

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

Інститут електроенергетики
(інститут)

Факультет електротехнічний
(факультет)

Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню магістра

студента Музалевського Владислава Володимировича
(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 процесу підготовки гарячого дугтя доменної печі
(назва за наказом ректора)

| Керівники | Прізвище, ініціали | Оцінка за шкалою | | Підпис |
|--------------------------|-----------------------|------------------|---------------|--------|
| | | рейтинговою | інституційною | |
| кваліфікаційної роботи | доц. Соснін К.В. | | | |
| Теоретичний розділ | доц. Соснін К.В. | | | |
| Синтез системи | доц. Бубликов А.В. | | | |
| Експериментальний розділ | ст.викл. Бойко О. О. | | | |
| Економічний розділ | ст.викл. Яремчук І.О. | | | |
| Охорона праці | проф. Чеберячко Ю.І. | | | |
| Рецензент | | | | |
| Нормоконтролер | ас. Славінський Д.В. | | | |

Дніпро
2021

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри
кіберфізичних та інформаційно-
вимірювальних систем

(повна назва)

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

« _____ » _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня магістра

студенту Музалевському В.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 процесу підготовки гарячого дугтя доменної печі,

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 15 листопада 2021 № 969-с

| Розділ | Зміст | Термін виконання |
|-------------------------------------|--|------------------|
| Стан питання та постановка завдання | На основі матеріалів виробничих практик, інших науково-технічних джерел сформулювати наукове завдання, конкретизувати предмет та мету досліджень | Вересень 2021 |
| Теоретичний | Обґрунтувати теоретичну базу розв'язання наукового завдання, якому присвячено роботу | Жовтень 2021 |
| Синтез системи | Створити систему із застосуванням методів, розроблених у теоретичному розділі, за допомогою яких будуть проводитися дослідження | Жовтень 2021 |
| Експериментальний | Розробити програмне забезпечення, сформулювати завдання та обґрунтувати методику експерименту. Результати експерименту подати у вигляді таблиць та графіків. | Листопад 2021 |
| Економічна частина | Економічно обґрунтувати доцільність витрат на створення та дослідження системи керування | Листопад 2021 |
| Охорона праці | Розробити організаційно-технічні заходи, щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи | Листопад 2021 |

Завдання видано

_____ (підпис керівника)

доц. Соснін К.В.
(прізвище, ініціали)

Дата видачі _____

Дата подання до екзаменаційної комісії _____

Прийнято до виконання

(підпис студента)

Музалевський В.В.

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 92 с., 57 рис., 21 табл., 3 додатків, 16 джерел.

Об'єкт дослідження: процес підготовки повітря для доменної печі.

Предмет дослідження: методи, моделі та інформаційне забезпечення автоматизації процесу підготовки температури повітря (дуття) доменної печі.

Мета: підвищення якості процесу керування підготовкою температури повітря (гарячого дуття) для доменної печі, шляхом визначення межі запасу стійкості при впливі збурення на вихідний параметр об'єкта керування.

На основі передавальної характеристики процесу підготовки гарячого дуття доменної печі по каналу положення змішувального клапана – температура повітря, було розроблено та досліджено модель системи керування, визначено структуру та параметри регулятора, оцінено роботу системи згідно з висунутими критеріями, визначено допустиму межу зміни коефіцієнту «к» при впливі збурення на вихідний параметр системи керування.

На базі безперервної моделі системи керування розроблена цифрова модель системи керування. За допомогою середовища MatlabR2013b отримані програмні модулі, які реалізують об'єкт керування та регулятор. На базі програмних модулів розроблено програмне забезпечення системи керування для програмованого логічного контролера, у середовищі Zenon розроблено людино машинний інтерфейс для SCADA системи.

У економічному розділі визначені капітальні та експлуатаційні витрати а також був проведений розрахунок економічної ефективності.

У розділі охорони праці розглянуті можливі небезпечні і шкідливі фактори.

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ПІДГОТОВКА ПОВІТРЯ, ДОМЕННА ПІЧЬ,
СИНТЕЗ, РЕГУЛЯТОР, ЕКСПЕРИМЕНТ, ЛЮДИНО-МАШИННИЙ ІНТЕРФЕЙС

SUMMARY

Explanatory note: 92 p., 57 figures, 21 tables, 3 annexes, 16 sources.

Research object: the process of preparing air for the blast furnace.

The goal of the work: improving the quality of the process of control of air temperature preparation (hot blast) for the blast furnace, by determining the limit of the margin of safety under the influence of perturbations on the initial parameter of the control object.

Based on the transfer characteristics of the blast furnace hot blast preparation process through the mixing valve position channel - air temperature, the control system model was developed and studied, the structure and parameters of the regulator were determined. The operation of the system is evaluated in accordance with the proposed criteria, the allowable limit of change of the coefficient "k" under the influence of perturbation on the initial parameter of the control system is determined.

A digital model of the control system on the basis of a continuous model of the control system has been developed. MatlabR2013b provides software modules that implement the control object and the controller. On the basis of software modules the software of the control system for the programmable logic controller is developed, in the Zenon environment the human machine interface for the SCADA system is developed.

CONTROL SYSTEM, BLAST FURNACE, SYNTHESIS,
REGULATOR, EXPERIMENT, HUMAN-MACHINE INTERFACE

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ ТА ВИЗНАЧЕНЬ | 8 |
| 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ | 11 |
| 1.1 Характеристика галузі | 11 |
| 1.2. Технологічний процес | 12 |
| 1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування | 14 |
| 1.3.2 Структура об'єкта керування | 17 |
| 1.3.3 Принцип функціонування об'єкта керування | 17 |
| 1.4. Структура системи керування | 20 |
| 1.5. Формулювання задачі дослідження | 31 |
| 1.6 Висновки по розділу | 31 |
| 2 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ | 33 |
| 2.1 Модель об'єкта керування | 33 |
| 2.2 Критерії якості функціонування об'єкта керування | 36 |
| 2.3 Висновки по розділу | 37 |
| 3 СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ | 38 |
| 3.1 Модель системи керування | 38 |
| 3.2 Структура регулятора | 40 |
| 3.3 Оцінка якості функціонування системи керування | 47 |
| 3.4 Висновки до розділу | 54 |
| 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ | 55 |
| 4.1 Цифрова модель об'єкта керування | 55 |
| 4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування | 59 |
| 4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейса | 61 |
| 4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення | 64 |
| 4.5 Висновки по розділу | 65 |

| | |
|---|-----|
| | 7 |
| 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА | 66 |
| 5.1 Розрахунок капітальних витрат | 66 |
| 5.1.1 Розрахунок трудомісткості розробки програмного забезпечення | 66 |
| 5.1.2 Розрахунок витрат на створення програмного забезпечення | 69 |
| 5.1.3 Розрахунок додаткових капітальних витрат | 69 |
| 5.2 Експлуатаційні витрати | 70 |
| 5.3 Оцінка економічної ефективності | 73 |
| 5.4. Висновок по розділу | 74 |
| 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ | 75 |
| 6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих чинників | 75 |
| 6.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці | 76 |
| 6.3 Заходи з ергономіки | 82 |
| 6.4 Розрахунок освітленості | 85 |
| 6.5 Пожежна профілактика | 86 |
| 6.6 Безпека у надзвичайних ситуаціях | 88 |
| 6.7 Висновки по розділу | 89 |
| ВИСНОВКИ | 90 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ | 92 |
| Global variables | 102 |
| Main | 102 |
| Controller | 102 |
| Object | 102 |
| 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; |
| SCADA | – Supervisory control and data acquisition system система диспетчерського керування та збору даних |

ВСТУП

Актуальність теми. Процес виробництва чавуну у доменних печах відноситься до складних об'єктів керування, що обумовлено великою кількістю збурень, що впливають на ефективність роботи обладнання та якість чавуну. Обслуговуючий персонал не в змозі своєчасно реагувати на ці збурення, що мають випадковий характер. Ручне керування агрегатами, що працюють у потоці, низько ефективно, має низьку продуктивність, а прагнення її підвищити може знизити чавуну. Покращити показники якості керування процесами доменного виробництва, як температура гарячого дуття, час виходу на режим, стабілізація температурного режиму можна за допомогою ретельного дослідження існуючих систем керування та їх вдосконалення, або розробки нових систем.

Втім, існуючі методи, моделі та інформаційне забезпечення при керуванні обладнанням підготовки повітря найчастіше створюються для установок певного типу та конфігурації. Отже, створення універсальних методів, моделей та інформаційного забезпечення при керуванні підготовкою повітря у повітропроводах доменної печі є **актуальною науково-технічною задачею**, розв'язання якої забезпечує підвищення якості процесів автоматизованого керування доменним виробництвом в умовах підприємств.

Мета і задачі дослідження. Мета магістерської роботи полягає у підвищенні якості процесу керування підготовкою температури повітря (гарячого дуття) для доменної печі, шляхом визначення межі запасу стійкості при впливі збурення на вихідний параметр об'єкта керування.

Для досягнення поставленої мети в роботі поставлені і розв'язані наступні задачі:

- обрати комплекс технічних та програмних засобів, розробити необхідну технічну документацію;
- дослідити передавальну функцію процесу підготовки гарячого дуття у повітропроводі доменної печі по каналу положення змішувального

клапану – температура повітря (гарячого дуття) для синтезу системи керування;

- дослідити модель системи керування при впливі збурення;
- розробити програмне забезпечення системи керування для SCADA системи з програмованим логічним контролером;
- обґрунтувати економічну ефективність впровадження проекту;
- розробити комплекс заходів з охорони праці на підприємстві.

Об'єкт дослідження – процес підготовки повітря (гаряче дуття) для доменної печі.

Предмет дослідження – методи, моделі та інформаційне забезпечення автоматизації процесу підготовки температури повітря (дуття) доменної печі.

Методи дослідження. Для дослідження систем керування температурою повітря для доменної печі використано системний аналіз та системний підхід. Математичне моделювання роботи системи виконано за допомогою диференціальних рівнянь. Оцінка ефективності процесів керування проведена за допомогою використання методів математичної статистики.

Наукове положення.

Дія збурення на вихідний параметр системи керування має вплив, та залежить від знаку та значення збурення, а стійкість системи керування для протидії збуренню пропорційна коефіцієнту «к» об'єкта керування, та має нижнє межеве значення « $k=2,13384$ ».

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

Отримана модель впливу збурення на вихідний параметр системи керування температурою повітря для доменної печі по каналу положення зміщувального клапана – температура повітря, що дозволяє визначити межеве значення коефіцієнта «к» як межу стійкості розробленої системи керування температурою повітря (гарячого дуття) для доменної печі.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Характеристика галузі

Металургійна промисловість – одна з найбільших галузей будь-якої великої держави. До неї відноситься видобуток і переробка руди, виробництво і збагачення металів, виробництво сплавів з них.

Металургійний комплекс України являє собою налагоджену систему взаємодіючих між собою підприємств з видобутку сировини, комбінатів з його збагачення та металургійних заводів, що займають площі в десятки тисяч квадратних кілометрів. Всього в металургійному комплексі налічується близько 400 великих і середніх підприємств чорної і кольорової металургії, розташованих у багатьох областях України.

В Україні чорна металургія є однією з провідних галузей промисловості. Вона включає понад 300 підприємств з видобутку руди і її збагачення, виробництву чорних металів, труб і металовиробів, феросплавів, вогнетривких матеріалів, вторинної обробки чорних металів і ін. В середньому експорт металургійної продукції приносить країні близько 60% її валютної виручки.

Частка металургії у ВВП країни становить близько 38%, у промисловому виробництві – 27,3%, експорті – 34,2%. Як споживач продукції та послуг суб'єктів природних монополій металургія використовує від загальнопромислового рівня 32% електроенергії, 25% природного газу, 10% нафти і нафтопродуктів, її частка у вантажних залізничних перевезеннях – 20%. Металургія у структурі промисловості України становить 35,1%, тоді як у структурі світової промисловості – 34,3%[1]. Найкрупніші металургійні заводи України:

- Азовсталь – Маріуполь;
- Інтерпайп Сталь – Дніпро;
- Арселор Міттал Кривий Ріг (Криворіжсталь) - Кривий Ріг;
- Євраз Дніпропетровський металургійний завод (раніше завод імені Петровського) – Дніпро;

– Дніпровський металургійний комбінат - Кам'янське;

1.2. Технологічний процес

Передача теплоти від гарячих продуктів горіння палива до насадки та від насадки до холодного дуття відбувається в основному шляхом конвекції. Конвективний теплообмін – це теплообмін між твердим тілом та рідиною (газом), що відбувається при їх зіткненні та одночасному переносі теплоти шляхом теплопровідності та конвекції[2,3].

Передача теплоти посилюється з підвищенням температури і тому ще більш інтенсивно у верхніх рядах насадки. Передача тепла також посилюється із збільшенням поверхні та з підвищенням швидкості руху газу і повітря. Перехід від ламінарного руху газового потоку до турбулентного збільшує теплообмін.

Зменшення товщини цегли і перетину каналів приводить до збільшення поверхні нагрівання в одиниці об'єму насадки та одночасно збільшує швидкість газу, що посилює передачу теплоти конвекцією.

У період нагрівання (газовий період) через канали насадки подається гаряча пара (продукти горіння) з постійною температурою або яка змінюється на вході у насадку. По мірі руху по насадці димові гази охолоджуються і передають тепло матеріалу насадки, який прогрівається. У період охолодження, який іде слідом за періодом нагрівання, через насадку подають повітря (або газ), яке нагрівається. Тепло відводиться із внутрішніх об'ємів цегли насадки до його поверхні і передається повітрю (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 Норми технологічного режиму

| Найменування параметру | Значення |
|--|----------|
| Температура у під купольному просторі повітрянагрівача | 1350°C |
| Температура відхідних газів | 150°C |
| Температура гарячого дуття | 1150°C |
| Тиск природного газу | 20кПа |
| Тиск доменного газу | 10кПа |

| | |
|--|---|
| Тиск гарячого дуття | 0,3МПа |
| Тиск змішаного газу | 63кПа |
| Витрати доменного газу | 10000 м ³ /Г |
| Витрати природного газу | 2500 м ³ /Г |
| Тривалість нагріву повітрянагрівача | 2 години |
| Робота повітрянагрівача на дуття | 1.5 години |
| Вміст кисню в продуктах розпаду водяної пари | 33% |
| Витрата гарячого дуття | 5млн м ³ /добу |
| Кількість гарячого дуття | 2-2,5 об'єму доменної печі м ³ /хв |

У повітрянагрівачах необхідно підтримувати певний тепловий режим. Нормально процес горіння палива повинен закінчуватися в робочому просторі камери горіння. До моменту, коли продукти горіння досягають купола, горіння повинно бути закінчено. У підкупольній частині і в верхніх рядах насадки повітрянагрівача досягається найвища температура, оскільки виділення тепла закінчується і газ віддає тепло насадки. Протягом періоду нагріву насадка акумулює тепло не в однаковій мірі. На початку нагріву перепад температур продуктів горіння і насадки максимальний - процес теплопередачі йде інтенсивно. У міру прогріву насадки перепад температур зменшується і теплопередача сповільнюється. Температура продуктів горіння, які покидають повітрянагрівач, безперервно зростає. Для гарного прогріву насадки необхідно підтримувати правильний тепловий режим нагріву, що забезпечує нормальний розподіл температур по висоті насадки, повне спалювання палива, що виключає втрату хімічної енергії з продуктами горіння.

Все це повинно супроводжуватися підтриманням температури купола і верхніх рядів насадки на рівні, що не доходить до температур початку розм'якшення вогнетривкої цегли. Тільки автоматичне керування дозволяє вести нагрівання повітрянагрівачів в потрібному режимі. Автоматичне регулювання нагріву повітрянагрівача зводиться до наступного. Горіння газу регулюється за допомогою спеціального регулятора співвідношення, виконавчий механізм якого керує регулювальним дросельним клапаном, встановленим на газопроводі, що

підводить газ до пальника. На мембрану регулятора в якості імпульсу, що характеризує витрата повітря, подається величина розрідження на всосі вентилятора пальника. При зміні кількості повітря, що подається вентилятором, регулятор забезпечує подачу газу відповідно до заданого співвідношення. Нагрівання повітрянагрівача передбачає три періоди. Перший період - початок і максимальний нагрів з використанням повної потужності вентилятора при певному співвідношенні газ - повітря. Другий період визначається нагріванням купола до фіксованої допустимої температури. Співвідношення газ - повітря змінюється в бік зменшення кількості газу. Вентилятор зберігає число обертів, шторки регулятора залишаються максимально відкритими. Дроселем регулювального клапана зменшується кількість газу; збільшується відносна кількість повітря, і температура купола знижується; нижні шари насадки повітрянагрівача краще нагріваються. При зниженні температури купола нижче певної межі повертається режим першого періоду. Зміна режимів першого та другого періоду повторюється до тих пір, поки насадка по всій висоті не прогріється, після чого починає підвищуватися температура у піднасадочному просторі.

У доменному процесі утворюються і можуть виділятися такі шкідливі для здоров'я гази і речовини: окис вуглецю, сірчаний газ, SO₂, вуглеводні, C_nH_m і ціаністи сполуки. В процесі спалювання відбувається протікання фізико-хімічних процесів. Різні складові доменного газу (CO, N₂, CO₂, H₂) по-різному впливають на людський організм, викликаючи отруєння і задуха. Окис вуглецю легко адсорбується пилом, смолою, проникає на робочі місця через найменші тріщини і нещільності. Тому для безпеки робітників передбачено обладнання для сигналізації та вимірювання концентрації шкідливих речовин.

1.3 Об'єкт керування

1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування

На сучасних доменних печах повітря, необхідне для горіння палива, перед подаванням у піч нагрівається у спеціальних апаратах – повітрянагрівачах до

температури 1100°C – 1200°C. Доменні повітрянагрівачі є апаратами регенеративного типу.

Повітрянагрівач являє собою куполоподібний циліндр діаметром до 9 м та висотою до 50 м (рис.1.1). Ззовні повітрянагрівач покритий кожухом з листової сталі і добре герметизований. З середини кладеться вогнетривке мурування, що запобігає прогару кожуху і деформації та зменшує теплові втрати. Стіни викладають майже по всій висоті шамотною цеглою, тільки верхня частина викладена високо глиноземистою цеглою. Між стінами та кожухом укладається трепельна цегла, а проміжок між шамотною та трепельною цеглою заповнюють трепельною крихтою. Купол повітрянагрівача викладається з одного ряду глиноземистої цегли, одного ряду легкої шамотної цегли та одного ряду трепельної цегли. Між кожухом купола та кладкою залишається проміжок для температурного зросту кладки.

Внутрішній простір повітрянагрівача поділено вертикальною стінкою, яка не доходить до гори, на 2 частини: камеру горіння та насадку. Угорі розташовано підкупольний простір, який поєднує обидві частини повітрянагрівача. У камері горіння відбувається утворення газоповітряної суміші та її згорання. Камера горіння у перетині має форму півкола – пів еліпса, та займає 15% - 20% від загальної площі внутрішнього перетину всього повітрянагрівача. Доменні повітрянагрівачі є апаратами регенеративного типу.

Основний об'єм повітрянагрівача заповнено вогнетривкою цеглою – насадкою, викладеною таким чином, що утворюються наскрізні вузькі вертикальні канали на весь її зріст. Призначення насадки – акумуляція тепла під час нагрівання повітрянагрівача та віддача його повітря, яке нагрівається. Насадка в основному викладається з шамотної цегли. У нижній частині повітрянагрівача насадка опирається на чавунні ґрати, які розташовані на чавунних колонах, що опираються на вистилку днища з цегли. Простір під насадкою поєднується з димоходом та димовою трубою.

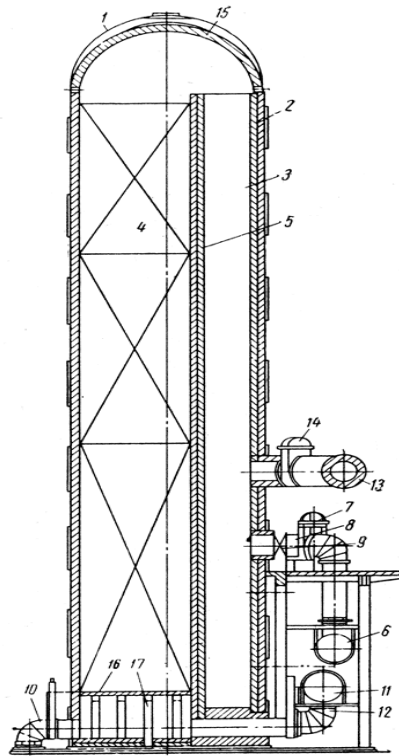


Рисунок 1.1 – Структура доменного повітрянагрівача,

де 1 - кожух; 2 - кладка; 3 - камера горіння; 4 - насадка; 5 - розділова стіна; 6 - газовий клапан; 7 - клапан; 8 - підведення до пальника; 9 - пальник; 10 - димовий клапан; 11 - клапан холодного дуття; 12 - патрубок трубопроводу холодного дуття; 13 - трубопровід гарячого дуття; 14 - клапан гарячого дуття; 15 - футеровка купола; 16 - литі металеві піднасадочні решітки; 17 - литі металеві піднасадочні колони.

Повітрянагрівачі працюють циклічно. Цикл роботи починається з нагрівання насадки гарячими газами. В період нагрівання газового пальника через отвір подається суміш природного або коксового газу з доменним, а також повітря, необхідне для горіння. Гарячі продукти, які утворюються в результаті горіння, підіймаються вгору по камері горіння, проходять підкупольний простір та під дією тяги димової труби спрямовуються вниз по каналам насадки. Проходячи по ним, продукти горіння віддають тепло насадочній цеглі, нагрівають її. У насадці акумулюється велика кількість тепла. Охолоджені продукти горіння (середнє значення температури 250°C) виходять з повітрянагрівача через димові отвори в димохід, а потім через димову трубу у атмосферу.

Період нагрівання повітрянагрівача триває приблизно дві години. Після закінчення нагрівання повітрянагрівач ставлять „ на дуття ”. При цьому відключається палик, зачиняються димові отвори.

Температуру дуття, яка надходить до печі, необхідно вирівнювати. Для цього повітропроводи холодного та гарячого дуття з'єднані трубопроводом, який розташований між піччю та першим повітрянагрівачем

1.3.2 Структура об'єкта керування

Для виконання задачі автоматизації необхідно обрати методи та засоби їх вимірювання.

Таким чином, узагальнююча структура АСКТП (Автоматизація системи керування технологічним процесом) вміщує функції автоматичного регулювання, логічного керування на нижньому і оптимізацію керуючих програм та алгоритмів на вищому рівні АСКТП.

