лиття пластиків під тиском (Термопластавтомати та ручні) <https://koloro.ua/ua/blog/3d-tekhnologii/mashiny-dlya-litya-plastmass-pod-davleniem-termoplastavtomaty-i-ruchnye.html> (дата звернення 28.11.2021)
5. Термопластавтомат. Матеріал з Вікіпедії: [сайт]. – Режим доступу:<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%BE%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82> (дата звернення 28.11.2021)
6. Оленев Б.А. Проектирование производств литья под давлением термопластов [Текст]/ Б.А. Оленев, Е.М. Морднович, В.Ф. Кальнин – М: Химия, 1985 – 342 с.
7. Ким В.С. Оборудование подготовительного производства заводов пластмасс [Текст]/ В.С. Ким, В.В. Скачков – М: Машиностроение, 1977 – 183 с.
8. SCADA. Матеріал з Вікіпедії: [сайт]. – Режим доступу:<https://uk.wikipedia.org/wiki/SCADA> (дата звернення 28.11.2021)
9. Изерман Р. Цифровые системы управления. [Текст] — М. : Мир, 1984. — 541 с.

10. Принцип максимума Понтрягина в задаче с временным запаздыванием <http://mech.math.msu.su/~fpm/ps/k09/k095/k09501.pdf> (дата звернення 28.11.2021)
11. Зимін Є.М. Електрообладнання промислових підприємств та установок у машинобудуванні. [Текст] - М.: Енергія, 1987 - 526с.
12. СВО ИГУ НМЗ-05. Нормативно-методичне забезпечення навчального процесу [Текст] / Упоряд.: В.О. Салов, Т.В. Журавльова, О.М. Кузьменко та ш. -Д.: Національний гірничий університет, 2005. - 138 с.
13. Леонтьєв А.Г. Мікропроцесорні електромеханічні системи. Навч.посібник. [Текст] - СПбГТУ, ФТК, 1998, 109с.
14. Єлізаров І.А. Технічні засоби автоматизації. Програмно-технічні комплекси та контролери. [Текст] М. 2004. 180 с.
15. Бойко О.О. Методичні вказівки до лабораторних робіт з теорії автоматичного керування для студентів напрямку підготовки «Комп'ютерна інженерія» [Текст] / Укл.: О.О. Бойко – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2017.
16. ДСТУ-Н Б А 3.2-1:2007. [Текст] Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва.
17. Охорона праці в галузі. Конспект лекцій для студентів Інституту електроенергетики [Текст] / Уклад.: В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. – Д. : Національний гірничий університет, 2013. – 84 с.
18. ДСТУ 8828:2019 [Текст] Пожежна безпека. Загальні положення.
19. ДСТУ EN 60079-0:2017 [Текст] Вибухонебезпечні середовища. Устаткування. Загальні вимоги.

Додаток А

Програмні модулі системи керування

А.1 Модуль об'єкта керування

```

(*)
*
* File: Subsys.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"Subsys/Object"
*
* Model name                : Subsys
* Model version              : 1.48
* Model creator              : comp
* Model last modified by    : comp
* Model last modified on    : Sun Dec 19 03:10:15 2021
* Model sample time         : 0s
* Subsystem name            : Subsys/Object
* Subsystem sample time     : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on      : Sun Dec 19 03:11:00 2021
*
* Target IDE selection      : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included       : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK Object
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    bi_Power: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_Temperature: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTransferFcn_states: LREAL;
    Delay_DSTATE: ARRAY [0..499] OF LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    k: DINT;
    i: DINT;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:
        (* InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay' *)
        FOR i := 0 TO 499 DO
            Delay_DSTATE[i] := 0.0;
        END_FOR;
        (* End of InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay' *)