Для функціонування АСКТП необхідно проводити обробку інформації, її впорядкування і перетворення. До таких функцій відносять: автоматизований контроль параметрів об'єкта і сигналізацію відхилень від заданих значень; діагностування стану технологічного обладнання і засобів автоматизації; вивід інформації на пристрої відображення інформації; зберігання в базу даних та візуалізація.

1.3.3 Принцип функціонування об'єкта керування

Нагрівання дуття в доменному виробництві - один з найважливіших етапів його розвитку, що зіграв величезну роль у зниженні витрат пального і підвищенні продуктивності доменних печей. Пошуки шляхів підвищення температури дуття привели до створення регенеративних повітрянагрівачів, що показали значну перевагу за рівнем досягнутої нагріву повітря і швидко витіснили з практики всі раніше створювані конструкції. Таким чином вони стали переважним засобом для нагріву доменного дуття до теперішнього часу. Відома система керування повітрянагрівачами доменної печі, яка функціонально представлена одним рівнем

автоматизації, що містить блок вхідних сигналів, блок завдань, блок сигналізації, блок керування клапанами, регулятор, блок вихідних сигналів.

Завданням винаходу є розширення функціональних і технічних можливостей системи керування, що дозволяють забезпечити безперебійну і безаварійну роботу повітрянагрівача, ефективне керування тепловим режимом повітрянагрівача і електроприводами клапанів, а також збір, зберігання інформації та контроль за станом технологічного устаткування повітрянагрівача. У повітрянагрівачах необхідно підтримувати певний тепловий режим. Нормально процес горіння палива повинен закінчуватися в робочому просторі камери горіння. До моменту, коли продукти горіння досягають купола, горіння повинно бути закінчено. У підкупольній частині і в верхніх рядах насадки повітрянагрівача досягається найвища температура, оскільки виділення тепла закінчується і газ віддає тепло насадці. Протягом періоду нагріву насадка акумулює тепло не в однаковій мірі. На початку нагріву перепад температур продуктів горіння і насадки максимальний - процес теплопередачі йде інтенсивно. У міру прогріву насадки перепад температур зменшується і теплопередача сповільнюється. Температура продуктів горіння, які покидають повітрянагрівач, безперервно зростає. Для гарного прогріву насадки необхідно підтримувати правильний тепловий режим нагріву, що забезпечує нормальний розподіл температур по висоті насадки, повне спалювання палива, що виключає втрату хімічної енергії з продуктами горіння.

Все це повинно супроводжуватися підтриманням температури купола і верхніх рядів насадки на рівні, що не доходить до температур початку розм'якшення вогнетривкої цегли.

Автоматичне регулювання нагріву повітрянагрівача зводиться до наступного. Горіння газу регулюється за допомогою спеціального регулятора співвідношення, виконавчий механізм якого керує регулювальним дросельним клапаном, встановленим на газопроводі, що підводить газ до пальника. На мембрану регулятора в якості імпульсу, що характеризує витрата повітря, подається величина розрідження на всосі вентилятора пальника. При зміні

кількості повітря, що подається вентилятором, регулятор забезпечує подачу газу відповідно до заданого співвідношення. Нагрівання повітрянагрівача передбачає три періоди. Перший період - початок і максимальний нагрів з використанням повної потужності вентилятора при певному співвідношенні газ - повітря. Другий період визначається нагріванням купола до фіксованої допустимої температури. Співвідношення газ - повітря змінюється в бік зменшення кількості газу. Вентилятор зберігає число обертів, шторки регулятора залишаються максимально відкритими. Дроселем регулювального клапана зменшується кількість газу; збільшується відносна кількість повітря, і температура купола знижується; нижні шари насадки повітрянагрівача краще нагріваються. При зниженні температури купола нижче певної межі повертається режим першого періоду. Зміна режимів першого та другого періоду повторюється до тих пір, поки насадка по всій висоті не прогріється, після чого починає підвищуватися температура у піднасадочному просторі.

Завданням винаходу є розширення функціональних і технічних можливостей системи керування, що дозволяють забезпечити безперебійну і безаварійну роботу повітрянагрівача, ефективне керування тепловим режимом повітрянагрівача і електроприводами клапанів, а також збір, зберігання інформації та контроль за станом технологічного устаткування повітрянагрівача.

Об'єктом керування є доменний повітрянагрівач, який являється багатомним і володіє самовирівнюванням.

Критерій керування – підтримання температури гарячого дуття не нижче 1100 °С при заданій продуктивності установки.

Збурювання, які діють в процесі, пов'язані із зміненням наступних параметрів: температури у камері горіння; температури насадки; витрат змішаного газу; витрат та температури холодного дуття; тиску змішаного газу;

Так як не всі збурювання піддаються ліквідації до надходження в об'єкт, у якості основного параметру регулювання обрано критерій керування, тобто температуру гарячого дуття. Регулюючу дію будемо вносити шляхом змінення

постачання холодного дуття до трубопроводу постачання гарячого дуття у доменну піч.

При досягненні температури газів у верхній частині повітрянагрівача 1250°C повітрянагрівач перемикається на одержання гарячого дуття, для чого змішаний газ, повітря та відвід топкових газів відсікається, а вмикається постачання холодного дуття та відвід гарячого дуття.

При зниженні температури гарячого дуття до 1050°C доменний повітрянагрівач перемикається на нагрівання, для чого трубопровід постачання холодного та виводу гарячого дуття перекриваються, а вмикається постачання змішаного газу, повітря і відкривається відвід топкових газів.

1.4. Структура системи керування

Структура системи керування відображає структурні елементи системи керування і зв'язки між ними. Для технологічного процесу нагрівання повітря, що подається у доменну піч пропонується використовувати централізовану систему керування яку умовно можна поділити на три рівня. Перший рівень це рівень датчиків та виконавчих механізмів. На рівні датчиків пропонується використовувати аналогові датчики температури повітря або температури дуття. Виконавчим механізмом є клапан. Другий рівень здійснює обробку інформації, що надійшла з першого рівня, реєстрацію технологічних параметрів, підготовку і передачу оперативної інформації на третій рівень, отримання уставок від верхнього (третього) рівня. Другий рівень включає в себе мікропроцесорний контролер з модулями вводу/виводу даних. Третій рівень керування представляє собою пульт оператора у вигляді комп'ютера.

Пульт оператора виконує наступні функції:

- керування технологічним процесом;
- візуалізація стану технологічного обладнання в зручному для сприйняття і аналізу вигляді (графіки, мнемосхеми, перелік подій і т.п.).

Розроблено структурну схему системи керування підготовки дуття доменної печі (рисунок 1.2).

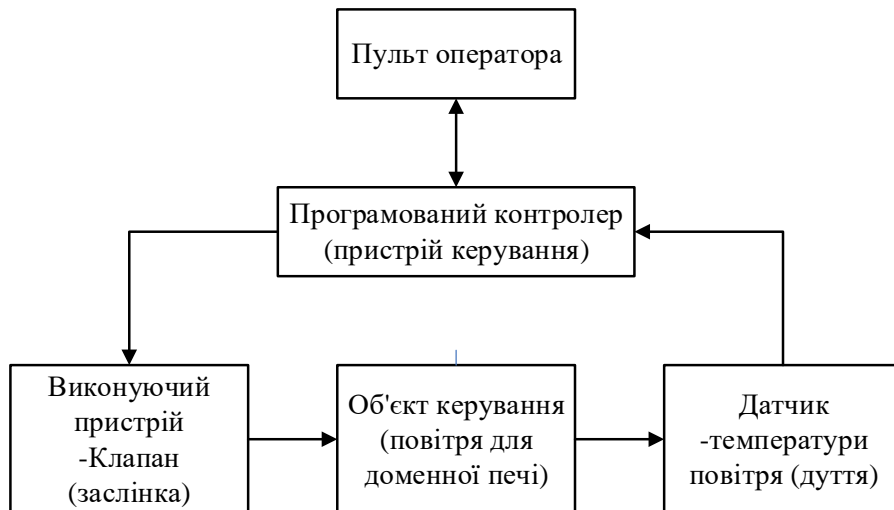


Рисунок 1.2 – Структурна схема системи керування підготовки дуття доменної печі

Сучасна система керування, в свою чергу, істотно розширює можливості регулювання. За допомогою мікропроцесорної техніки можна реалізувати складні алгоритми керування. При цьому обладнання має високу надійність, є можливість резервування. Вже впроваджена система легко піддається змінам в схемах і контурах регулювання, без заміни і модернізації устаткування.

Сучасні системи керування крім вирішення задач керування об'єктом виконують ряд інших функцій, таких як: програмування та конфігурування давачів, контролерів, та виконавчих пристроїв; організація режиму ручного керування; організація робочого місця оператора; візуалізація людино-машинного інтерфейсу; виявлення критичних режимів роботи; реєстрація історії процесу керування; створення, зберігання, та завантаження рецептів технологічного процесу; формування звітів; архівація даних.

Реалізація вище наведених функцій потребує використання не тільки промислових контролерів, а одного або декількох комп'ютерів, оснащених спеціалізованим програмним забезпеченням та підключених до загальнопромислової інформаційної мережі.

Розроблена структурна схема інформаційних потоків показана на рис. 1.3. Дана структура забезпечує збір інформації про технологічний процес, її

реєстрацію, візуалізацію, збереження в базі даних і створення резервних копій. Крім того дана структура забезпечує контроль за обладнанням і сигналізацію.

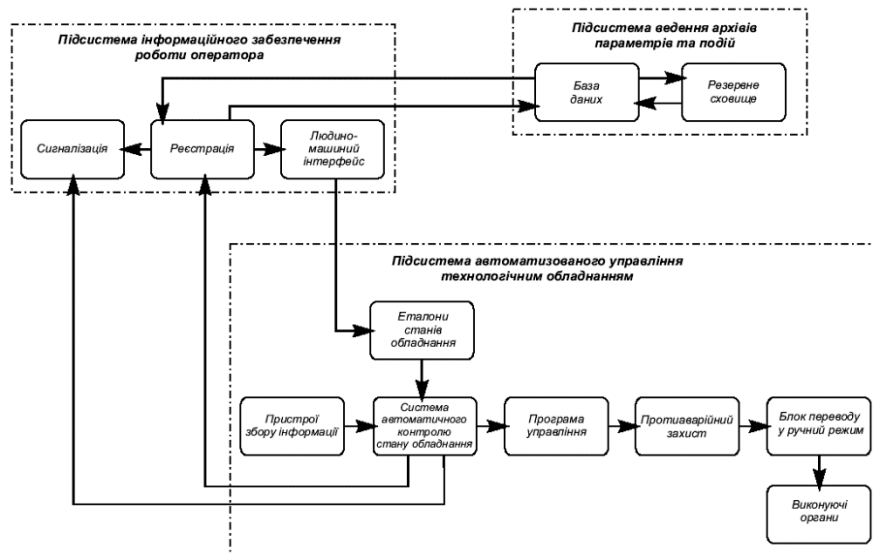


Рисунок 1.3 – Структурна схема інформаційних потоків

З огляду на те, що температура підігрітого дуття доменного повітрянагрівача, не перевищує 1300°C , то для контролю даного технологічного параметра використали термоперетворювач платинородій – платинородієвий з уніфікованим вихідним сигналом (рис 1.4). Діапазон вимірюваних температур термоперетворювача ТЕРА ТПР-У-1-29-В-1,2 складає від $+600$ до $+1600^{\circ}\text{C}$. Вимірюваний технологічний робочий діапазон температур від плюс 1000 до плюс 1300°C , що лежить в діапазоні вимірюваних термоперетворювачем температур.



Рисунок 1.4 – Термоперетворювач ТЕРА ТПР-У-1-29-В-1,2

Термометри опору надійні в експлуатації, мають високий клас точності, високу чутливість, велику відстань вимірювання, у них відсутні необхідність в застосуванні дорогих компенсаційних проводів, вони мають хорошу взаємозамінність.

На підставі обраного термоперетворювача та його технічних характеристик складена таблиця 1.2

Таблиця 1.2 – Датчики системи керування

| № | Найменування параметра | Принцип роботи | Тип | Діапазон вимірювання | Точність | Значення виходу | Період оновлення | Споживча потужність |
|---|-----------------------------|---------------------------------|------------|----------------------|----------|-----------------|------------------|---------------------|
| 1 | Температура повітря (дугтя) | Перетворення температури в опір | Аналоговий | 600÷1600°C | 0,0025t | 4-20 мА | 0.1с | 1 Вт |

В роботі використовується програмований логічний контролер VIPA 200 214-2BE03 (рис. 1.5, табл.1.3). Так як, цей контролер задовольняє всім вимогам системи.

Даний контролер має час арифметичної операції над речовим числом 40 мкс, що достатньо для забезпечення реакції на зміну температури, обсяг пам'яті програм 144 Кбайта і обсяг робочої пам'яті 96 Кбайт, що є достатнім для реалізації програми керування. Виходячи з того, що контролер буде підключений до пристрою з аналоговим виходом, та до пристрою, що керується аналоговим сигналом, контролер володіє модульною структурою, що б забезпечити підключення вибраного обладнання.

Також контролер володіє Ethernet інтерфейсом, що забезпечує можливість функціонування підсистеми інформаційного забезпечення роботи оператора, що реалізована на базі персонального комп'ютера.

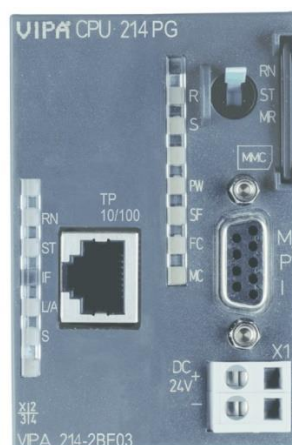


Рисунок 1.5 – CPU модуль програмованого логічного контролеру VIPA 200

Технічні характеристики контролера наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики VIPA 214-2BE03

| № | Найменування параметру | Значення |
|----|---|----------------|
| 1 | Тип | Тип CPU 214NET |
| 2 | Робоча пам'ять, кБайт | 96 |
| 3 | Пам'ять, кБайт | 144 |
| 4 | Час виконання команди над бітом, мкс | 0,18 |
| 5 | Час виконання команди над байтом, мкс | 0,78 |
| 6 | Час виконання команди над словом, мкс | 1,8 |
| 7 | Час виконання команди над подвійним словом, мкс | 40,0 |
| 8 | Ethernet інтерфейс | Присутній |
| 9 | Напруга живлення, В | 24 |
| 10 | Споживана потужність, Вт | 6 |
| 11 | Максимальна кількість модулів, штук | 32 |

Для підключення до програмованого логічного контролера датчика температури ТПР необхідно використовувати модуль аналогового входу з діапазоном вхідного сигналу від 4 до 20 мА.

Даним вимогам задовольняє модуль VIPA 231-1BD40, що має чотири аналогових входи з діапазоном сигналу від 4 до 20 мА (рис. 2.9).

Технічні характеристики модуля аналогового вводу наведені в таблиці 1.4. Схема підключення датчика температури до модуля аналогового вводу VIPA 231-1BD40 приведена на рисунку 1.6.



Рисунок 1.6 – Модуль аналогового входу VIPA 231-1BD40

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики модуля аналогового вводу/виводу

| № | Найменування параметра | Значення |
|---|------------------------------------|-------------|
| 1 | Тип | SM 231, ECO |
| 2 | Кількість каналів | 4 |
| 3 | Тип каналу | Аналоговий |
| 4 | Діапазон вхідного сигналу, мА | 4÷20 |
| 5 | Довжина екранованого провідника, м | 200 |
| 6 | Споживана потужність, Вт | 0,6 |

Для підключення до ПЛК пристрою керування та захисту електропривода засувки без використання кінцевих вимикачів ПКП1Т-Щ1.RS необхідно використовувати модуль, що функціонує в режимі майстера польової шини RS-485 інтерфейса.

Дані вимоги задовольняє модуль комунікаційного процесора VIPA 240-1CA20 (рис. 1.7). Технічні характеристики модуля наведено в таблиці 1.5.



Рисунок 1.7 – Модуль комунікаційного процесора VIPA 240-1CA20

Таблиця 1.5 – Технічні характеристики модуля комунікаційного процесора 240-1CA20

| № | Найменування параметра | Значення |
|---|--|----------------------|
| 1 | Тип | CP240, RS485 |
| 2 | Тип інтерфейса | RS-485 |
| 3 | Тип роз'єму підключення | D-sub, 9 - контактов |
| 4 | Мінімальна швидкість, біт/с | 150 |
| 5 | Максимальна швидкість, кбіт/с | 115,2 |
| 6 | Максимальна довжина кабеля, м | 1200 |
| 7 | Підтримка протоколу Modbus в режимі майстера | Є |
| 8 | Споживча потужність, Вт | 0,75 |

Схема підключення веденого пристрою до модуля комунікаційного процесора 240-1CA20 наведена на рисунку 1.8.

Відповідно до вимог до системи керування підсистема інформаційного забезпечення роботи оператора повинна відобразити технологічний процес на основі отриманих даних від ПЛК. Підсистема інформаційного забезпечення буде реалізована на базі персонального комп'ютера, а зв'язок з ПЛК за допомогою інтерфейсу Ethernet.

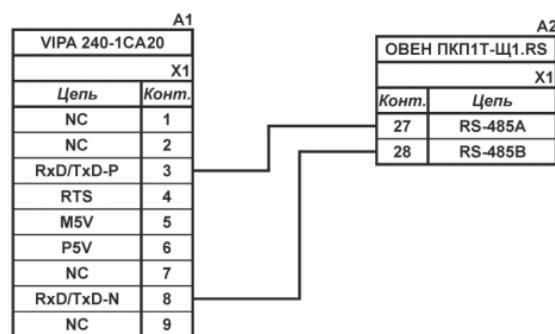


Рисунок 1.8 – Схема підключення пристрою ПКП1Т-Щ1.RS до модуля комунікаційного процесора 240-1CA20

На основі обраного ПЛК та його модулів складено таблицю 1.6. Так як пристрій ПКП1Т-Щ1.RS живиться від мережі 220 В, то він не потребує додаткового джерела живлення, а його споживча потужність дорівнює 0 Вт.

Таблиця 1.6 – Програмований логічний контролер та його модулі

| № | Найменування | Пристрій | Потужність |
|---|----------------|----------------------------------|------------|
| 1 | VIPA 214-2BE03 | Центральний процесорний модуль | 6,00 Вт |
| 2 | VIPA 231-1BD40 | Модуль аналогового вводу | 0,60 Вт |
| | | ТПР-У-1-29-В-1,2 | 1,00 Вт |
| 3 | VIPA 240-1CA20 | Модуль комунікаційного процесора | 0,75 Вт |
| | | ПКП1Т-Ц1.RS | 0,00 Вт |

Вибір джерел живлення

Програмований логічний контролер 241-2BE03 і його модуль мають напругу живлення +24 В. Загальна споживана потужність програмованого логічного контролера і його модулів:

$$P = 6.00 + 0.60 + 0.75 = 7,35 \text{ Вт} \quad (2.3)$$

Виходячи з цього в якості джерела постійної напруги контролера обрано джерело живлення SPD24301 зі змінною напругою живлення від ~ 85 до ~ 264 В, вихідною напругою +24 В і потужністю 30 Вт (Рис. 1.9). Технічні характеристики джерела живлення наведені в таблиці 1.7.



Рисунок 1.9 – Джерело живлення SPD24301

Таблиця 1.7 – Технічні характеристики джерела живлення SPD24301

| № | Найменування параметру | Значення |
|---|--------------------------------|----------|
| 1 | Напруга живлення, В | ~85÷~264 |
| 2 | Вихідна напруга, В | 24 |
| 3 | Потужність, Вт | 30 |
| 4 | Максимальний вихідний струм, А | 1,25 |

Розробка функціональної схеми автоматизації

На підставі вимог до системи керування повітрянагрівачем доменної печі і обраного обладнання розроблена функціональна схема автоматизації, що наведена на рисунку 1.10. У якості пристрою керування використовується програмований логічний контролер (UY 6 – VIPA 214-2BE03). Дані програмованого логічного контролера про статус технологічного процесу відображається на пульті оператора (UYR 7 – Персональний комп'ютер).

Температура гарячого дуття

Для вимірювання температури гарячого дуття на трубопроводі гарячого дуття встановлено перетворювач термоелектричний платиновий – платиновий типу ТПП-У-1-29-В-1,2 (поз.1-1) дані з датчика перетворюються у струм 4-20 мА. Контролер на підставі значення температури розраховує співвідношення холодного і гарячого повітря. Отримане значення співвідношення передається запрограмованим логічним контролером пристрою керування і захисту електроприводу засувки (поз. 4 – ОВЕН ПКП1Т-Щ1.RS), який задає положення клапана, за рахунок зміни його обертання за допомогою пускачів (поз. 3-2, 4-2 – Carlo Gavazzi RJ3A60A32EP). Контроль кінцевого положення змішувального клапана виконується за значенням фазного струму електродвигуна (поз. М1 – СЛЭМЗ АИР132М8) що вимірюється трансформатором струму (поз. 2-1 – SocomecTCA21-100/5A).

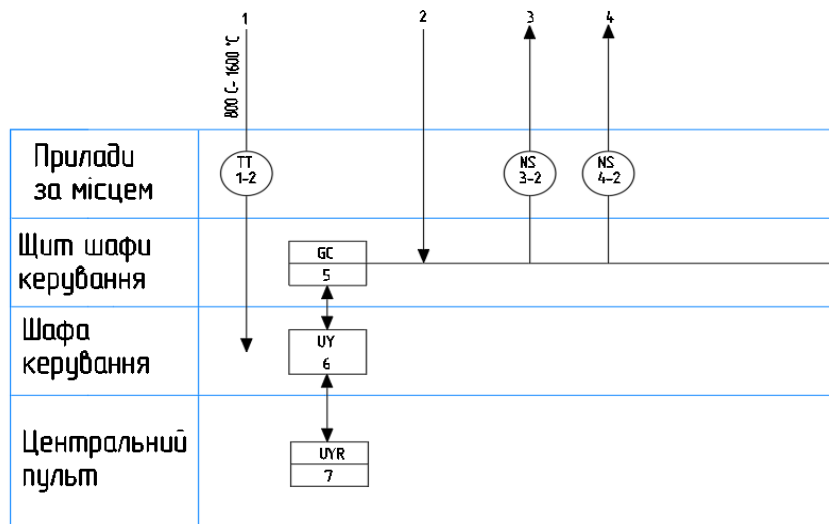
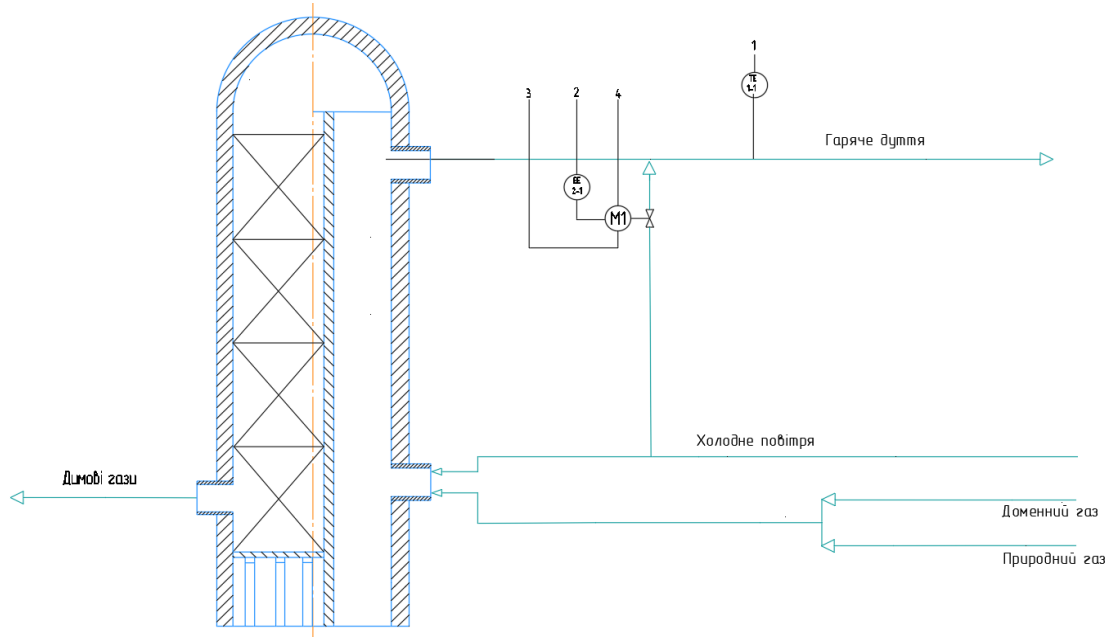


Рис 1.10 – Функціональна схема автоматизації системи керування

Розробка схеми електричної принципової

На основі функціональної схеми автоматизації та обраного апаратного забезпечення розроблена схема електрична принципова системи керування повітрянагрівачем доменної печі на рисунку 1.11

В системі використовуються два джерела живлення Carlo Gavazzi SPD24301 (G1, G2). Від першого джерела живлення (G1) живиться програмований логічний контролер VIPA 214-2BE03 (A1), а від другого (G2) датчик температури ТЭРА ТПР-У-1-29-1,2 (BK1). Параметри функціонування системи керування можуть бути задані за допомогою персонального комп'ютера (A3), що виконує функцію

пульту оператора. Зв'язок між ПЛК (А1) і ПК (А3) реалізовано за допомогою інтерфейсу Ethernet.

Температура повітря на трубопроводі гарячого дуття вимірюється за допомогою датчика ТЭРА ТПР-У-1-29-1,2 (ВК1). Струмівий вихід датчика 4-20 мА підключено до модуля аналогового вводу ПЛК (А1).

Пристрій керування та захисту засувки електропривода ОВЕН ПКП1Т-Щ1.РС (А2) живиться від мережі з напругою 220 В. Зв'язок між ПЛК (А1) та пристроєм (А2) реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485 відповідно до протоколу Modbus RTU.

Пристрій ПКП1Т-Щ1.РС (А2) керує електроприводом змішувального клапана СЛЕМЗ АИР132М8 (М1) за допомогою двох контакторів Carlo Gavazzi RJ3A60A32EP (КМ1, КМ2). Перший контактор (КМ1) вмикається при відчиненні змішувального клапана для збільшення потоку холодного повітря, другий контактор (КМ2) вмикається при зачиненні клапана для зменшення потоку холодного повітря.

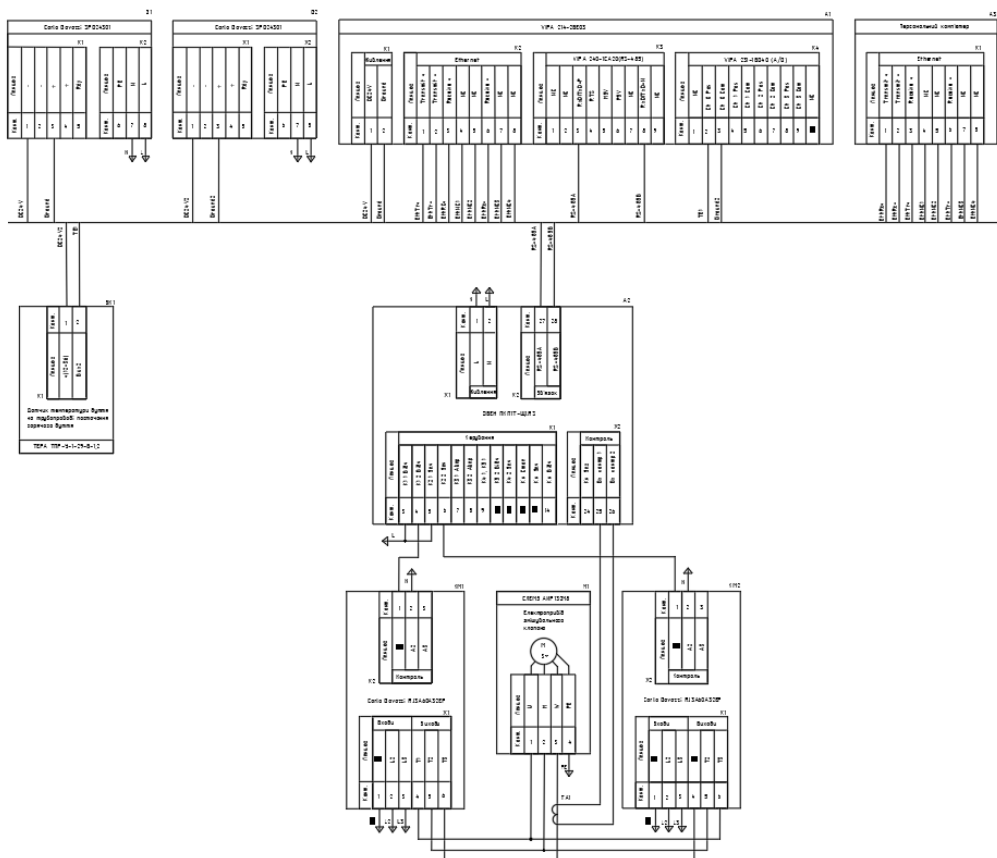


Рисунок 1.11 – Схема електрична принципова системи керування

Контроль кінцевого положення змішувального клапана виконується за допомогою пристрою ПКП1Т-Щ1.RS (A2) в залежності від споживаного струму електроприводом (M1) за допомогою струмового трансформатора Socomes TCA21-100/5A (TA1).

1.5. Формулювання задачі дослідження

Мета кваліфікаційної роботи полягає у підвищенні якості процесу керування підготовкою температури повітря (гарячого дуття) для доменної печі, шляхом визначення межі запасу стійкості при впливі збурення на вихідний параметр об'єкта керування.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити наступні задачі:

- дослідити передавальну функцію положення змішувального клапана – температура гарячого дуття доменної печі для синтезу системи керування;
- дослідити модель системи керування при впливі збурення;
- розробити програмне забезпечення для SCADA системи з програмованим логічним контролером;
- обґрунтувати економічну ефективність впровадження проекту;
- розробити комплекс заходів з охорони праці на підприємстві.

1.6 Висновки по розділу

За результатами аналізу об'єкта керування як об'єкта автоматизації та об'єкта дослідження зроблено наступні висновки:

- вхідними параметрами об'єкта керування є сигнали керування для позиціювання змішувального клапана витрати холодного повітря;
- вихідними параметрами об'єкта керування є температура повітря для доменної печі (гаряче дуття) у повітропроводі;
- об'єкт керування у атестаційній роботі відноситься до класу неперервних, вибухонебезпечних об'єктів керування;

– для системи керування доменним повітрянагрівачом доменної печі обрано комплекс технічних засобів на базі мікропроцесорного контролеру VIPA 200, виконано розробку необхідних технічних документів.

2 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Модель об'єкта керування

У промисловості найбільш поширеним способом отримання математичної моделі є ідентифікація об'єкта керування. Ідентифікація – це процес побудови математичної моделі об'єкта керування, заснований на обробці спостережуваних вхідних і вихідних сигналів.

Процес ідентифікації об'єкта керування складається з трьох етапів: структурна ідентифікація, параметрична ідентифікація та оцінка адекватності моделі. Передавальна характеристика процесу підготовки повітря для доменної печі по каналу положення змішувального клапану ($G_{п}$) – температура повітря (дуття) ($T_{д}$) для доменної печі отримана після ідентифікації процесу. Передаточна характеристика представлена у вигляді аперіодичної ланки другого порядку:

$$\frac{K_{G_{п}T_{д}}e^{-\tau_0 p}}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}, \quad (2.1)$$

де, $T_2=2\,431.1$ сек.; $T_1=105.5$ сек.; $K_{G_{п}T_{д}}=3.5564$ °C/%, $\tau_0=15$ сек.

Модель об'єкта керування у математичному пакеті MATLAB має вигляд (рис. 2.1) :

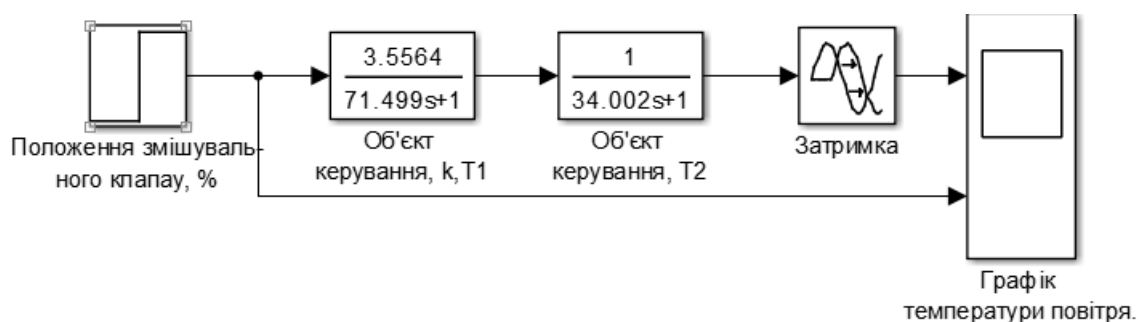


Рисунок 2.1 – Модель об'єкта керування

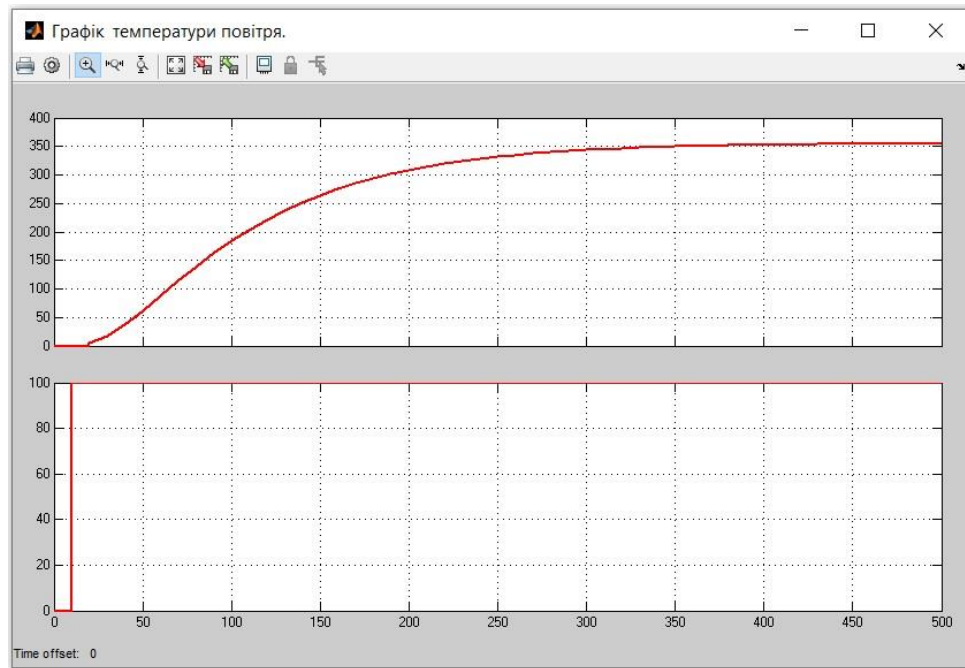


Рисунок 2.2 – Результат моделювання моделі об'єкта керування по каналу положення змішувального клапану (%) – температура повітря ($^{\circ}\text{C}$)

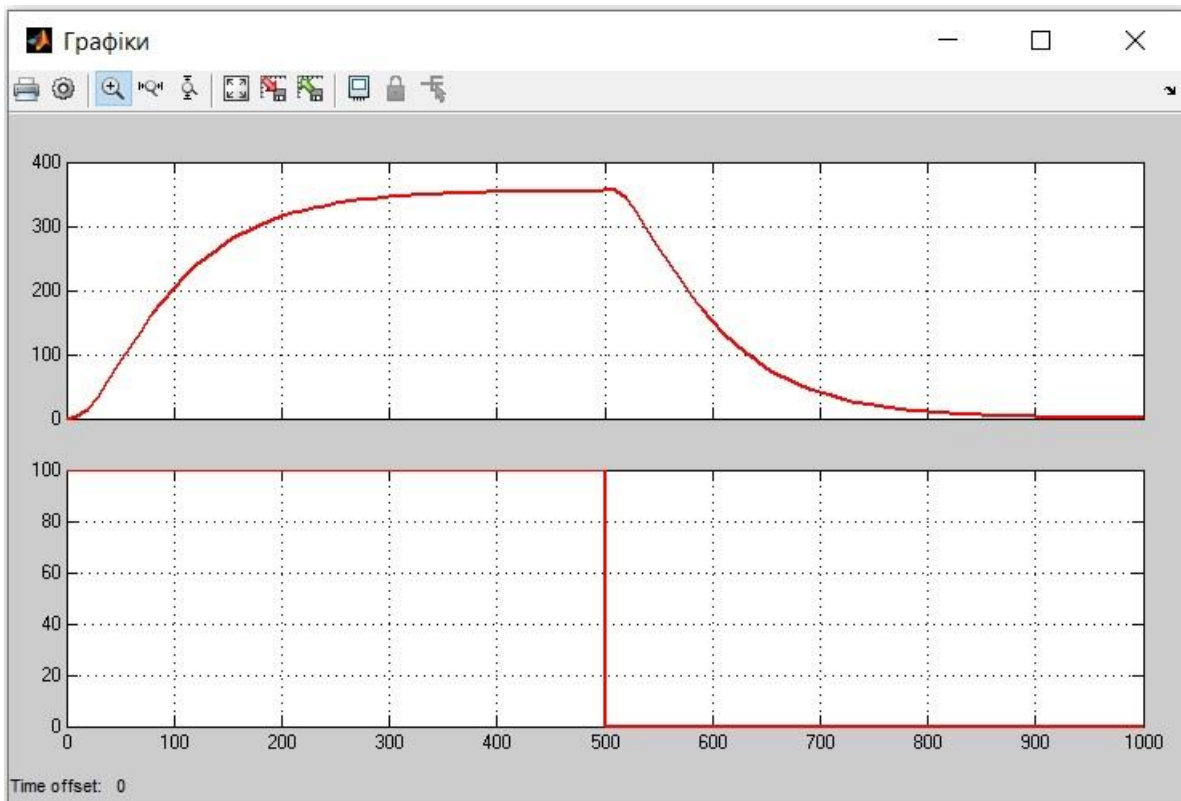


Рисунок 2.3 – Характеристика об'єкта керування під впливом П-образного впливу

Проведено дослідження за допомогою П-образного впливу, що показав симетричність моделі, та відсутність інтегруючої складової (рис. 2.3)

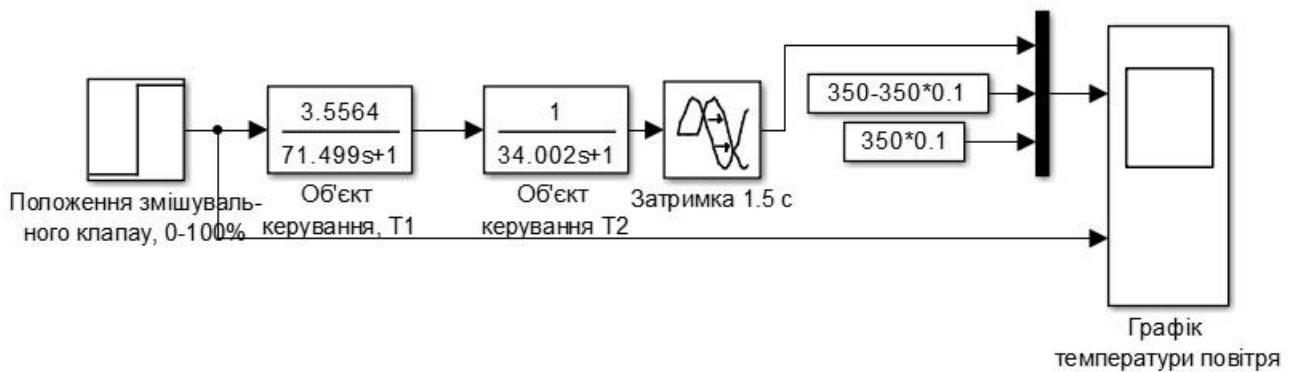


Рисунок 2.4 – Реалізація моделі об'єкта керування для визначення часу наростання та встановлення

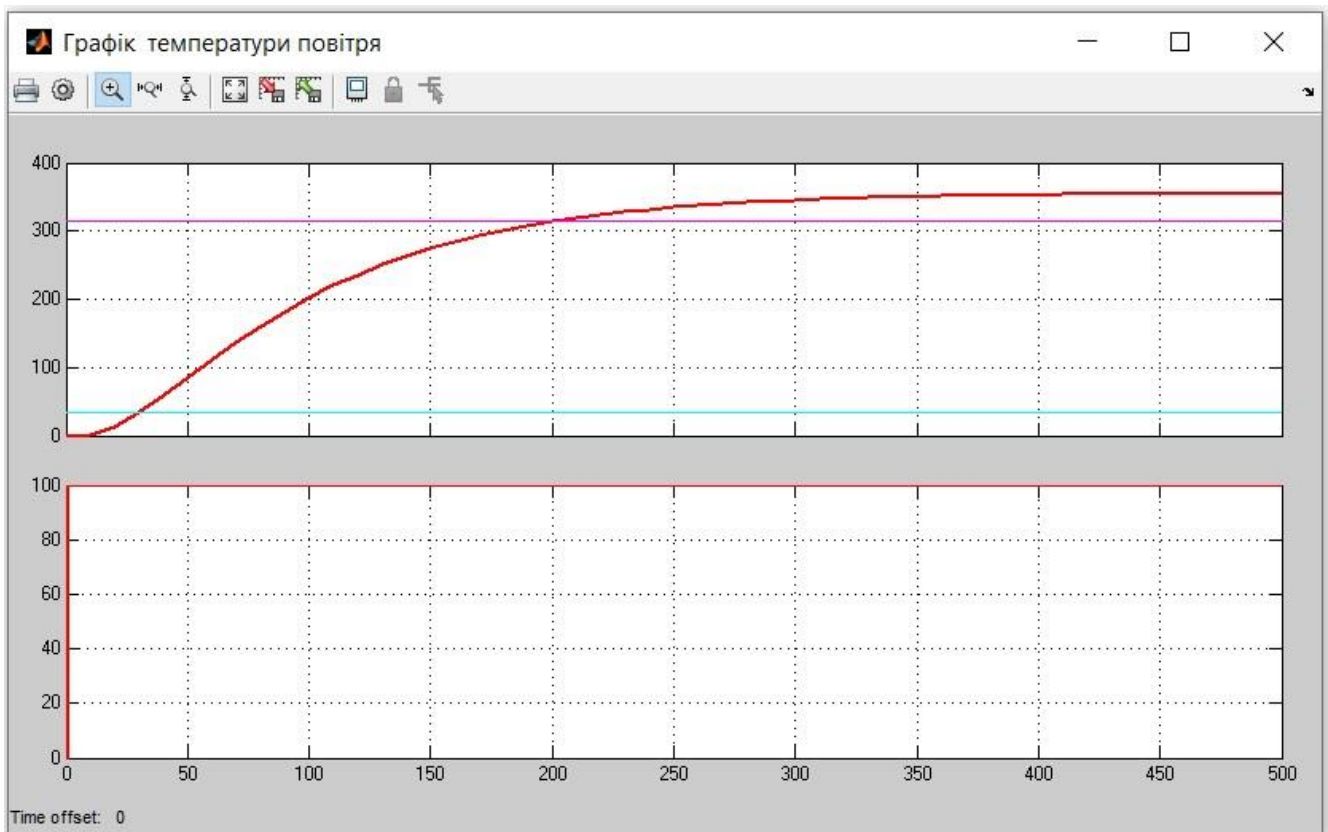


Рисунок 2.5 – Графік об'єкта керування для визначення часу наростання та встановлення

Таким чином у результаті виконання експерименту проведено дослідження у результаті якого були отримані динамічна характеристика, а також отримані перевіірочні дані.

2.2 Критерії якості функціонування об'єкта керування

Критерієм нагріву повітря у повітропроводі доменної печі є мінімальне відхилення від заданого значення.

$$\text{відхил } T_{\partial} = |T_{\partial} - T_{\partial, \text{зад}}| \rightarrow \min, \quad (2.1)$$

де $\text{відхил } T_{\partial}$ – відхилення значення параметру температура повітря(дуття); T_{∂} – значення параметру температура повітря(дуття); $T_{\partial, \text{зад}}$ – задане значення параметру температура повітря(дуття).

Графічним методом за допомогою рисунка 2.5 встановлюється параметри об'єкта керування час наростання, та час встановлення, перерегулювання. Час наростання це інтервал часу на протязі якого вихідна змінна зростає від 10% до 90% від встановленого значення. Згідно рис. 2.5. час наростання дорівнює приблизно 170 с. Час встановлення с заданою похибкою – час по завершенню якого похибка регулювання не перевищує заданого значення. Для похибки (10%) згідно рисунка 2.5 час встановлення складає приблизно 200 с. Перерегулювання – перевищення першого викиду над сталим значенням змінної. Згідно рис. 2.5. перерегулювання відсутнє.

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

Для цього об'єкта, виходячи з його характеристик, буде проведено дослідження з використанням оптимального регулятора для визначення граничних показників для P, PI, PID регуляторів. PID регулятор є кращим рішенням для об'єктів 1-2го порядків з затримкою, а також має здатність компенсувати статичну помилку за її наявності.

Метод за допомогою яких, буде проведено дослідження, і одержання параметрів для кожного з регуляторів це метод Зиглера-Николса.