```

```

    (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn:
'<S1>/Discrete Transfer Fcn' *)
    DiscreteTransferFcn_states := 0.0;
    SS_STEP:

    (* Outport: '<Root>/bo_Temperature' incorporates:
    * Constant: '<S1>/Початкова температура'
    * Delay: '<S1>/Delay'
    * Sum: '<S1>/Sum2' *)
    bo_Temperature := 20.0 + Delay_DSTATE[0];

    (* Update for Delay: '<S1>/Delay' incorporates:
    * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn' *)
    FOR k := 0 TO 498 DO
        Delay_DSTATE[k] := Delay_DSTATE[k + 1];
    END_FOR;
    Delay_DSTATE[499] := 0.09997 * DiscreteTransferFcn_states;
    (* End of Update for Delay: '<S1>/Delay' *)

    (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer
Fcn' incorporates:
    * Update for Inport: '<Root>/bi_Power' *)
    DiscreteTransferFcn_states := bi_Power - (-0.9993 *
DiscreteTransferFcn_states);
END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK
VAR_GLOBAL CONSTANT
    SS_INITIALIZE: SINT := 0;
    SS_STEP: SINT := 1;
END_VAR
VAR_GLOBAL
END_VAR

```

A.2 Модуль регулятора

```

(*)
*
* File: Subsys.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"Subsys/Controller"
*
* Model name                : Subsys
* Model version              : 1.48
* Model creator              : comp
* Model last modified by    : comp
* Model last modified on    : Sun Dec 19 03:10:15 2021
* Model sample time         : 0s
* Subsystem name            : Subsys/Controller
* Subsystem sample time     : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013

```

```

* ST code generated on           : Sun Dec 19 03:11:43 2021
*
* Target IDE selection           : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included            : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK Controller
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    bi_Error: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_Power: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTimeIntegrator_DSTATE: LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    rtb_u_f: LREAL;
    rtb_u: LREAL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:

        (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator:
'<S1>/Discrete-Time Integrator' *)
        DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := 0.0;
        SS_STEP:

            (* Gain: '<S1>/Kp' incorporates:
            * DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator'
            * Inport: '<Root>/bi_Error'
            * Sum: '<S1>/Sum8' *)
            rtb_u_f := (DiscreteTimeIntegrator_DSTATE + bi_Error) *
0.01;

            (* Saturate: '<S1>/Обмеження керуючого впливу' *)
            IF rtb_u_f >= 5.0 THEN
                rtb_u := 5.0;
            ELSIF rtb_u_f > 0.0 THEN
                rtb_u := rtb_u_f;
            ELSE
                rtb_u := 0.0;
            END_IF;
            (* End of Saturate: '<S1>/Обмеження керуючого впливу' *)

            (* Outport: '<Root>/bo_Power' *)
            bo_Power := rtb_u;

            (* Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time
Integrator' incorporates:
            * Gain: '<S1>/Ti'
            * Inport: '<Root>/bi_Error'

```

```
      * Sum: '<S1>/Sum6'
      * Sum: '<S1>/Sum7' *)
      DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := (((rtb_u - rtb_u_f) +
(0.00666666666666666671 * bi_Error)) * 0.1) +
DiscreteTimeIntegrator_DSTATE;
END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK
VAR_GLOBAL CONSTANT
    SS_INITIALIZE: SINT := 0;
    SS_STEP: SINT := 1;
END_VAR
VAR_GLOBAL
END_VAR
```