Алгоритми налаштування регулятора цими методами відповідає основним цілям регулятора. Під час налаштування, коефіцієнт K вибирається таким чином, щоб забезпечити найкраще співвідношення між продуктивністю і робастністю. За замовчуванням, алгоритм вибирає частоту зрізу (ширину смуги пропускання) на підставі динаміки моделі і мінімального запасу по фазі в 60 градусів.

2.3 Висновки по розділу

Методом отримання математичної моделі об'єкта керування була обрана ідентифікація. Для процесу підготовки повітря для доменної печі для каналу керування «Положення змішувального клапану – температура повітря» передаточна характеристика являє собою аперіодичну ланку другого порядку з запізненням 15 секунд. Дослідження за допомогою П-образного впливу показало симетричність моделі, та відсутність інтегруючої складової. Дослідження об'єкта графічним методом по вихідній характеристиці після подачі вхідного сигналу визначило наступні характеристики: час наростання дорівнює приблизно 170 с., час встановлення складає приблизно 200 с., перерегулювання відсутнє.

Отриманих даних про функціонування об'єкта керування, та висунутих критеріїв достатньо для проведення синтезу системи та обрання конкретного типу регулятора.

3 СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

3.1 Модель системи керування

Імітаційна модель системи автоматичного керування підготовки температури повітря для доменної печі основана на структурній схемі системи, коли складовими частинами імітаційної моделі системи є локальні імітаційні моделі окремих елементів системи. Такими локальними моделями є імітаційні моделі блоку керування або регулятора, датчика температури, змішувального клапана та повітропроводу до доменної печі.

Таким чином, структурна схема імітаційної моделі системи керування підготовки температури повітря для доменної печі представлено на рис.3.1.

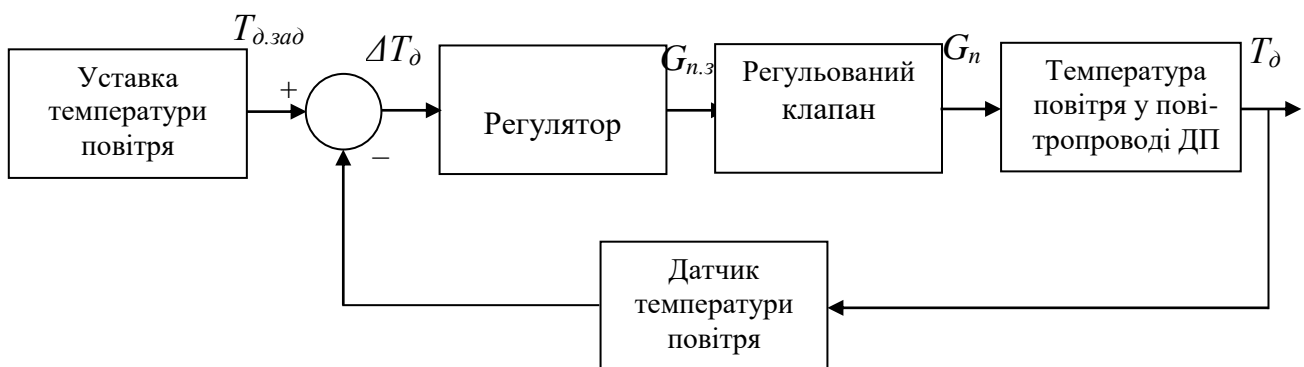


Рисунок 3.1 - Структурна схема імітаційної моделі системи керування температурою повітря доменної печі

На рис.3.1. введені наступні позначення: $T_{d,zad}$ – задане значення (уставка) температури повітря (дуття) у повітропроводі для доменної печі, °С; T_{δ} – фактичне значення температури повітря (дуття) у повітропроводі для доменної печі, °С; ΔT_{δ} – відхилення фактичного значення температури повітря від заданого значення (уставка) температури повітря, °С; $G_{n,z}$ – задане значення положення змішувального клапану, %; G_n – фактичне положення змішувального клапану, %.

Аналіз характеристик у розділах 1, 2 дозволяє зробити висновок щодо наявності інерційності у зміни температури повітря як об'єкта керування –

перехід температури на новий рівень займає до 500 сек. Тим часом, зміна ступеня відкриття регульованого пальника теплогенератора із одного крайнього положення до іншого займає декілька секунд. Таким чином, маючи суттєву інерційність об'єкта керування у порівнянні з змішувальним клапаном, як виконавчим елементом системи (об'єкт повільніше за виконавчий елемент у 100-1000 разів), справедливим буде припущення про відсутність інерційності виконавчого елемента системи. Також приймаємо, що датчик температури в середині повітропроводу також є елементом без інерції, оскільки перетворення зміни температури вимірювального елемента датчика на зміну електричного сигналу відбувається за декілька мілісекунд.

На основі результатів структурної та параметричної ідентифікації об'єкта керування передаточна функція об'єкта керування має наступний вигляд:

$$W(s) = \frac{3.5564e^{-15p}}{2431.1p^2 + 105.5p + 1},$$

де s – неперервний оператор Лапласа.

Для обчислення коефіцієнтів підсилення локальних моделей елементів системи зробимо аналіз діапазонів зміни сигналів на входах та виходах елементів системи.

За умови повністю відкритого клапана спостерігається температура повітря 356°C, що додається до температури повітря основного каналу з температурою 800 °C. Відкритому клапану відповідає сигнал положення електроприводу 20 мА. За умови повністю закритого клапана спостерігається температура 0°C. Закритому клапану відповідає керуючий сигнал положення електроприводу 4мА. Датчик ТЕРА ТПР-У-1-29-В-1,2 вимірює температуру у діапазоні від 600°C. (при цьому на виході датчика спостерігається 4 мА) до + 1600°C (при цьому на виході датчика маємо 20 мА).

3.2 Структура регулятора

Регулятор системи автоматичного керування являє собою програмно-апаратний пристрій, який стежить за дійсним значенням температури повітря гарячого дуття й розраховує значення керуючого впливу, яке виконується за допомогою виконавчого пристрою. Розрахунки значення керуючого впливу здійснюється відповідно до алгоритму керування реалізованим регулятором. Вибір регулятора здійснюється відповідно до вимог, висунутих до системи автоматичного керування і якості її роботи.

На підставі вимог до системи керування температурою повітря у повітропроводі система повинна підтримувати значення температури на рівні 1150°C . Статична помилка системи автоматичного керування повинна дорівнювати нулю. Зміна температури повітря у повітропроводі повинна бути монотонною. Перерегулювання повинне бути меншим за 10 %, що становить 115°C .

У процесі ідентифікації було встановлено, що температура повітря у повітропроводі доменної печі є лінійним об'єктом керування, структурно стійким, і з самовирівнюванням. У промисловості для керування такими об'єктами широке застосування одержали пропорційно-інтегрально-диференційні регулятори.

Виходячи з отриманих результатів ідентифікації, визначені постійні часу (105.2 с та 2431.1 с) та час запізнення (15 с) об'єкта керування.

Виходячи з цього, у системі автоматичного керування температурою повітря у процесі підготовки гарячого дуття, в якості регулятора міг бути використаний пропорційно-інтегрально-диференційний (PID) регулятор, або один з його підвидів: пропорційний (P), пропорційно-інтегруючий (PI), пропорційно-диференційний (PD).

Розрахунок параметрів для P, PI, PID регуляторів проведемо методом Зиглера-Николса. Для визначення параметрів регуляторів за методами Зиглера-Николса необхідно розрахувати параметри. Використовуються параметри що характеризують реакцію об'єкта керування на ступінчасту зміну керуючого впливу, а саме: K – коефіцієнт підсилення інтегруючої ланки, T – постійна часу

об'єкта, τ – час затримки. Визначення характеристики постійна часу об'єкта виконується згідно кривої розгону методом дотичної у точці перегину передавальної характеристики (крива розгону). У даному випадку точка перегину відповідає режиму переходу від прискорення до режиму уповільнення темпу наростання вихідного сигналу.

Модель відповідає аперіодичній ланці другого порядку

$$K = 3.5564, T = 100 \text{ c}, \tau = 15 \text{ c}$$

Пропорційний регулятор по методу Зиглера-Николса: $K_p = 1.87$

Пропорційно-інтегруючий регулятор по методу Зиглера-Николса

$$K_p = 1.68, T_i = 0.037$$

Пропорційно-інтегруючо-диференціюючий регулятор

$$K_p = 2.2495, T_i = 0.075, T_d = 16.87, N = 10.000$$

Таблиця 3.1 Параметри регуляторів розраховані методом Зиглера-Николса

| | K_p | T_i | $T_d=K_d$ | T_f | N |
|-----|-------|-------|-----------|-------|-----|
| P | 13.2 | | | | |
| PI | 11.9 | 0.015 | | | |
| PID | 15.9 | 0,029 | 2143 | 214,3 | 10 |

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

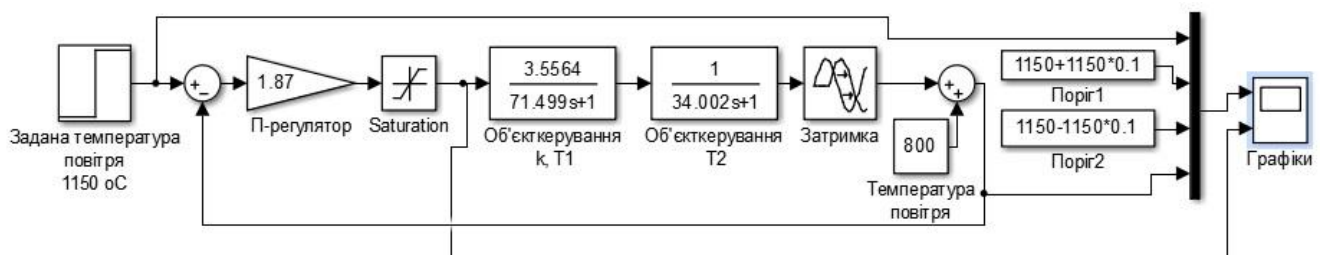


Рисунок 3.2– Модель системи керування з P-регулятором за методом Зиглера-Николса

Графік моделювання системи керування з Р-регулятором показано на рис. 3.3., данні у таблиці 3.2.

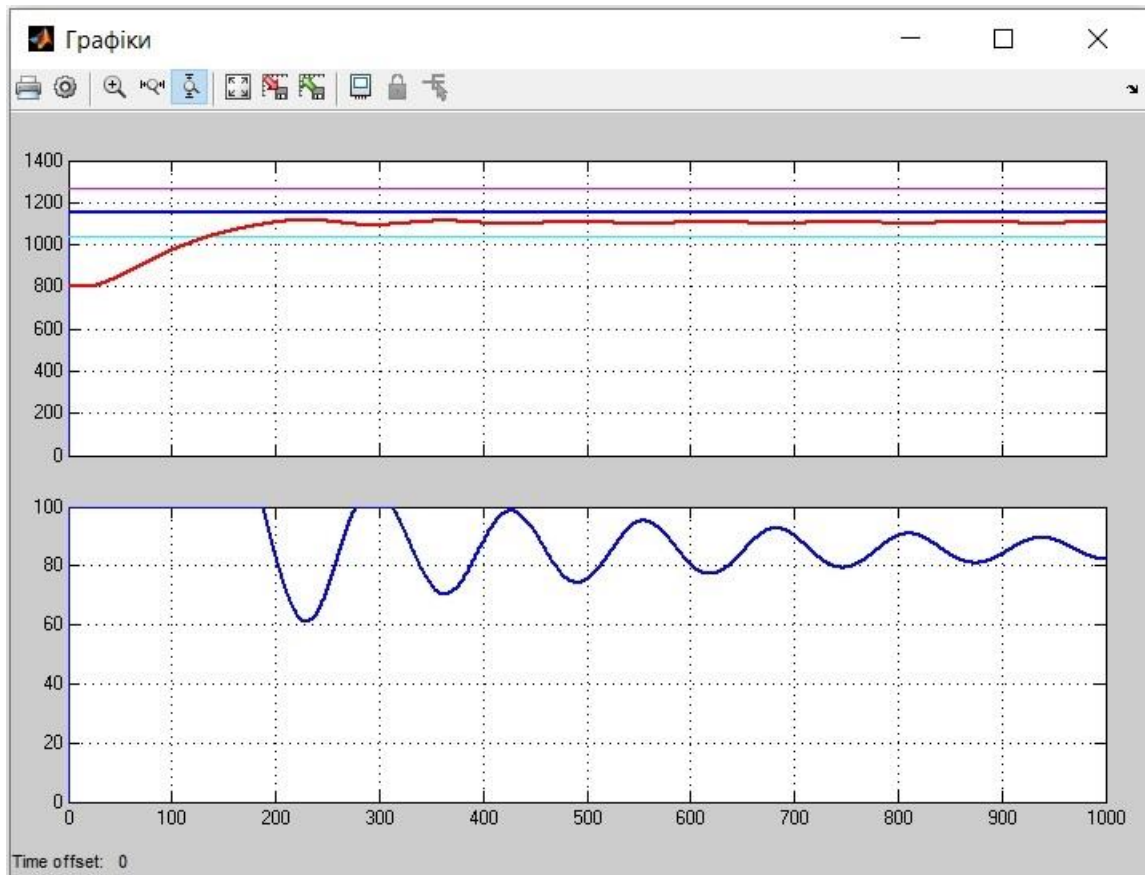


Рисунок 3.3 – Результат моделювання системи керування з Р-регулятором з параметрами, що розраховані за методом Зиглера-Николса

Таблиця 3.2 – Оцінка Р-регулятора відповідно до критеріїв

| № | Метод | Час наростання | | Час встановлення $T_{0.05}$ | | Перерегулювання | | Інтегральна оцінка |
|---|-----------------|----------------|---|-----------------------------|---|-----------------|---|--------------------|
| | | с | % | с | % | °С | % | |
| 1 | Зиглера-Николса | 150 | - | більше 200 | 5 | - | - | задовільно |

Проаналізувавши результати моделювання системи з використанням Р-регулятора, з параметрами, що розраховані методом Зиглера-Николса можна зробити висновок, що використання Р-регулятора не є доцільним для системи керування, що проектується у даній роботі, через статичну помилку, відхилення значення вихідної величини. Для подальшого дослідження, проаналізуємо РІ-

регулятор, який за допомогою інтегруючої складової може компенсувати статичну помилку.

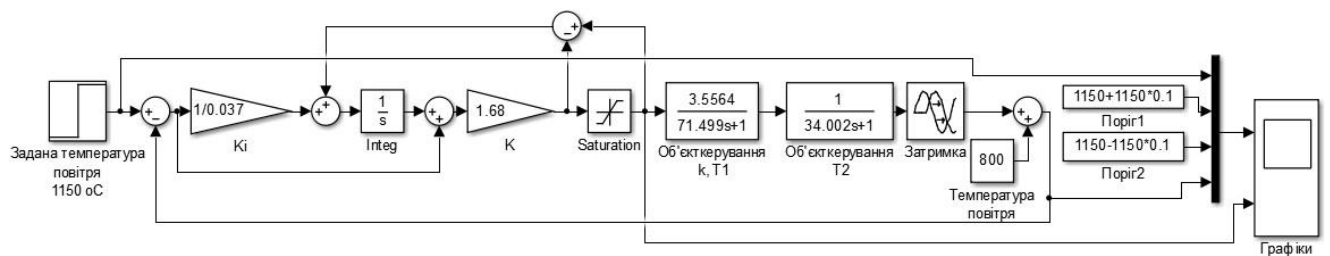


Рисунок 3.4 – Модель системи керування з ПІ-регулятором за методом Зиглера-Николса

Графік моделювання системи керування з ПІ -регулятором показано на рис. 3.5., данні у таблиці 3.3.

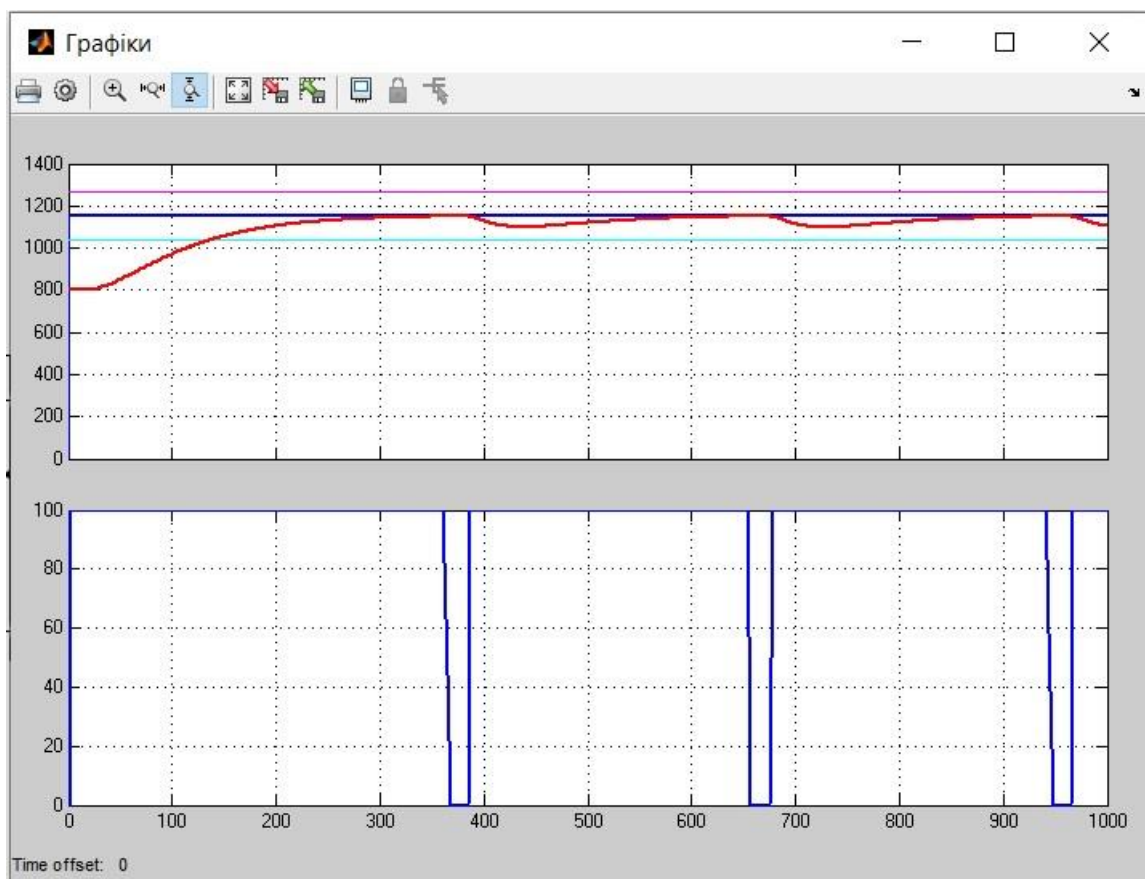


Рисунок 3.5 – Результат моделювання системи керування з ПІ-регулятором з параметрами, що розраховані за методом Зиглера-Николса.

Таблиця 3.3 – Оцінка ПІ-регулятора відповідно до критеріїв

| № | Метод | Час наростання | | Час встановлення | | Перерегулювання | | Інтегральна оцінка |
|---|-----------------|----------------|---|------------------|---|-----------------|---|--------------------|
| | | с | % | с | % | °C | % | |
| 1 | Зиглера-Николса | 200 | | 250 | | - | - | добре |

Проаналізувавши результати моделювання системи з використанням ПІ-регулятора, з параметрами, що розраховані методом Зиглера-Николса, можна зробити висновок, що використання ПІ-регулятора, відповідає вимогам, але присутні відхилення значення вихідної величини. Також присутня дискретне переключення керованої величини від 0% до 100%. Щоб упевнитись, для подальшого дослідження, проаналізуємо PID-регулятор, який за допомогою диференційної складової може компенсувати неузгодженості при виході об'єкта керування на значення уставки.

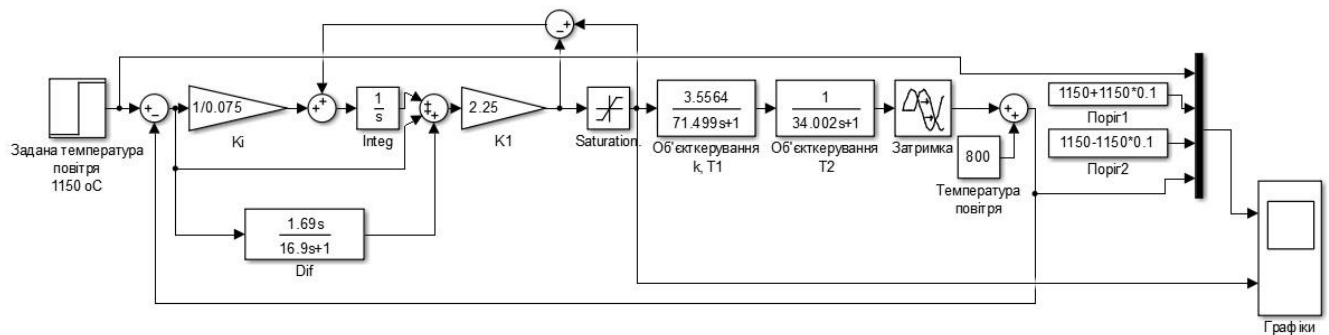


Рисунок 3.6 – Модель системи керування з PID-регулятором за методом Зиглера-Николса

Графік моделювання системи керування з PID -регулятором показано на рис. 3.7., данні у таблиці 3.4.

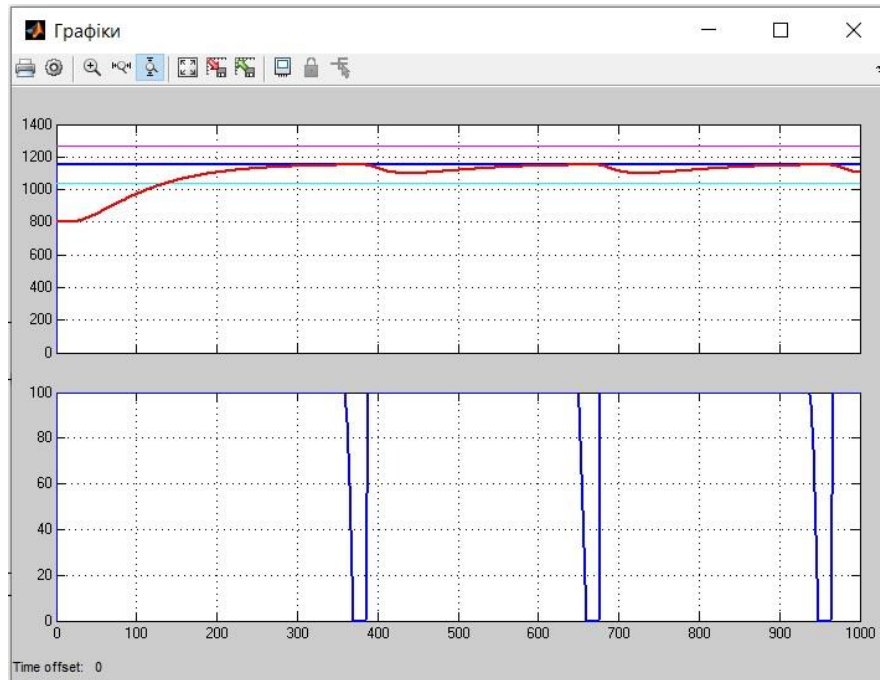


Рисунок 3.7 – Результат моделювання системи керування з PID-регулятором з параметрами, що розраховані за методом Зиглера-Николса

Таблиця 3.4 – Оцінка PID-регулятора відповідно до критеріїв

| № | Метод | Час наростання | | Час встановлення | | Перерегулювання | | Інтегральна оцінка |
|---|-----------------|----------------|---|------------------|---|-----------------|---|--------------------|
| | | с | % | с | % | °C | % | |
| 1 | Зиглера-Николса | 200 | | 250 | | - | - | добре |

Проаналізувавши результати моделювання системи з використанням PID-регулятора, з параметрами, що розраховані методом Зиглера-Николса, можна зробити висновок, що використання PID-регулятора відповідає вимогам, присутні допустимі відхилення значення вихідної величини, безперервний коливальний процес. Проте, можемо розрахувати параметри регулятора, аби досягти кращих результатів за допомогою середовища MatlabR2013b.

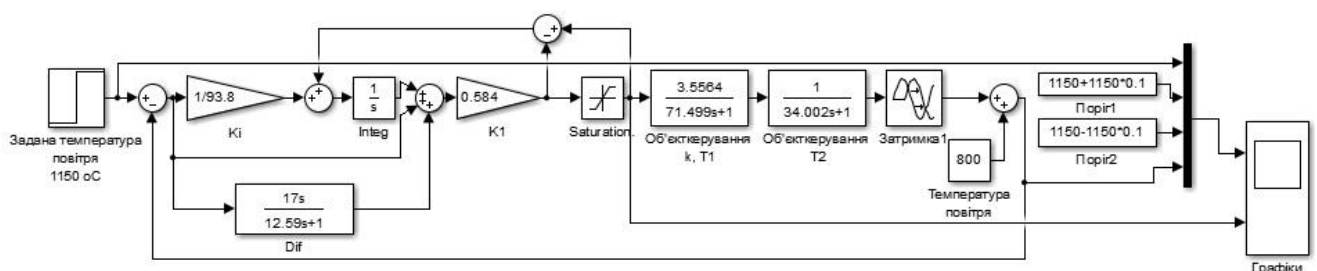


Рисунок 3.8 – Скорегована модель системи с неперервним регулятором у стандартному вигляді

Графік моделювання скорегованої системи керування з PID -регулятором показано на рис. 3.9., данні у таблиці 3.5.

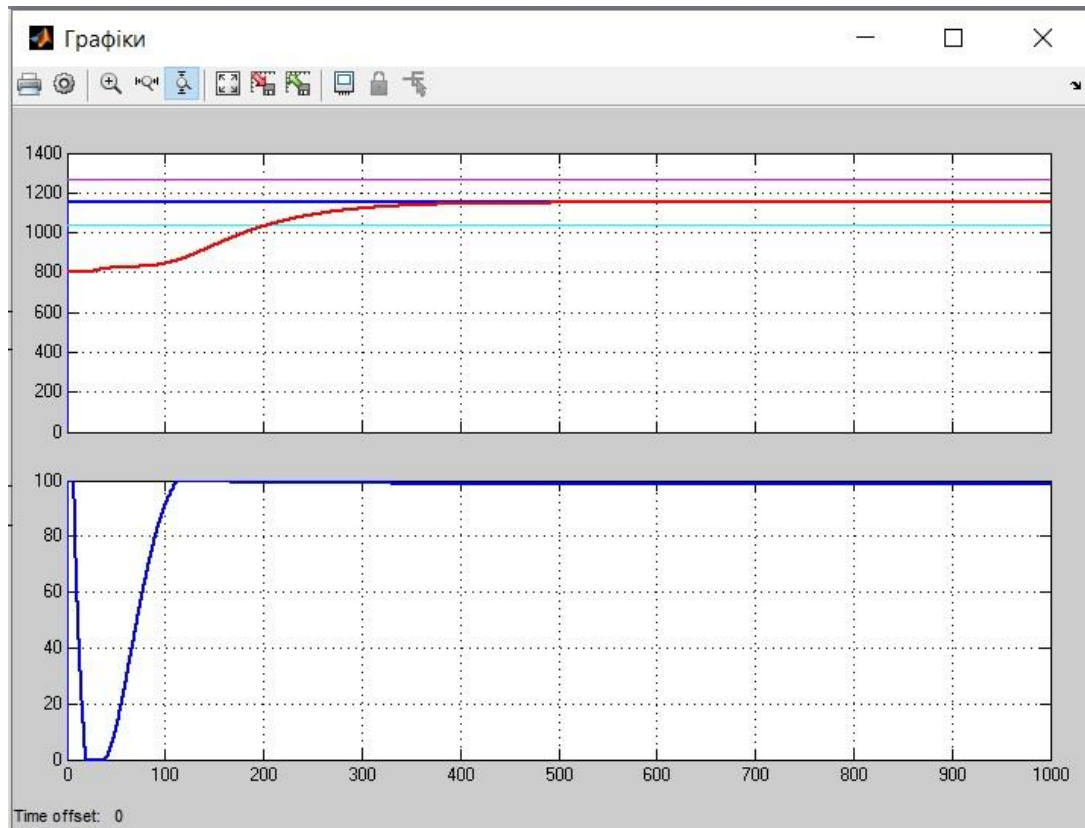


Рисунок 3.9– Результати моделювання скорегованої моделі системи с неперервним регулятором у стандартному вигляді

Таблиця 3.5 – Оцінка PID-регулятора відповідно до критеріїв

| Час наростання | | Час встановлення $T_{0.01}$ | | Перерегулювання | | Інтегральна оцінка |
|----------------|---|--------------------------------|---|-----------------|---|--------------------|
| с | % | с | % | °C | % | |
| 200 | | 300 | 1 | - | - | відмінно |

Як бачимо, скореговані значення регулятора розраховані за допомогою середовища Matlab дають кращий результат, тому надалі використовувати будемо PID-регулятор з параметрами:

$$K_p = 0.584, T_i = 93.8, T_d = 17, T_f = 12.59.$$

3.3 Оцінка якості функціонування системи керування

Остаточний вигляд системи керування представлено на рис. 3.10.

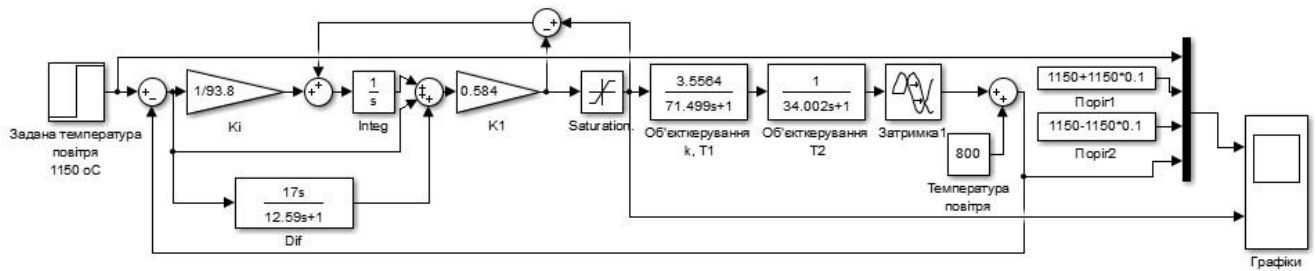


Рисунок 3.10 – Остаточна модель системи керування

Дослідимо роботу системи керування в умовах технологічного процесу, а саме, перевіримо систему на робастність та реакцію на вплив збурення (рис.3.11). При моделюванні до моделі системи керування додаємо джерело сигналу ступінчатого типу значення якого буде змінюватися та із позитивним або негативним знаком буде додаватися до вихідного сигналу. Сигнал збурення буде додаватися через 500 с після початку роботи системи керування. При цьому ми будемо стежити за значенням вихідної величини, а точніше за її відхиленням від заданого значення. Критичним буде значення відхилення, що перевищує $115\text{ }^{\circ}\text{C}$, це значення – поріг перевищення якого псує якість процесу підготовки повітря (табл.3.6).

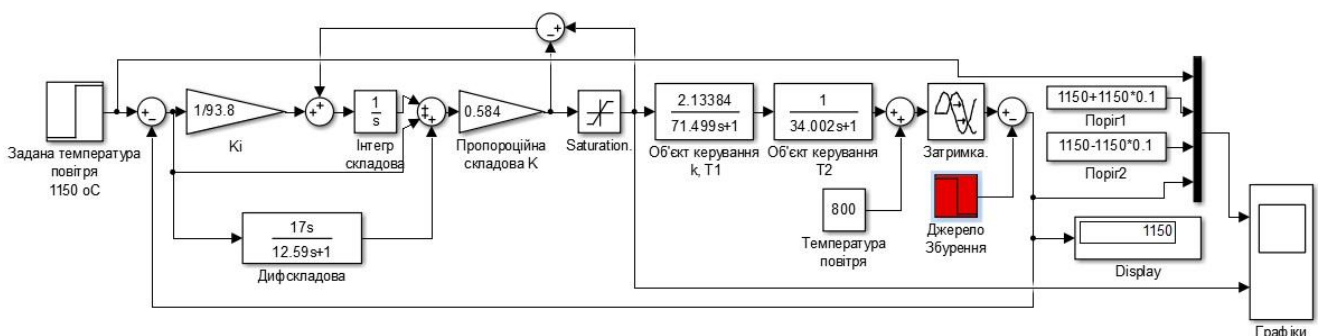


Рисунок 3.11– Модель перевірки системи керування на збурення

Таблиця 3.6 – Оцінка впливу збурення на систему керування $k=3.5564$

| Значення температури повітря, як вплив збурення, °C | Значення температури повітря на виході системи керування, °C | Значення температури повітря, як вплив збурення, °C | Значення температури повітря на виході системи керування, °C |
|---|--|---|--|
| -20 | 1136 | +100 | 1150 |
| -40 | 1116 | +200 | 1150 |
| -60 | 1096 | +300 | 1150 |
| -80 | 1076 | +400 | 1200 |
| -100 | 1056 | +500 | 1300 |
| -120 | 1036 | +600 | 1400 |
| -140 | 1016 | | |
| -160 | 996 | | |
| -180 | 976 | | |
| -200 | 956 | | |

Данні таблиці 3.6 у графічному вигляді представлено на рис. 3.12.

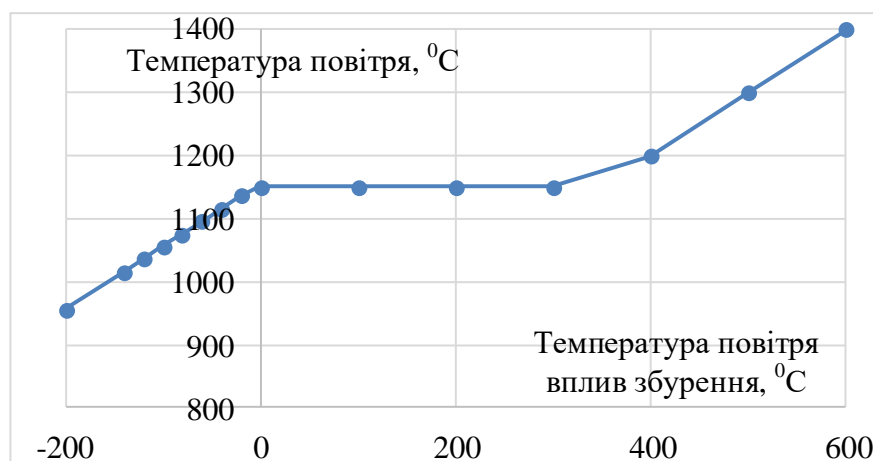


Рисунок 3.12– Графік перевірки системи керування на збурення

Діаграми впливу збурення на роботу автоматичної системи керування з негативним та позитивним значенням збурення представлено на рисунку 3.13 та рисунку 3.14.

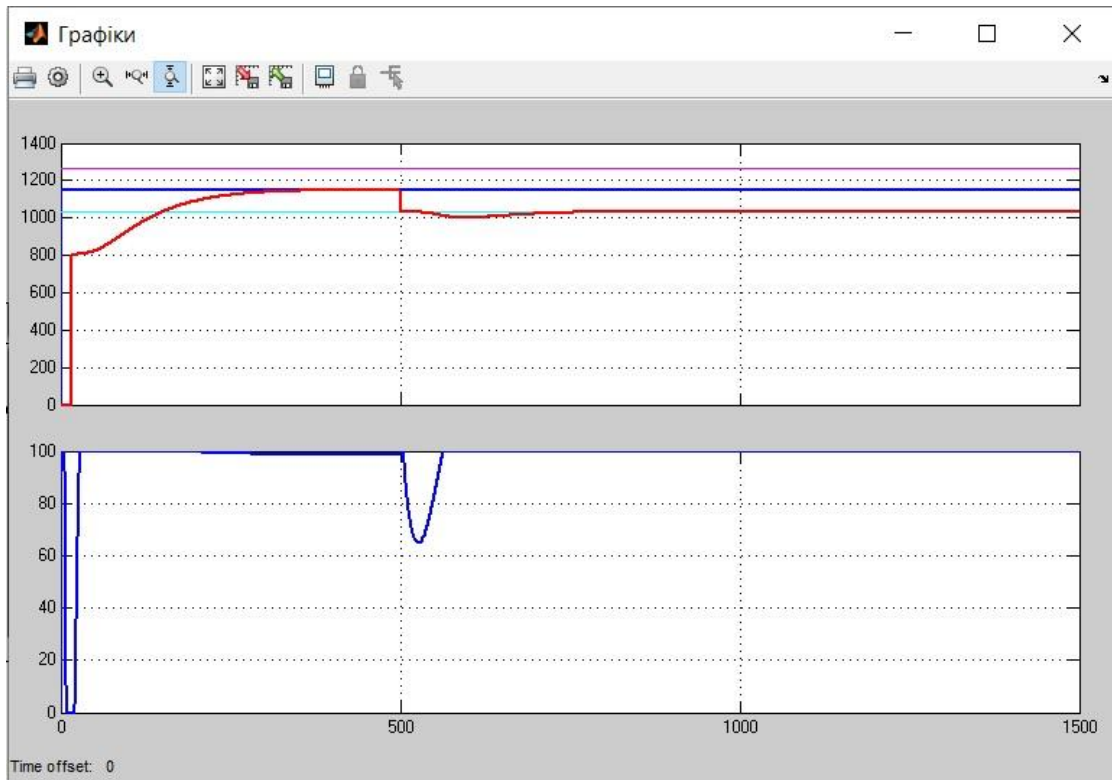


Рисунок 3.13– Результати моделювання при впливі збурення температури повітря меншої на 120°C , температура повітря на виході системи складає 1036°C

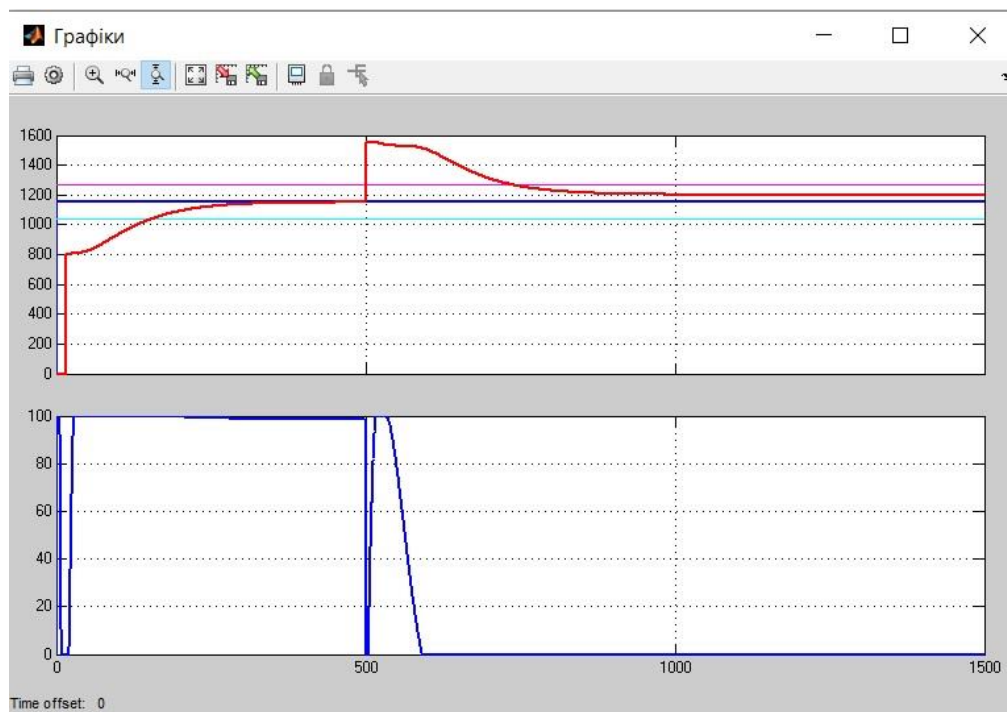


Рисунок 3.14– Результати моделювання при впливі збурення температури повітря більшої на 400°C , температура повітря на виході системи складає 1200°C

Аналіз результатів моделювання показує що при негативному впливі збурення температура (рис. 3.11) повітря на виході починає зменшуватися приблизно на $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ від впливу збурення при значенні мінус $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, що дуже близько від критичного відхилення у $115\text{ }^{\circ}\text{C}$. Аналіз позитивного впливу збурення у діапазоні до плюс $300\text{ }^{\circ}\text{C}$, ніяк не впливає на вихідне значення системи керування, тобто система керування компенсує позитивне збурення на вихідне значення (рис. 3.12). Система перестає компенсувати позитивний вплив збурення при значенні величини збурення починаючи з $400\text{ }^{\circ}\text{C}$. Але неможна вважати, що ми отримали гідну систему керування. Доменна піч дуже складний об'єкт, а ми враховуємо тільки температуру повітря та не приймаємо до уваги інші показники якості процесу. Можна вважати що ми досліджуємо складний процес виробництва чавуну тільки по одну з багатьох параметрів.

Очевидно, що повітря яке готується в іншому повітрянагрівачі, має інший повітропровід може мати інші теплові характеристики, а це значить, що змінюється коефіцієнт об'єкта керування. При такій думці виглядає доцільним провести дослідження відхилення вихідної величини від заданого значення при зміні коефіцієнту об'єкта керування. Оскільки $k=3.5564$ це було найбільше значення коефіцієнту об'єкта керування, то будемо знижувати його значення з шагом у 10% (5%) звертаючи увагу до значення вихідної величини системи керування. Призначенням цього експерименту буде знайти межеве значення коефіцієнта при якому вихідний параметр відхилиться більше 115°C .

Таблиця 3.7 – Оцінка впливу зміни коефіцієнту на систему керування

| Значення коефіцієнту об'єкта керування | Значення температури повітря на виході системи керування, $^{\circ}\text{C}$ |
|--|--|
| 3.5564 | 1150 |
| (-5%)3.37858 | 1138 |
| (-10%)3.20076 | 1120 |
| 2.84512 | 1085 |
| 2.48948 | 1049 |
| 2.13384 | 1013 |

Згідно таблиці побудовано графік зміни параметрів.

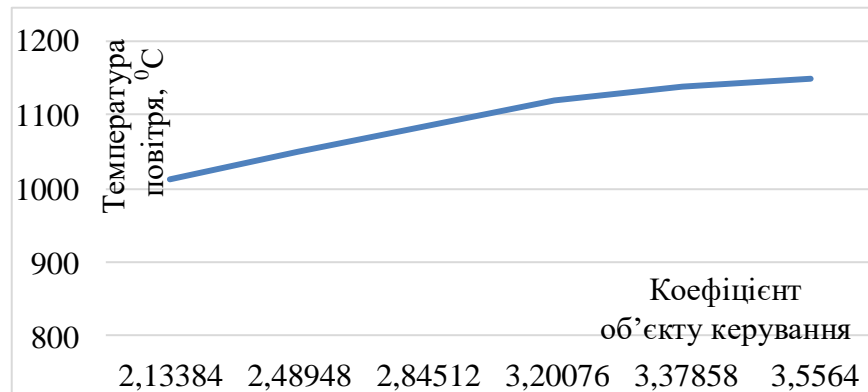


Рисунок 3.15– Графік впливу зміни коефіцієнту на систему керування

Експеримент по дослідженню впливу збурення на вихідний параметр системи зі зниженням коефіцієнту «к» об'єкта керування виконано на моделі системи керування у середовищі MatlabR2013b. Результати представлено у таблицях

Таблиця 3.8 – Оцінка впливу збурення на систему керування $k=3.37858$

| Значення температури повітря, як вплив збурення, °C | Значення температури повітря на виході системи керування, °C | Значення температури повітря, як вплив збурення, °C | Значення температури повітря на виході системи керування, °C |
|---|--|---|--|
| -20 | 1118 | +100 | 1150 |
| -40 | 1098 | +200 | 1150 |
| -60 | 1078 | +300 | 1150 |
| -80 | 1058 | +400 | 1200 |
| -100 | 1038 | +500 | 1300 |
| -120 | 1018 | +600 | 1400 |
| -140 | 998 | | |
| -160 | 978 | | |

Таблиця 3.9 – Оцінка впливу збурення на систему керування $k=2.13384$

| Значення температури повітря, як вплив збурення, °C | Значення температури повітря на виході системи керування, °C | Значення температури повітря, як вплив збурення, °C | Значення температури повітря на виході системи керування, °C |
|---|--|---|--|
| -20 | 1013 | +100 | 1150 |
| -40 | 993 | +200 | 1150 |
| -60 | 973 | +300 | 1150 |
| -80 | 953 | +400 | 1200 |
| -100 | 933 | +500 | 1300 |
| -120 | 913 | +600 | 1400 |

Згідно таблиць побудовано графік зміни параметрів.