Додаток Б

Програмне забезпечення системи керування

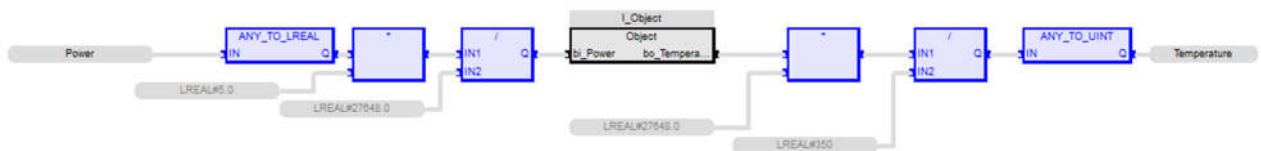
Б.1 Програмне забезпечення об'єкта

Б.1.1 Список програм

[FBD] Main

[ST] Object

Б.1.2 Основна програма



Б.1.3 Користувацький блок

```
(* Output: '<Root>/bo_Temperature' incorporates:
 * Constant: '<S1>/Початкова температура'
 * Delay: '<S1>/Delay'
 * Sum: '<S1>/Sum2' *)
bo_Temperature := LREAL#20.0 + Delay_DSTATE[0];
(* Update for Delay: '<S1>/Delay' incorporates:
 * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn' *)
FOR k := 0 TO 498 DO
    Delay_DSTATE[k] := Delay_DSTATE[k + 1];
END_FOR;
Delay_DSTATE[499] := LREAL#0.09997 *
DiscreteTransferFcn_states;
(* End of Update for Delay: '<S1>/Delay' *)
(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer
Fcn' incorporates:
 * Update for Inport: '<Root>/bi_Power' *)
DiscreteTransferFcn_states := bi_Power - (LREAL#-0.9993 *
DiscreteTransferFcn_states);
```

Б.1.4 Перелік змінних

```
VAR_INPUT
    bi_Power: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_Temperature: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTransferFcn_states: LREAL;
```



```

Delay_DSTATE: ARRAY [0..499] OF LREAL;
k: DINT;
i: DINT;
END_VAR

```

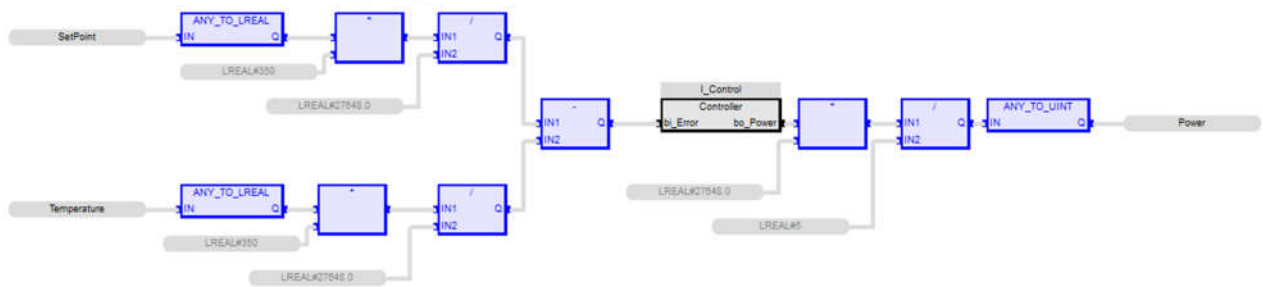
Б.2 Програмне забезпечення регулятора

Б.2.1 Список програм

[FBD] Main

[ST] Controller

Б.2.2 Основна програма



Б.2.3 Користувацький блок

```

(* Gain: '<S1>/Kp' incorporates:
 * DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator'
 * Inport: '<Root>/bi_Error'
 * Sum: '<S1>/Sum8' *)
rtb_u_f := (DiscreteTimeIntegrator_DSTATE + bi_Error) *
LREAL#0.01;

(* Saturate: '<S1>/Обмеження керуючого впливу' *)
IF rtb_u_f >= LREAL#5.0 THEN
    rtb_u := LREAL#5.0;
ELSIF rtb_u_f > LREAL#0.0 THEN
    rtb_u := rtb_u_f;
ELSE
    rtb_u := LREAL#0.0;
END_IF;
(* End of Saturate: '<S1>/Обмеження керуючого впливу' *)

(* Outport: '<Root>/bo_Power' *)
bo_Power := rtb_u;

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time
Integrator' incorporates:
 * Gain: '<S1>/Ti'
 * Inport: '<Root>/bi_Error'
 * Sum: '<S1>/Sum6'
 * Sum: '<S1>/Sum7' *)
DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := (((rtb_u - rtb_u_f) +
(LREAL#0.00666666666666666671 * bi_Error)) * LREAL#0.1) +
DiscreteTimeIntegrator_DSTATE;