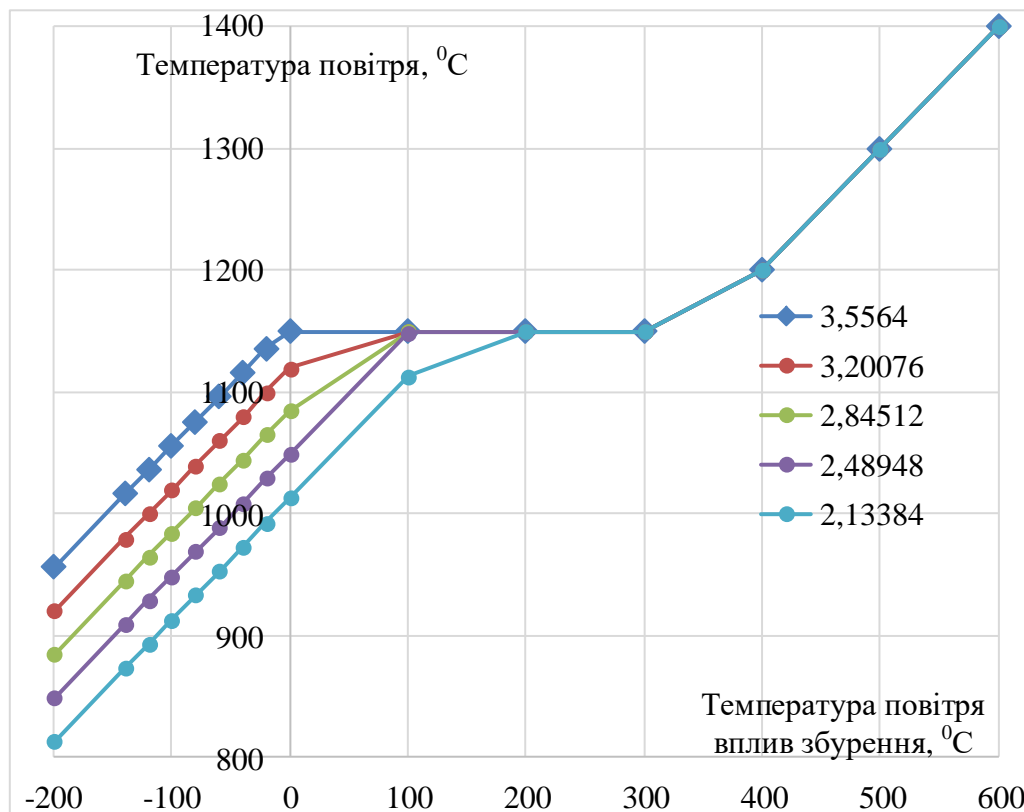


Рисунок 3.16– Графік перевірки системи керування на збурення при різних коефіцієнтах «к» об'єкта керування

Із графіка видно, що зниження коефіцієнту «к» знижує запас стійкості об'єкта керування при впливі збурення негативного значення.

Що дозволило сформулювати наукове положення: дія збурення на вихідний параметр системи керування має прямопропорційний вплив, та залежить

від знаку та значення збурення, а стійкість системи керування по величині «температура повітря гарячого дуття» для протидії збуренню пропорційна коефіцієнту «к» об'єкта керування, та має нижнє межеве значення « $k=2.13384$ ».

Перевірка моделі на робастність була проведена шляхом зміни параметрів об'єкта(рис. 3.12): $K -10\%$, $T+10\%$.

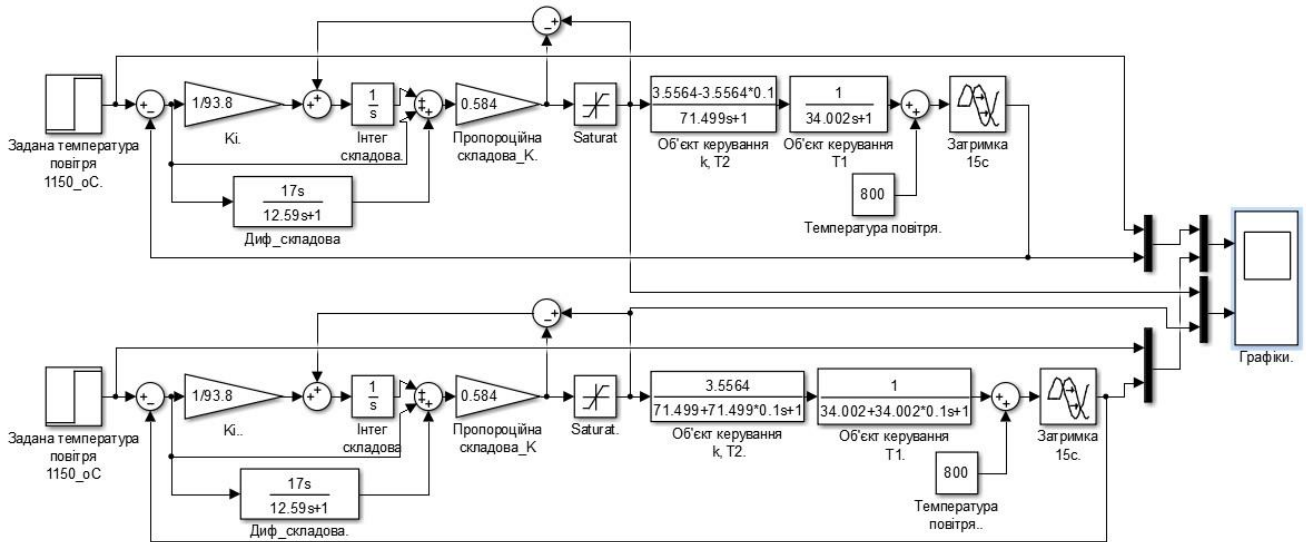


Рисунок 3.17 – Модель перевірки системи керування на робастність

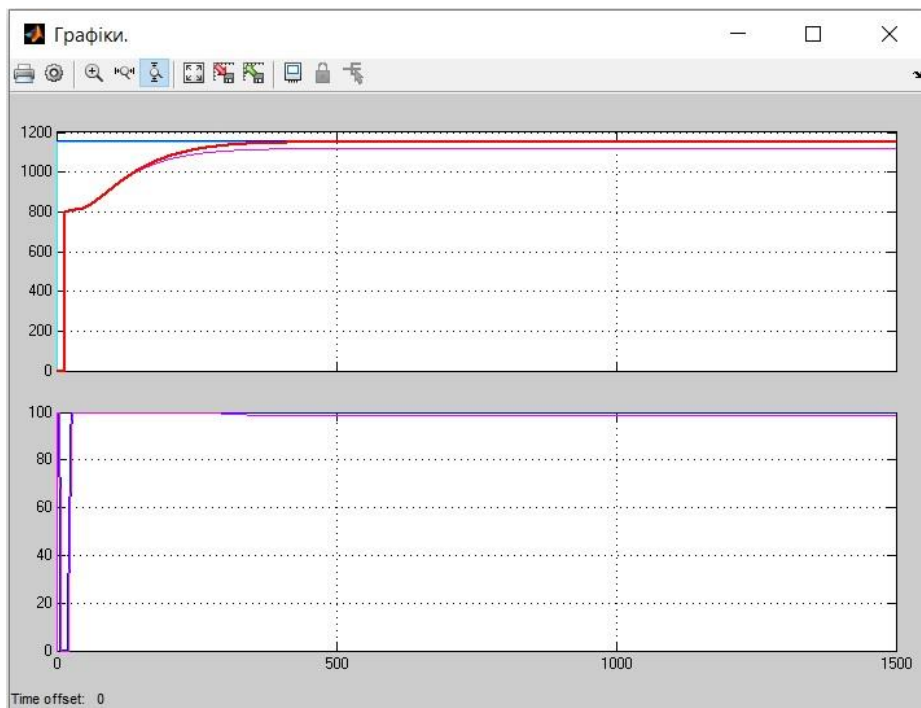


Рисунок 3.18 – Результати моделювання системи керування при перевірці на робастність

Результати показали (рис. 3.18), що навіть при такій зміні параметрів об'єкта регулятор виконує свої функції відповідно до вимог.

3.4 Висновки до розділу

Для процесу підготовки гарячого повітря для доменної печі по каналу положення змішувального клапана – температура гарячого повітря після проведеного дослідження передавальної характеристики, було отримано модель системи керування, визначено структуру та параметри регулятора, оцінено роботу системи згідно з висунутими критеріями, визначено допустиму межу зміни коефіцієнту «к» при впливі збурення на вихідний параметр системи керування.

Дія збурення на вихідний параметр системи керування має вплив, та залежить від знака та значення збурення. Для об'єкта керування з коефіцієнтом «к=3.5564» збурення критично впливає на вихідний параметр при негативному знаку зі значенням 120 °С та більше. Позитивне значення збурення впливає на вихідний параметр при значенні 400 °С та більше.

Дія збурення на вихідний параметр системи керування має вплив, ще більше при зниженні коефіцієнту «к» об'єкта керування. Критичне значення коефіцієнту «к» сягає $k=2,13384$. Вже при цьому значенні коефіцієнту «к» система керування не має запасу стійкості при впливі негативного збурення на вихідний параметр, що зобов'язує виконати заново розрахунок параметрів регулятора.

Отримані результати дозволяють перейти до експериментального розділу, та розробки людино-машинного інтерфейсу.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Цифрова модель об'єкта керування

Згідно з завданням необхідно розробити програмне забезпечення системи керування та людино-машинний інтерфейс для SCADA системи zenon Supervisor 7.10. Програмне забезпечення розроблено таким чином, що в якості об'єкта керування використовується програмна модель. Модель системи керування представлена у вигляді двох програмних модулів: модуля регулятора та модуля об'єкта керування.

Для перетворення моделі математичного пакету MATLAB до тексту програми необхідно, щоб усі елементи моделі були цифрові. Таким чином, спочатку виконаємо заміну усіх неперервних елементів моделі системи керування на цифрові. Далі виконаємо поділ моделі на модель регулятора та модель об'єкта керування. Після чого перетворимо цифрові моделі на програмний код для програмних модулів.

Результатом виконання розділу синтезу системи керування є неперервна модель системи керування, яка задовільняє сформульованим критеріям якості. Ця модель представлена на рисунку 4.1.

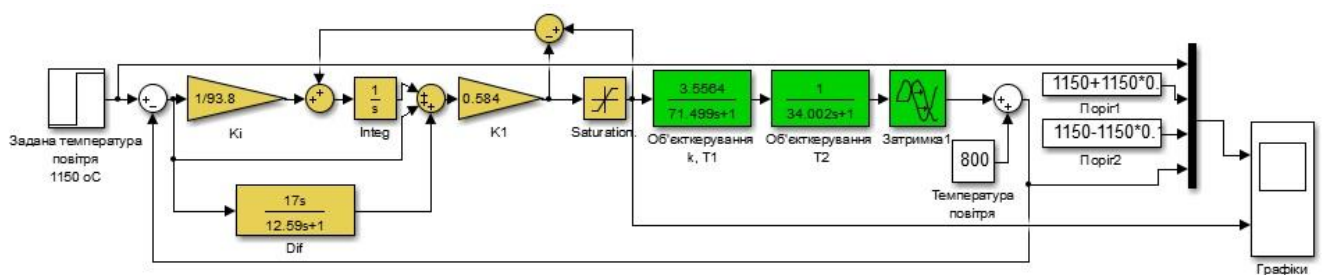


Рисунок 4.1 – Неперервна модель системи керування температурою повітря у повітропроводі доменної печі

Для перетворення елементів моделі системи керування в цифрову форму необхідно визначитися з часом дискретизації у системі.

Час дискретизації в першу чергу визначається для реалізації регулятора. Він повинен бути як мінімум в 10 разів менше найбільшої постійної часу об'єкта керування:

$$cycle = T_{max}/10,$$

де T_{max} - найбільша постійна часу об'єкта керування.

Крім того воно повинно бути більше ніж:

$$cycle = T_{max}/200$$

У зв'язку з тим, що стандартний цикл програмованого логічного контролера становить 100 мс, якщо отримане значення часу дискретизації більше 100 мс, для часу дискретизації вибирається значення рівне 1000 мс, що в математичному пакеті MATLAB відповідає значенню "Sample time" 1 с.

Виконаємо перетворення всіх елементи моделі системи керування на цифрові у середовищі MatlabR2013b.

Для об'єкта керування розділимо один об'єкт другого порядку на два об'єкта першого порядку. Для цього знайдемо коріння рівняння:

Перетворення передавальної функції в цифрову форму

```
>> tfz = c2d(tf([3.5564], [71.499 1]), 1);
b = [tfz.num{1}(2)];
a = [1, tfz.den{1}(2)];
fprintf('b0 = %0.14f, a0 = %0.14f\n\n', b(1), a(2));
b0 = 0.049394330896711, a0 = -0.986111143038828
```

```
>> tfz = c2d(tf([1], [34.002 1]), 1);
b = [tfz.num{1}(2)];
a = [1, tfz.den{1}(2)];
```



```
fprintf('b0 = %0.14f, a0 = %0.14f\n\n', b(1), a(2));
b0 = 0.028981768345493, a0 = -0.971018231654507
```

Ланка чистого запізнення

```
>> tfz = c2d(tf([1], 'ioDelay', 15), 1);
delayLength = tfz.ioDelay;
fprintf('Delay length = %0.3f\n\n', delayLength);
Delay length = 15.000
```

Для регулятора:

Виконаємо заміну необхідних блоків, з безперервних на цифрові, та розрахуємо параметри для диференційної ланки регулятора.

```
>> c2d(tf([17 1],[12.59 1]), 1)
```

ans =

```
1.350277998411438 z -1.273922409813708
```

```
-----
z -0.923644411402271
```

Результатом заміни безперервних елементів моделі системи керування цифровими з відповідним чином розрахованими значеннями параметрами є цифрова модель системи керування на рис.4.2.

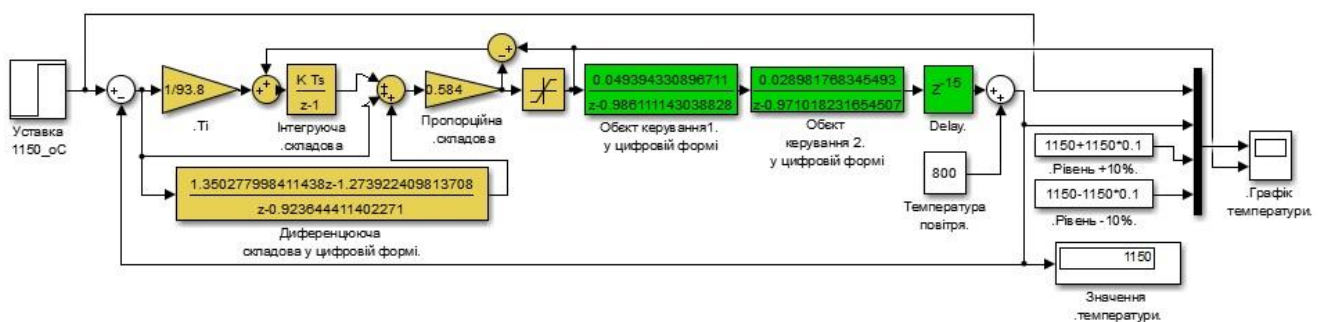


Рисунок 4.2 – Цифрова модель системи керування температурою повітря

Оцінка відповідності цифрової моделі системи керування безперервної моделі виконується за нормованим середньоквадратичним відхиленням. Для оцінки на безперервну і цифрову модель подається уставка і реєструються їх дійсні значення з період відповідним часу дискретизації цифрової моделі.

Розбіжність значень вихідних величин після перехідного процесу повинна бути менше 20%.

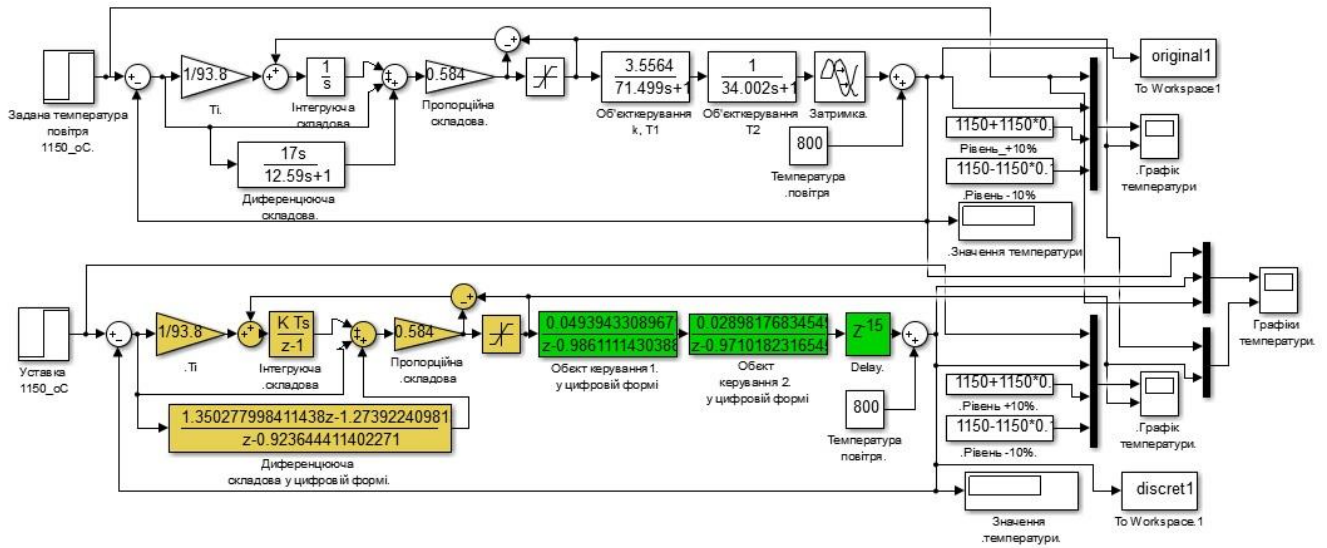


Рисунок 4.3 – Схема моделі порівняння неперервної та цифрової систем керування температурою повітря

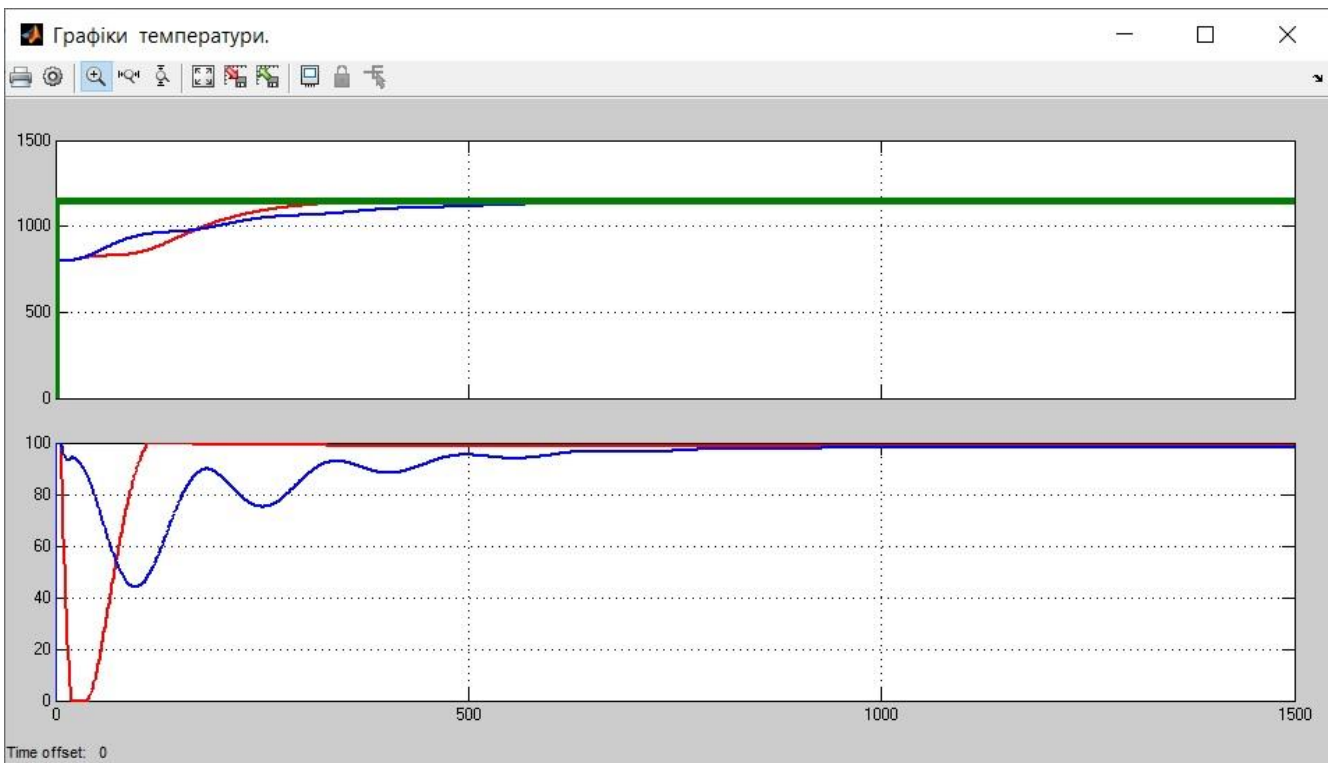


Рисунок 4.4 – Порівняння цифрової моделі з неперервною

Порівняння результатів моделювання безперервної та цифрової моделі виконано за допомогою метода нормованого середньоквадратичного відхилення.

```
>> goodnessOfFit(discret1.Data, original1.Data, 'NRMSE')*100.0
```

ans =
68.6617

Графіки перехідного процесу збігаються на 66 %. Розбіжність вихідних величин після закінчення перехідного процесу відсутня. Таким чином отримана цифрова модель може бути використана за для створення програмного забезпечення системи керування та перевірки його функціонування.

Для подальшої роботи розділимо модель системи на дві підсистеми: Controller та Object – підсистема регулювання та підсистема об'єкта керування відповідно (рис. 4.5).

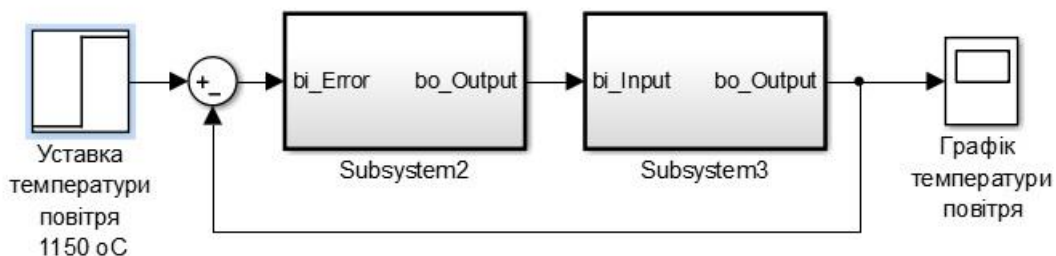


Рисунок 4.5 – Модель системи керування у вигляді двох підсистем

За допомогою стандартного засобу математичного пакету MATLAB блок підсистеми який відповідає регулятору та блок підсистеми який відповідає об'єкта керування були перетворені до програмних модулів на мові стандарту MEK 61131-3 “Structured text”. На базі отриманих модулів подалі буде розроблено програмне забезпечення для SCADA системи zenon.

4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування

Розробка програмного забезпечення системи керування виконується в SCADA системі zenon для програмованого логічного контролера у середовищі zenon Logic.

Програмне забезпечення системи керування буде розроблятися безпосередньо для програмованого логічного контролера у середовищі zenon Logic, що входить до складу SCADA системи zenon.

В SCADA системі zenon використано драйвер пристрою керування “S7TCP32” для контролеру VIPA(рис. 4.6). Сам драйвер переведений в режим

програмної симуляції. Час оновлення даних заданий рівним часу дискретизації 1000 мс. Для даного драйвера буде розроблятися програмне забезпечення об'єкта керування.

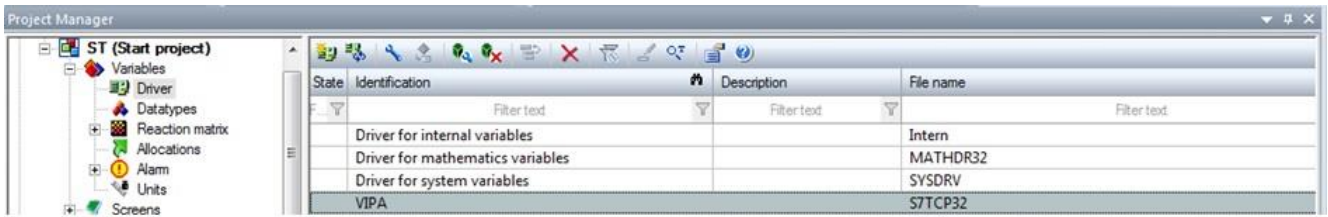


Рисунок 4.6 – Драйвера програмованого логічного контролеру

Програмне забезпечення об'єкта керування буде функціонувати на програмному програмованому логічному контролері zenon Logic який в режимі симуляції буде реалізувати програмований логічний контролер VIPA та об'єкт керування.

На базі отриманого тексту програми з математичного пакету MATLAB розроблено користувацький функціональний блок “Object”. Текст програми якого розроблено на мові програмування Structured Text (дод. Б). Виклик функціонального блока “I_Object” виконується в тілі основної програми, яка наведена на рисунку 4.7.

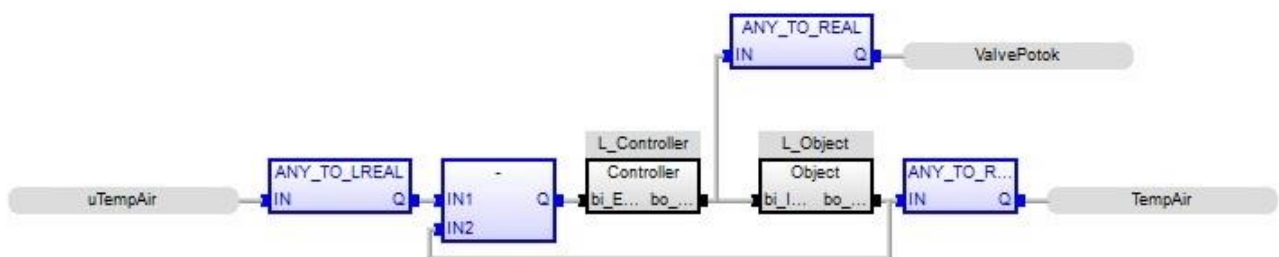


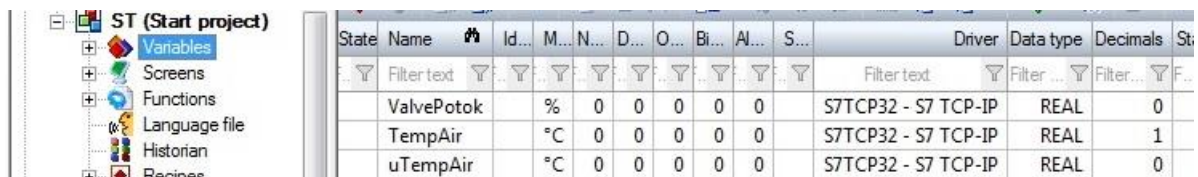
Рисунок 4.7 – Основна програма системи керування

На вхід блока об'єкта керування задається дійсне значення положення змішувального клапану «ValvePotok». З виходу блока дійсне значення записується до змінної температура повітря (гарячого дуття) “TempAir”. Змінні “ValvePotok” та “TempAir” є глобальними та належать SCADA системі zenon.

На базі отриманого тексту програми з математичного пакету MATLAB розроблено користувацький функціональний блок “Controller”, текст програми якого написано на мові програмування Structured text, яка наведена в додатку Б.

На вхід блока задається значення похибки системи керування яке обчислюється як різниця між уставкою “uTempAir” та дійсним значенням “TempAir” (до 1400 °C). На виході блока формується керуючий вплив, значення якого копіюється до змінної “ValvePotok” (керуючий вплив – положення змішувального клапану 0...100 %).

Відповідно до завдання програмне забезпечення контролера повинно функціонувати в SCADA системі zenon на програмному програмованому логічному контролері zenon Logic. Для цього в SCADA системі системі zenon додано відповідний проект zenon Logic “St”. Для зв'язку з SCADA системою додані змінні які наведені на рисунку 4.8.



| State | Name | Id... | M... | N... | D... | O... | Bi... | Al... | S... | Driver | Data type | Decimals | St... |
|-------|-------------|-------|------|------|------|------|-------|-------|------|---------------------|------------|-----------|-------|
| | Filter text | | | | | | | | | Filter text | Filter ... | Filter... | F... |
| | ValvePotok | | % | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | S7TCP32 - S7 TCP-IP | REAL | 0 | |
| | TempAir | | °C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | S7TCP32 - S7 TCP-IP | REAL | 1 | |
| | uTempAir | | °C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | S7TCP32 - S7 TCP-IP | REAL | 0 | |

Рисунок 4.8 – Змінні програмованого логічного контролера

4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейса

Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу (дод. В) має декілька вікон: технологічний процес, діаграма процесу, хронологічний список подій та інформаційний список тривог. Виходячи з того, що людино-машинний інтерфейс повинен відображати декілька зображень, то він повинен складатися з двох шаблонів на одному з котрих повинні відображатися кнопки переключення зображення, а на іншому самі зображення.

На основному зображенні будуть відображатися інформація про технологічний процес, зміну температури повітря у повітропроводі, хронологічний список подій та інформаційний список тривог. Допоміжний

шаблон “ButtonScreen” буде використаний для розробки вікна з кнопками зміни основного зображення.

У вікні зображення, що створене на основі шаблону “ButtonScreen” розміщені часи, дата, кнопки зображені “Діаграма процесу”, “Технологічна схема”, “Список тривог”, “Хронологія подій”. Крім того на ньому знаходяться кнопка “Перезавантажити” яка відповідає за оновлення людино-машинного інтерфейсу у випадку його перезавантаження та кнопка “Exit” яка закриває людино-машинний інтерфейс.

Відповідно до завдання було розроблено мнемосхему технологічного процесу, яке наведено на рисунку 4.9.



Рисунок 4.9 – Мнемосхема технологічного процесу

На технологічному зображенні вказане основне обладнання процесу. За для контролю зміни вхідних та вихідних параметрів об’єкта керування розроблено відповідне зображення яке наведено на рисунку 4.10. На зображенні за допомогою розширеного тренду відображається зміна температури повітря та положення змішувального клапану.



Рисунок 4.10 – Зображення тренду параметрів

За для відображення списку подій використано зображення типу “Chronologic event list”. Відповідно до вимог в хронологічному списку подій записується інформація про зміну температури повітря у повітропроводі доменної печі та положення змішувального клапану.

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 зображення інформаційного списку тривог наведено на рисунку 4.11.

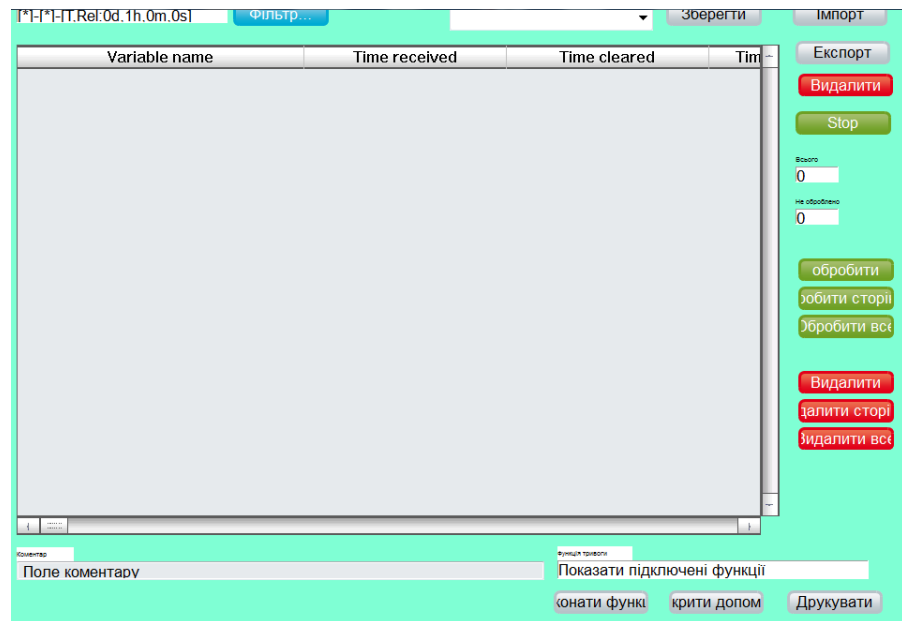


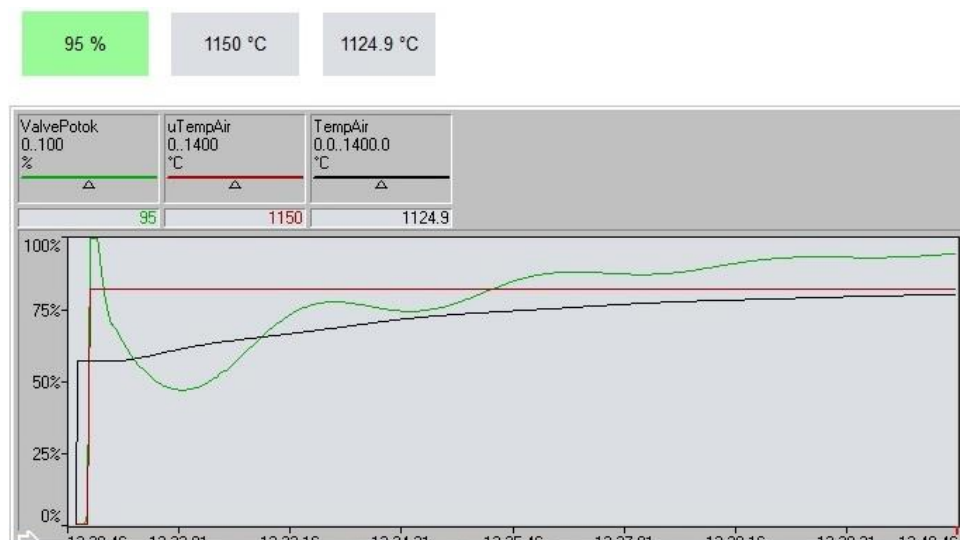
Рисунок 4.11 – Зображення інформаційного списку тривог

4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення

Перевірка функціонування програмного забезпечення виконувалася в режимі симуляції. Замість програмованого логічного контролера використовувався програмний програмований логічний контролер з моделлю об'єкта керування.

В процесі перевірки було встановлено, що робота системи керування виконується відповідно до моделі системи у Matlab.

Тренди відображають правильну інформацію про зміну температури повітря у повітропроводі доменної печі (рис 4.12) та сягають заданого значення.



a)



б)

Рисунок 4.12 – Зображення моніторингу зміни температури повітря у повітропроводі доменної печі

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 програмованого логічного контролера VIPA на базі Zenon Logic що 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

Розвиток технічних, апаратних і програмних засобів, дає можливість підприємствам зменшувати витрати, підвищувати якість продукції, збільшувати швидкість виробництва, автоматизувати процеси і безліч інших рішень.

У цьому розділі приведено економічне обґрунтування доцільності використання системи керування.

5.1 Розрахунок капітальних витрат

5.1.1 Розрахунок трудомісткості розробки програмного забезпечення

Нормування праці в процесі створення програмного забезпечення ускладнене із-за творчого характеру праці програмістів. Тому трудомісткість обробки програмного забезпечення може бути розрахована на основі системи моделей з різною точністю оцінки.

Трудомісткість обробки праці програмного забезпечення можна розрахувати по формулі:

$$t = t_0 + t_d + t_a + t_n + t_{opl} + t_d, \text{ людино-годин} \quad (5.1)$$

де t_0 – витрати праці на підготовку і опис поставленого завдання;

t_d – 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_{opl} – витрати праці на налаштування програм на ЕОМ;

t_d – витрати праці на підготовку документації за завданням.

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

Умовна кількість операторів в програмі:

$$Q = q \cdot c \cdot (1 + p), \quad (5.2)$$

де q – кількість операторів, використовуваних в програмі;

z – коефіцієнт складності програми;

p – коефіцієнт корекції програми в процесі її обробки.

За узгодженням з керівником проекту, значення коефіцієнтів z і p були узяті відповідно до 1,25 і 0,2.

Таким чином, для програми, описаній в кваліфікаційній роботі:

$$Q = 1\ 200 \cdot 1,25 \cdot (1 + 0,2) \text{ операторів.}$$

Оцінка витрат праці на підготовку і опис завдання в цьому д кваліфікаційній роботі складають $t_0 = 10$.

Витрати праці на вивчення опису завдання визначаються з уточненням опису і кваліфікації програміста по формулі:

$$t_u = \frac{Q \cdot B}{(75 \dots 85) \cdot k}, \text{ людино-годин,} \quad (5.3)$$

де B – коефіцієнт збільшення витрат праці $B = 1,2,1,5$;

k – коефіцієнт програміста, які визначається залежно від стажу роботи за фахом.

В даному випадку коефіцієнт $k = 0,8$ - при стажі роботи до 2 років.

Таким чином, витрати праці на вивчення опису завдання :

$$t_d = \frac{1800 \cdot 1,3}{85 \cdot 0,8} = 34,4 \text{ людино-годин.}$$

Витрати праці на обробку алгоритму рішення задачі :

$$t_a = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k}, \text{ людиног-годин,} \quad (5.4)$$

$$t_a = \frac{1800}{25 \cdot 0,8} = 90 \text{ человеко-часов.}$$

Витрати праці на складання програми по готовій блок-схемі:

$$t_n = \frac{Q}{(20...25) \cdot k}, \text{людино-годин}, \quad (5.5)$$

$$t_n = \frac{1800}{25 \cdot 0,8} = 90 \text{ людино-годин.}$$

Витрати праці на налаштування програм ЕОМ розраховуються по формулі, за умови автономного налаштування одного завдання :

$$t_{oml} = \frac{Q}{(4...5) \cdot k}, \text{людино-годин}, \quad (5.6)$$

$$t_{oml} = \frac{1800}{5 \cdot 0,8} = 450 \text{ людино-годин.}$$

Витрати праці на підготовку документації за завданням визначаються по формулі:

$$t_{\partial} = t_{\partial p} + t_{\partial o}, \text{людино-годин}, \quad (5.7)$$

де $t_{\partial p}$ – трудомісткість підготовки матеріалів до рукопису;

$t_{\partial o}$ – трудомісткість редагування, друку і оформлення документації.

$$t_{\partial p} = \frac{Q}{(15...20) \cdot k}; \quad (5.8)$$

$$t_{\partial p} = \frac{1800}{20 \cdot 0,8} = 112,5 \text{ людино-годин,}$$

$$t_{\partial o} = 0,75 \cdot t_{\partial p}; \quad (5.9)$$

$$t_{\partial o} = 0,75 \cdot 112,5 = 84,4 \text{ людино-годин,}$$

$$t_{\partial} = 112,5 + 84,4 = 196,9 \text{ людино-годин,}$$

$$t = 10 + 34,4 + 90 + 90 + 450 + 196,9 = 871,3 \text{ людино-годин.}$$

Таким чином, трудомісткість розробки програмного забезпечення складає 871,3 людино-годин.

5.1.2 Розрахунок витрат на створення програмного забезпечення

Витрати на створення програмного забезпечення ($K_{пз}$) включають витрати на заробітну плату розробника програми і вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми на ЕОМ ($З_{мн}$):

$$K_{пз} = З_{зп} + З_{мн}, \text{ грн.} \quad (5.10)$$

Заробітну плату розробника програми визначається по формулі:

$$З_{зп} = t \cdot C_{пр}, \text{ грн,} \quad (5.11)$$

де t – загальна трудомісткість розробки програмного забезпечення;

$C_{пр}$ – середньо-годинна заробітна плата програміста (основна і додаткова)

з нарахуваннями, грн/годину. $C_{пр} = 45$ грн/годину.

$$З_{зп} = 871,3 \cdot 45 = 37\,408,5 \text{ грн.}$$

Вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми на ЕОМ:

$$З_{мч} = t_{отл} \cdot C_{мч}, \text{ грн,} \quad (5.12)$$

де $t_{отл}$ – трудомісткість відладки програм на ЕОМ;

$C_{мч}$ – вартість машино-години ЕОМ, грн/годину. $C_{мч} = 15$ грн/годину.

$$З_{мч} = 450 \cdot 15 = 6750 \text{ грн,}$$

$$K_{пз} = 37\,408,5 + 6750 = 44\,158,5 \text{ грн.}$$

Таким чином, витрати на створення програмного забезпечення складають 44 158,5 грн

5.1.3 Розрахунок додаткових капітальних витрат

Капітальні витрати - це засоби, призначені для створення і придбання основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації.

Капітальні витрати на розробку створюваної системи видаленого контролю відбиті в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 - Розрахунок капітальних витрат при розробці

| № | Устаткування | Кількість, шт. | Ціна, грн | Монтажно-налагоджувальні роботи, грн | Всього |
|---|---|----------------|------------------|--------------------------------------|------------------|
| 1 | Термоперетворювач ТЕРА ТПР-У-1-29-В-1,2 | 1 | 527,00 | 42,16 | 570,16 |
| 2 | Блок CPU VIPA 200. VIPA 214-2BE03 | 1 | 12 787,20 | 1 022,98 | 13 811,18 |
| 3 | Модуль аналогового входу VIPA 231-1BD40 | 1 | 4 740,30 | 379,22 | 5 120,52 |
| 4 | Модуль комунікаційного процесора VIPA 240-1CA20 | 1 | 8 896,70 | 711,74 | 9 609,44 |
| 5 | Джерело живлення SPD24301 | 2 | 1 810,31 | 144,82 | 1 957,13 |
| | Всього | - | 28 761,51 | 5 164,96 | 31 068,43 |

5.2 Експлуатаційні витрати

Експлуатаційні витрати - це поточні витрати на експлуатацію і обслуговування об'єкта проектування за певний період (наприклад, рік), виражені в грошовій формі:

$$Z_{тек} = C_a + C_з + C_c + C_m + C_э, \quad (5.13)$$

де C_a – амортизаційні відрахування;

$C_з$ – заробітна плата обслуговуючого персоналу;

C_c – відрахування на соціальні заходи від заробітної плати (22% від $C_з$);

C_m – витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт устаткування;

$C_э$ – вартість електроенергії, споживаної об'єктом.

Устаткування, розробленої в кваліфікаційній роботі системи управління, відноситься до 4 групи по мінімальних термінах корисного використання. Передбачуваний термін експлуатації системи складає 5 років.

Розрахунок амортизаційних відрахувань зробимо по методу прискореного зменшення залишкової вартості, де використовується подвоєна норма амортизації:

$$H_A = \frac{2}{t} \cdot 100, \% \quad (5.14)$$

де H_A - коефіцієнт амортизації, долі одиниць.

Перевагою цього методу є те, що впродовж перших років експлуатації об'єкта проектування накопичується значна сума коштів, необхідних для його відновлення.

Отже, норма амортизації для проектованої і альтернативної системи управління складе:

$$H_{a a} = \frac{2}{5} \cdot 100 = 40\%, H_{a пр} = \frac{2}{5} \cdot 100 = 40\%.$$

$$C_a = \frac{ПВ \cdot H_a}{100\%}, \text{ грн} \quad (5.15)$$

де C_a - річна сума амортизації, грн;

ПВ - первинна вартість (капітальні витрати – К), грн.

$$C_a = K \cdot 0,4 = 31\,068,43 \cdot 0,4 = 12\,427,37 \text{ грн.}$$

Розрахуємо заробітну плату обслуговуючого персоналу :

$$C_z = ((T_k - T_{пр} - T_{вих} - T_{отп}) \cdot t_m) \cdot T_{ч}, \text{ грн}, \quad (5.16)$$

де T_k - кількість календарних днів у році;

$T_{пр}$ - кількість днів празників у році;

$T_{отп}$ - кількість днів відпустки у році;

$T_{вих}$ - кількість вихідних днів у році;

t_m - термін зміни;

$T_{ч}$ - середньо-годинна заробітна плата.

$$C_z = (((365 - 10 - 104 - 20) \cdot 8) \cdot 42) = 77\,616 \text{ грн.}$$

Розрахуємо відрахування на соціальні заходи від заробітної плати:

$$C_c = 0,22 \cdot C_z = 0,22 \cdot 77\,616 = 17\,075,52 \text{ грн.}$$

Розрахуємо витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт устаткування:

$$C_t = 0,01 \cdot K = 0,01 \cdot 31\,068,43 = 310,68 \text{ грн.}$$

Розрахуємо вартість електроенергії, споживаної об'єктом:

$$C_e = K_e \cdot d_s \cdot K_d \cdot K_m \cdot T, \text{ грн.} \quad (5.17)$$

де K_e - кількість електроенергії, споживаної на робочому місці за годину;

K_m – кількість місяців в році;

K_m – кількість робочих днів за місяць;

ds – тривалість зміни;

T – тариф на електроенергію для підприємств (для підприємств 2 класу 0,64272 грн. з ПДВ).

$$C_3 = 1 * 8 * 21 * 12 * 0,64272 = 3\ 310,53 \text{ грн.}$$

Експлуатаційні витрати складуть:

$$Z_{тек} = C_a + C_3 + C_c + C_m + C_3, \quad (5.13)$$

$$Z_{тек} = 12\ 427,37 + 77\ 616 + 17\ 075,52 + 310,68 + 3\ 310,53 = 110\ 740,1 \text{ грн.}$$

Таким чином, річні експлуатаційні витрати, пов'язані із застосуванням системи, що розробляється, складатимуть 110 740,1 грн.

Річну економію на поточних витратах ($P_{ЭК}$), визначається по формулі:

$$P_{ЭК} = Z_p - (Z_{тек} + Z_3) \quad (5.18)$$

де $Z_{тек}$ - річні поточні витрати, пов'язані із застосуванням системи;

Z_p - витрати без застосування системи;

Z_3 - витрати після застосування системи.