```

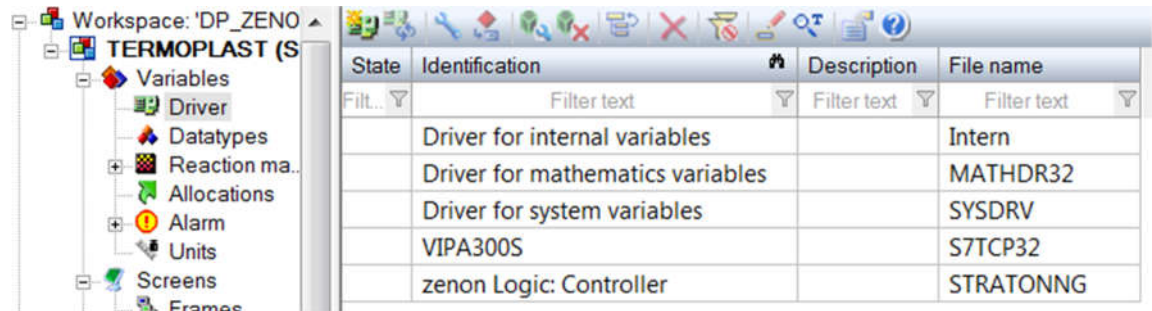
Б.2.4 Перелік змінних

```
VAR_INPUT
  bi_Error: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
  bo_Power: LREAL;
END_VAR
VAR
  DiscreteTimeIntegrator_DSTATE: LREAL;
  rtb_u_f: LREAL;
  rtb_u: LREAL;
  END_VAR
```

Додаток В

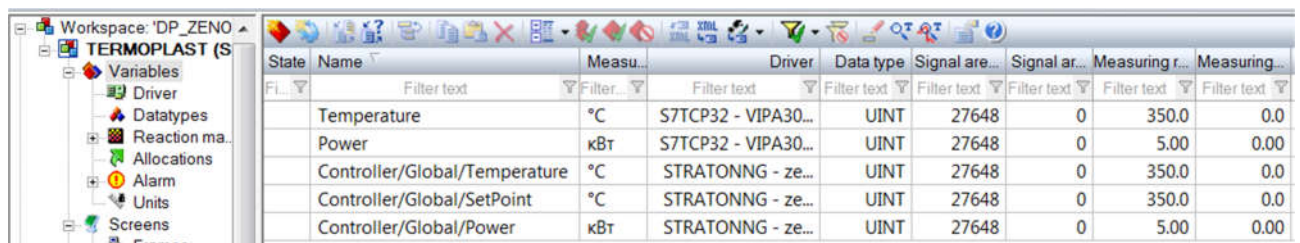
Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу

В.1 Драйвера



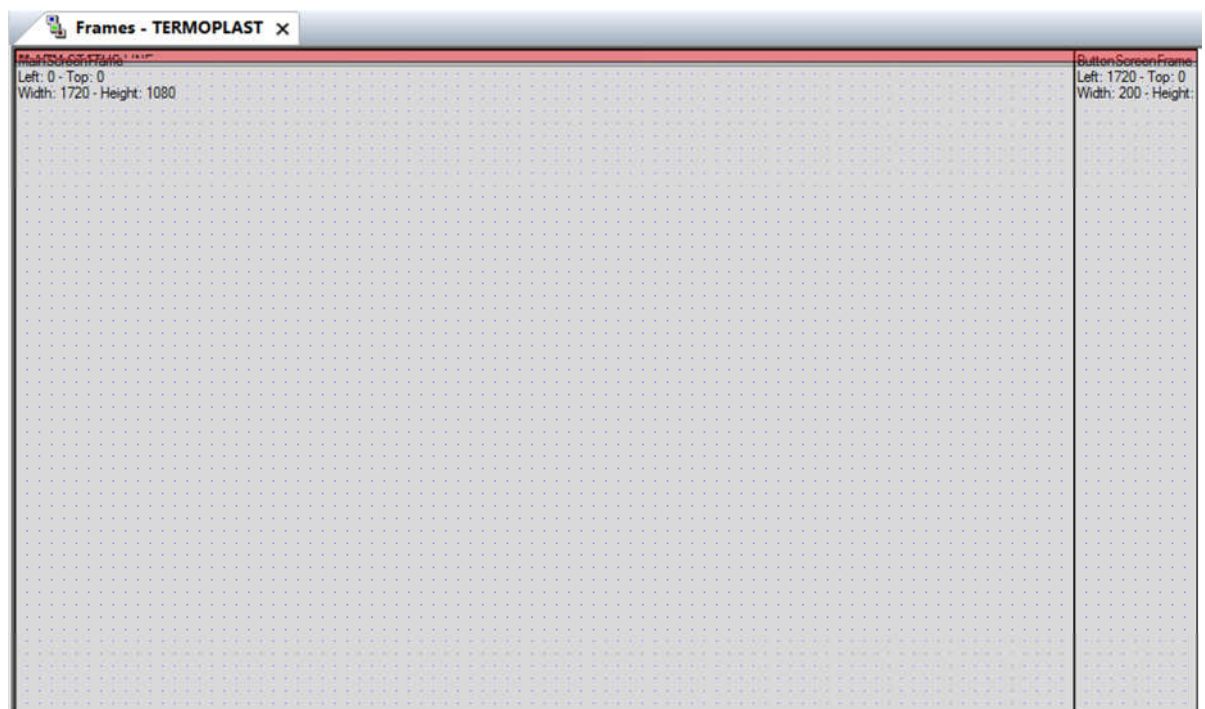
State	Identification	Description	File name
Filter...	Filter text	Filter text	Filter text
	Driver for internal variables		Intern
	Driver for mathematics variables		MATHDR32
	Driver for system variables		SYSDRV
	VIPA300S		S7TCP32
	zenon Logic: Controller		STRATONNG

В.2 Перелік змінних



State	Name	Measu...	Driver	Data type	Signal are...	Signal ar...	Measuring r...	Measuring...
Filter...	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Temperature	°C	S7TCP32 - VIPA30...	UINT	27648	0	350.0	0.0
	Power	кВт	S7TCP32 - VIPA30...	UINT	27648	0	5.00	0.00
	Controller/Global/Temperature	°C	STRATONNG - ze...	UINT	27648	0	350.0	0.0
	Controller/Global/SetPoint	°C	STRATONNG - ze...	UINT	27648	0	350.0	0.0
	Controller/Global/Power	кВт	STRATONNG - ze...	UINT	27648	0	5.00	0.00

В.3 Шаблони зображень



В.4 Функції

Workspace: 'DP_ZENO'

TERMOPLAST (S)

- Variables
- Driver
- Datatypes
- Reaction ma...
- Allocations
- Alarm
- Units
- Screens
- Frames
- Font lists
- Palettes
- Project symb...
- Functions
- Scripts

Sta...	Name	Type	Parameter
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Function 9	Screen switch	Diagramma (Extended Trend) - TREND[HD]
	Function 7	Screen switch	CEL (Chronological Event List) - [*][*]-[T,Rel:0d,1h,...]
	Function 6	Screen switch	AML (Alarm Message List)
	Function 5	Screen switch	About_HMI (Standard)
	Function 3	Screen switch	Object (Standard)
	Function 1	Reload project online	changed objects
	Function 0	Exit Runtime	

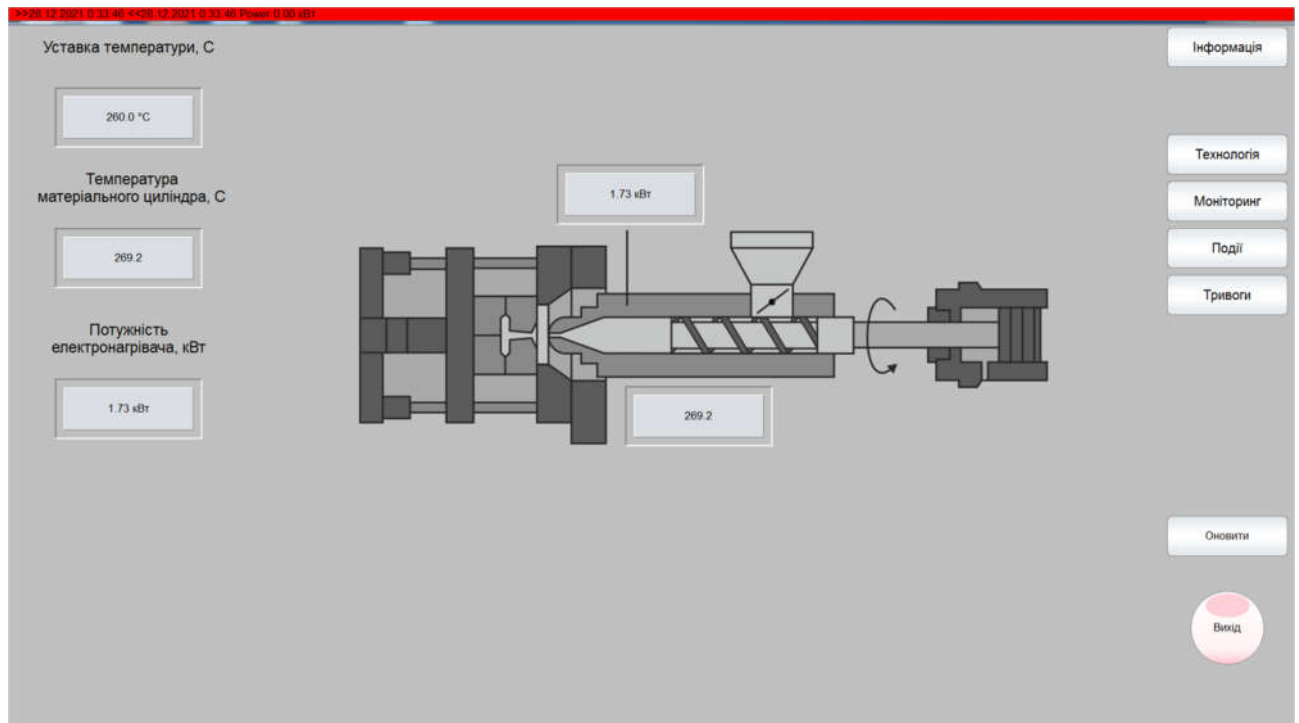
В.5 Зображення

Workspace: 'DP_ZENO'

TERMOPLAST (S)

- Variables
- Driver
- Datatypes
- Reaction ma...
- Allocations
- Alarm
- Units
- Screens
- Frames
- Font lists

State	Visible under...	Name	Screen type	Frame	Background co...	Start function	End function
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	<input checked="" type="checkbox"/>	About_HMI	Standard	MainScreen...	#C0C0C0	< no functi...	< no functi...
	<input checked="" type="checkbox"/>	ButtonScreen	Standard	ButtonScre...	#C0C0C0	< no functi...	< no functi...
	<input checked="" type="checkbox"/>	Diagramma	Extended Trend	MainScreen...	#C0C0C0	< no functi...	< no functi...
	<input checked="" type="checkbox"/>	AML	Alarm Message List	MainScreen...	#C0C0C0	< no functi...	< no functi...
	<input checked="" type="checkbox"/>	Object	Standard	MainScreen...	#C0C0C0	< no functi...	< no functi...
	<input checked="" type="checkbox"/>	CEL	Chronological Event List	MainScreen...	#C0C0C0	< no functi...	< no functi...



>>28.12.2021 0:33:46 <<28.12.2021 0:33:46 Power 0.00 кВт

Time received	Text	Variable name	Value	Meas...	User - full name	Computer name	Comment
28.12.2021 0:28:55	System was started				SYSTEM	ZENON_7_10	
28.12.2021 0:28:55		Power	0.00	кВт			
28.12.2021 0:28:56		Power	2.61	кВт			
28.12.2021 0:30:52	System was stopped				SYSTEM	ZENON_7_10	
28.12.2021 0:31:26	System was started				SYSTEM	ZENON_7_10	
28.12.2021 0:31:26		Power	0.00	кВт			
28.12.2021 0:31:26		Power	2.61	кВт			
28.12.2021 0:33:09	System was stopped				SYSTEM	ZENON_7_10	
28.12.2021 0:33:46	System was started				SYSTEM	ZENON_7_10	
28.12.2021 0:33:46		Power	0.00	кВт			
28.12.2021 0:33:46		Power	2.41	кВт			

>>28.12.2021 0:33:46 <<28.12.2021 0:33:46 Power 0.00 кВт

Alarm status	Time received	Time cleared	Variable name	Value	M...
●	>>28.12.2021 0:33:46	<<28.12.2021 0:33:46	Power	0.00	кВт
●	>>28.12.2021 0:33:46		Power	2.41	кВт

ВІДГУКИ ПО РОЗДІЛАМ ТА ПІДРОЗДІЛАМ