Розрахуємо річні витрати на рішення задачі без застосування розробленої системи.

За джерельними даними собівартість випуску продукції у середньому зменшиться на 0,5 % (об'єм випуску дорівнює $Z_p = 72\ 000\ 000$ грн.).

Розрахуємо річні витрати на рішення задачі без застосування розробленої системи;

Витрати на рішення задачі після застосування системи:

$$Z_3 = 72\ 000\ 000 * (1,00 - 0,005) = 71\ 640\ 000 \text{ грн.}$$

Визначимо річну економію на поточних витратах:

$$P_{ЭК} = 72\ 000\ 000 - (110\ 740,1 + 71\ 640\ 000) = 249\ 259,9 \text{ грн.}$$

Таким чином, річна економія на експлуатаційних витратах складає 249 3, тис. грн.

5.3 Оцінка економічної ефективності

Оцінка економічної ефективності здійснюється на основі визначення і аналізу наступних показників :

- 1) розрахункового коефіцієнта ефективності капітальних витрат E_p ;
- 2) терміну окупності капітальних витрат $T_{\text{ЭК}}$.

Коефіцієнт ефективності капітальних витрат показує, скільки гривень додаткової економії приносить одна гривна капітальних витрат :

$$E_p = \frac{P_{\text{ЭК}}}{K}, \quad (5.19)$$

де K - капітальні витрати на придбання і впровадження системи керування;

$P_{\text{ЭК}}$ - річна економія.

$E_p = 593\,409,9 / 249\,259,9 = 2,38$ (долі одиниць).

Таким чином, коефіцієнт ефективності капітальних витрат складе 2,38.

Термін окупності капітальних витрат на придбання і впровадження проекту за рахунок загальної економії розраховується по формулі:

$$T_{\text{ЭК}} = \frac{K}{P_{\text{ЭК}}}, \quad (5.20)$$

$T_{\text{ЭК}} = 249\,259,9 / 593\,409,9 = 0,42$.

Таким чином, термін окупності капітальних витрат складе 0,42 року.

Фінансово-економічні показники, що характеризують ефективність створення і використання розробленого проекту відображені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 - Фінансово-економічні показники використання системи, що розробляється

| Найменування | Одиниця виміру | Значення показника |
|--|----------------|--------------------|
| Капітальні витрати на придбання і впровадження системи | грн | 249 259,9 |
| Річні поточні витрати, пов'язані з використанням системи | грн | 110 740,1 |
| Річна економія від впровадження системи | грн | 593 409,9 |
| Коефіцієнт ефективності | долі од. | 2,38 |
| Розрахунковий термін окупності капітальних витрат | років | 0,42 |

5.4. Висновок по розділу

У цьому розділі кваліфікаційної роботи були розраховані економічні показники, які показують економічну доцільність системи, що розробляється.

При впровадженні проектованої системи капітальні витрати складуть 249,3 тис. грн. Річні поточні витрати складають 110,7 тис. грн. Річна економія на поточних витратах складає 593,4 тис. грн. Термін окупності проектних капітальних вкладень за рахунок скорочення експлуатаційних витрат складає 0,42 років. Коефіцієнт ефективності 2,38, тобто кожна гривна капітальних витрат принесе 2,38 грн. прибутку.

Виходячи з розрахованих даних, можна зробити висновок, що впровадження і використання проектованої системи економічно доцільне.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих чинників

В даному розділі розглядається робоче місце в лабораторії кафедри з використанням персонального ЕОМ. Лабораторія включає в себе 4 робочих місця, котрі оснащені персональними комп'ютерами. Електроенергію забезпечує трьох фазна мережа, напругою 220 В, з частотою 50 Гц. Шкідливі та небезпечні фактори лабораторії приведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 - Перелік шкідливих та небезпечних факторів

| Шкідливі та небезпечні фактори | Джерела виникнення | Характер дії на організм людини | Нормативні показники |
|---|--|---|---|
| Підвищений рівень напруженості електромагнітного поля | Монітор ЕОМ | Дерматит шкіри, підвищення температури тіла, головний біль. | ДСТУ 12.1.006-84. Електромагнітні поля радіочастот. Допустимі рівні на робочих місцях і вимоги до проведення контролю |
| Недостатня освітленість місця проведення робіт | Слабке природне освітлювання, недостатня кількість освітлювальних приборів | Вплив на функціонування зорового апарату, на психіку людини, його емоційний стан, викликає втому нервової системи | ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. Норма освітленості Еср – 150 лк |
| Небезпечний рівень напруги в електричному ланцюзі | Оголені дроти, несправність розеток та електронних приладів | Термічний, електричний, механічний та біологічний вплив на організм людини | ДСТУ 12.1.038-82. Електробезпека. Гранично допустимі рівні напруги дотику і струмів. |
| Шуми та вібрація | Рух візку з вантажем, шум двигуна. | Впливають на продуктивність роботи, викликає гіпертонію, виразкові захворювання, головні болі, підвищується тиск. | ДСН 3.3.6.037-99 Санітарних норм виробничого шуму, ультразвуку і інфразвуку. Допустимий рівень шуму: 75 дБА |

6.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці

Згідно з табл. 6.1 для усунення або зменшення впливу небезпечних та шкідливих чинників рекомендуються наступні заходи.

Електромагнітні поля характеризуються напруженням електричних і магнітних полів, найбільш шкідливі для організму людини. Основним джерелом цих проблем, пов'язаних з охороною здоров'я людей, що використовують у своїй роботі автоматизовані інформаційні системи на основі персональних комп'ютерів, є дисплеї (монітори), особливо дисплеї з електронно-променевими трубками. Вони являють собою джерела найбільш шкідливих випромінювань, що несприятливо впливають на здоров'я людини.

Комп'ютери являються джерелами таких випромінювань як:

- рентгенівського;
- ультрафіолетового 200-500 нм;
- видимого 400-700 нм;
- інфрачервоного 700-1050 нм;
- радіочастотного 3 кГц-30 МГц.

Основним джерелом ЕМП у персональному комп'ютері є монітор на електронно-променевій трубці. Порівняно з ним усі інші пристрої для персонального комп'ютера виробляють мінімальне випромінювання, за винятком джерела безперебійного живлення. Раніше застосовували захисні екрани для моніторів. На сьогодні потреби в них майже немає. Адже виробники максимально знизили рівень випромінювання екрана. Захисний екран монтується у корпус монітора. Сучасні технології дають змогу відмовитися від моніторів на електронно-променевій трубці. Нині використовують рідкокристалічні монітори, які ліпші як за технічними параметрами, так і за впливом на здоров'я людини.

Під час роботи з персональним комп'ютером дотримуйте запобіжних заходів:

- розміщувати монітор так, щоб задня його панель (ділянка найбільшого випромінювання) була відвернута від користувача й довколишніх. Ця

рекомендація найбільш актуальна тоді, коли в одному приміщенні розміщують кілька моніторів;

- забезпечити достатню освітленість робочого місця. Це дає змогу користувачу перебувати на необхідній відстані від монітора. Найбільш вдалим освітлювачем у цьому випадку є невелика люмінесцентна лампа;
- робити короткі перерви у роботі.

Створити стовідсотково ефективний захист людини від ЕМП поки не вдалося. Адже довелося б знизити щільність електромагнітного потоку від приладів до рівня природних біологічних об'єктів. А це нереально. Та можна намагатися:

- прибрати електромагнітні поля техногенного походження і замінити їх іншими технологіями на кшталт оптико-волоконного зв'язку (або її аналогіями);
- знизити вплив ЕМП до інтенсивності нижче порогових;
- електромагнітні випромінювання техногенного походження вивести за межі проживання людей або виробничої зони.

Також варто знижувати чутливість людини до ЕМП техногенного походження

Ультрафіолетове випромінювання корисно в невеликих кількостях, але у великих дозах призводить до дерматиту шкіри, головного болю, різі в очах. Інфрачервоне випромінювання призводить до перегріву тканин людини (особливо кришталика ока), підвищення температури тіла. Рівні напруженості електростатичних полів повинні складати не більше 20 кВ / м. Поверхневий електростатичний потенціал не повинен перевищувати 500 В. При підвищеному рівні напруженості полів слід скоротити час роботи за комп'ютером, робити п'ятнадцяти хвилинні перерви протягом півтори години роботи і, звичайно ж, застосовувати захисні екрани. Захисний екран, що виготовляється з дрібної сітки або скла, збирає на собі електростатичний заряд. Для зменшення кількості випромінювання рекомендується встановлення скляних захисних екранів

(рис. 6.1) з функцією «повного захисту», які покращують візуальні параметри зображення, знижують відблиски, поліпшують контрастність. Також вони значно знижують тиск на зір і, серед всіх засобів захисту, мають максимальну електромагнітної безпекою. Або встановлення новітніх ЖК моніторів з вмонтованим захисним фільтром.



Рисунок 6.1 – Захисний скляний екран

Таблиця 6.2 - Характеристика робочого місця

| № | Дата вимірювання (число і місяць) | Характеристика робочого місця | Енерговитрати організму, ккал/год | Категорія та підкатегорія робіт | Пора року |
|---|--------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------|
| 1 | 02.12 | непостійне | 95 | Легкі фізичні роботи | холодний |

У зв'язку з тим, що природне освітлення слабе, на робочому місці має застосовуватися також штучне освітлення. Висота приміщення 3 м, ширина 5 м, а довжина робочої зони 6 метрів. Виходячи з цього пропонується встановити 4 лампи на відстані 3 м одна від одної. Схема розташування світильників представлена на рис. 6.2.

Таблиця 6.3 – Параметри оцінювання мікроклімату робочого місця

| Параметр мікроклімату | | Задовольняє/не задовольняє* | Висновки** | | |
|-----------------------|------------|-----------------------------|--------------------|------|--|
| Найменування | Значення | | | | |
| | | | | | |
| фактична | 20 | не задовольняє | Збільшити значення | на 2 | |
| | | | Зменшити значення | | |
| | Оптимальна | | 22-24 | | |
| | Допустима | | 18-26 | | |
| | | | | | |
| фактична | 75 | задовольняє | Збільшити значення | | |
| | | | Зменшити значення | | |
| | Оптимальна | | 60-40 | | |
| | Допустима | | 75 | | |
| | | | | | |
| фактична | 0,1 | задовольняє | Збільшити значення | | |
| | | | Зменшити значення | | |
| | Оптимальна | | 0,1 | | |
| | Допустима | | не більше 0,1 | | |

В цілому параметри мікроклімату в даному приміщенні задовольняють вимогам ДСН 3.3.6.042-99, окрім температури яку потрібно збільшити до 2 градуси.

Для визначення необхідного світлового потоку ламп в кожному світильнику було використано наступну формулу:

$$\Phi = E * r * S * z / N * h, \text{ лм} \quad (6.1)$$

$$\Phi = 300 * 1,3 * 25 * 1,1 / 2 * 0,3 = 21450 \text{ лм.}$$

Із розрахунку видно , що для освітлення приміщення потрібні світильники з лампами 2x40 Вт із загальним потоком 5700 лм.

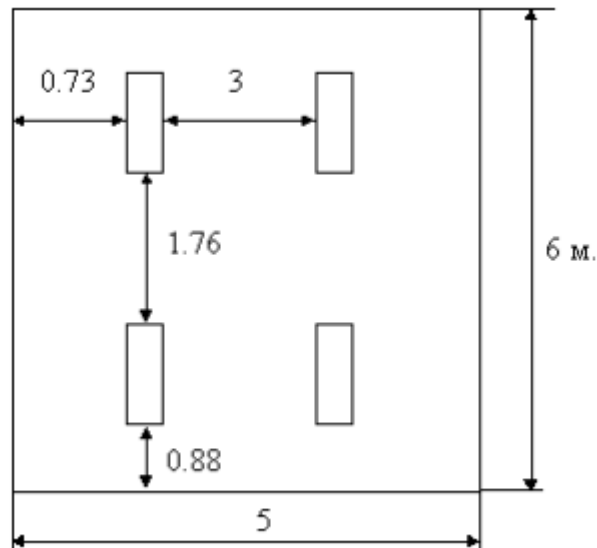


Рисунок 6.2 – Схема розташування світильників.

Приміщення лабораторії за небезпекою поразки електричним струмом можна віднести до 1 класу, тобто це приміщення без підвищеної небезпеки (сухе, з нормальною температурою повітря, ізольованими підлогами і малим числом заземлених приладів).

Найбільшу електробезпеку в лабораторії створюють більшість споживачів електроенергії, такі як системні блоки, блоки живлення та інші. Згідно з ПУЕ усі електричні прилади повинні бути заземлені. Також причиною ураження електричним струмом можуть бути дотики до металевих неструмоведучих частин (корпусу, периферії комп'ютера), які можуть опинитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції. Для уникнення таких випадків необхідно усі дроти, які проходять по лабораторії, прокласти в спеціальних пластикових трубах або закритих каналах, тощо. В електричній мережі повинен бути захист від струмів короткого замикання, що забезпечує по можливості в найкоротший термін відключити живлення.

Захист повинний забезпечувати відключення пошкодженої ділянки при КЗ в кінці лінії що захищається. Автоматичні вимикачі і запобіжники пробочного типу повинні приєднуватися до мережі так, щоб при викрученій пробці запобіжника (автоматичного вимикача) гвинтова гільза запобіжника (автоматичного вимикача) залишалася без напруги. Виходячи з цього було встановлено автоматичний вимикач Moeller PLHT C 80A. Схема підключення автомату зображена на рис. 6.3.

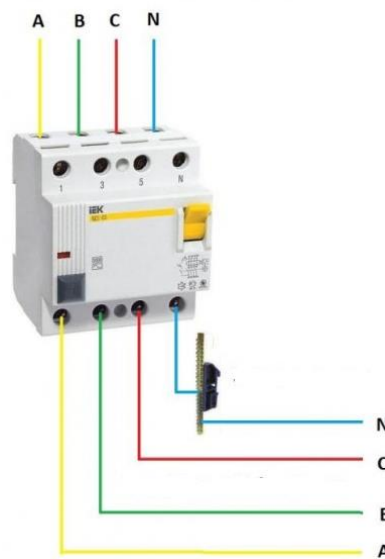


Рисунок 6.3 – Схема підключення трьох фазного автомата.

Основними чинниками утворення шуму та вібрації в лабораторії є працюючий електродвигун, конструкція дослідницького стенду. Загальний рівень шуму в лабораторії складає 70 дБА. Нормований рівень звуку повинен бути в діапазоні від 0 до 70..85 дБА, згідно з ДСН 3.3.6.037-99.

Для зменшення шуму рекомендується встановити акустичні екрани (рис. 6.3), розмірами 1500x800x40 мм біля кожного робочого місця. Ефективність акустичного екрану досягає значення 8-12 дБА.



Рисунок 6.4 – Акустичний екран.

6.3 Заходи з ергономіки

Дослідницька діяльність змушує тривалий час перебувати в сидячому положенні, яке є вимушеною позою, тому організм постійно відчуває нестачу в рухливості і активної фізичної діяльності. При виконанні роботи сидячи велику роль відіграє плечовий пояс. Переміщення рук в просторі впливає не тільки на роботу м'язів плечового поясу і спини, але і на стан хребта, тазу і навіть ніг.

Щоб виключити виникнення захворювань необхідно мати можливість вільної зміни поз. Необхідно дотримуватися режиму праці та відпочинку з перервами, що заповнюються "відволікаючими" м'язовими навантаженнями на ті ланки опорно-рухового апарату, які не включені в підтримку основної робочої пози.

За умовами роботи робоче місце відноситься до індивідуального робочого місця для роботи сидячи.

Робоче місце повинне займати площу не менше 6 м², висота приміщення повинна бути не менше 4 м, а обсяг - не менше 20 м³ на одну людину. Після проведення аналізу робочого місця програміста в лабораторії було з'ясовано, що площа даного робочого місця становить 4 м², а обсяг 12 м³, що не відповідає наведеним вимогам. Також в результаті аналізу було виявлено порушення в

організації безпосередньо самого робочого місця. У зв'язку з цим запропоновано організувати робоче місце, в такий спосіб:

- висота над рівнем підлоги робочої поверхні повинна становити 720 мм.
- оптимальні розміри поверхні столу 1600 x 1000 кв. мм.
- під столом повинно бути простір для ніг з розмірами по глибині 650 мм.
- робочий стіл оператора повинен також мати підставку для ніг, розташовану під кутом 15° до поверхні столу. Довжина підставки 400 мм, ширина - 350 мм.
- відстань клавіатури від краю столу повинна бути не більше 300 мм, що забезпечить оператору зручну опору для передпліччя.
- відстань між очима оператора і екраном відеодисплея має становити 40 - 80 см.
- робочий стілець програміста повинен бути забезпечений підйомно-поворотним механізмом. Висота сидіння повинна регулюватися в межах 400 - 500 мм.
- глибина сидіння повинна складати не менше 380 мм, а ширина - не менше 400 мм.
- висота спинки стільця не менше 300 мм, ширина - не менше 380 мм.

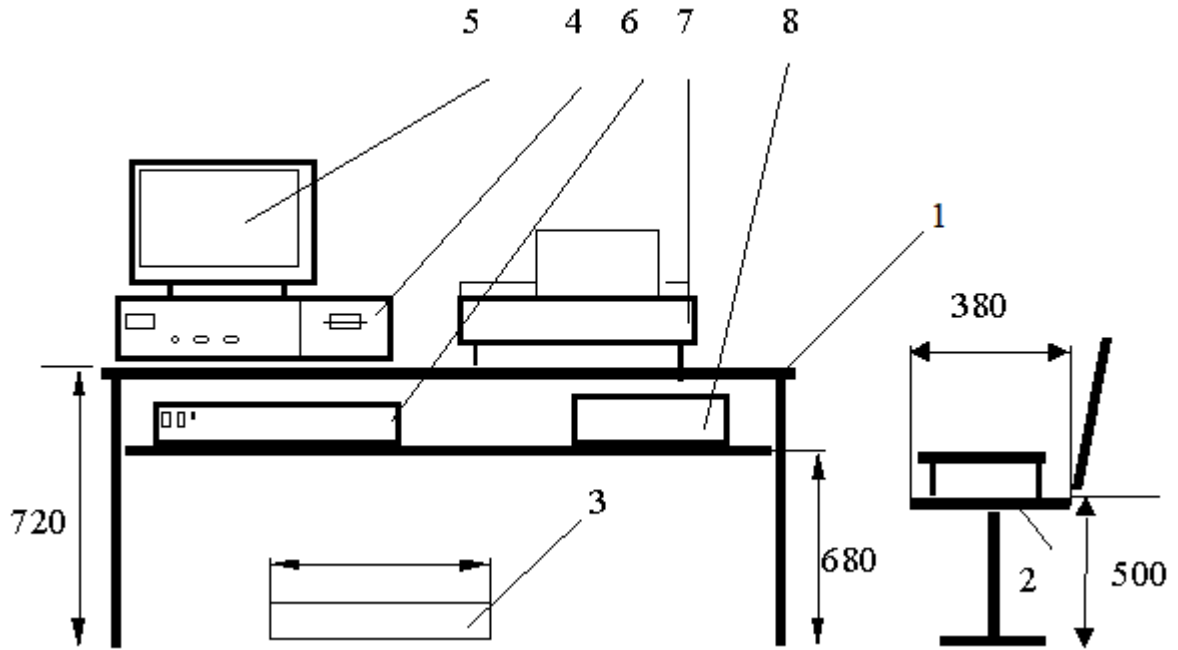


Рисунок 6.5 – Схема робочого місця:

1 – стіл, 2 – стілець, 3 – підставка для ніг, 4 – системний блок, 5 – монітор, 6 – клавіатура, 7 – принтер, 8 – лоток для документів.

Відповідно з вимогами до індивідуального робочого місця, запропоноване розташування робочих місць в лабораторії показано на рис. 6.5.

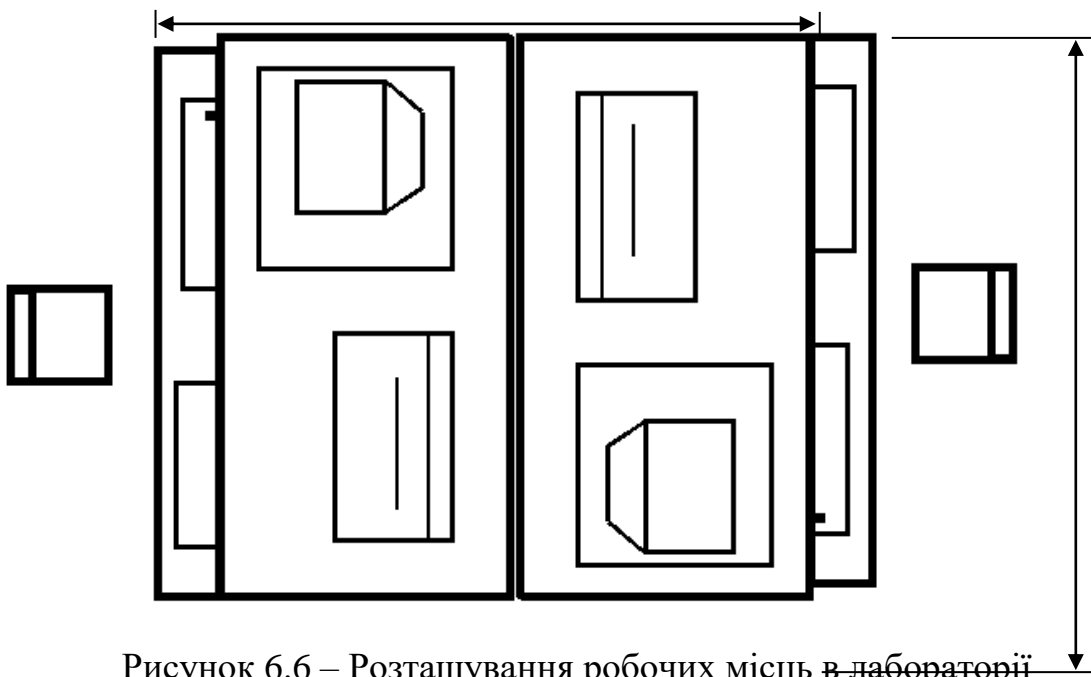


Рисунок 6.6 – Розташування робочих місць в лабораторії

6.4 Розрахунок освітленості

Було обрано підвісний світлодіодний світильник SPC0620002 STORA. Квадратний освітлювальний елемент з панеллю мікропризми, вмонтований у профільну раму з алюмінію з полімерним покриттям. Світильник підвішений на дроті підвіска зі стельовим кріпленням і прозорим з'єднувальним кабелем з прямокутною стельовою розподільною коробкою з порошковим покриттям. Довжину кабелю можна регулювати в стельовій розподільній коробці, сталевий дріт можна плавно регулювати по висоті у світильника.

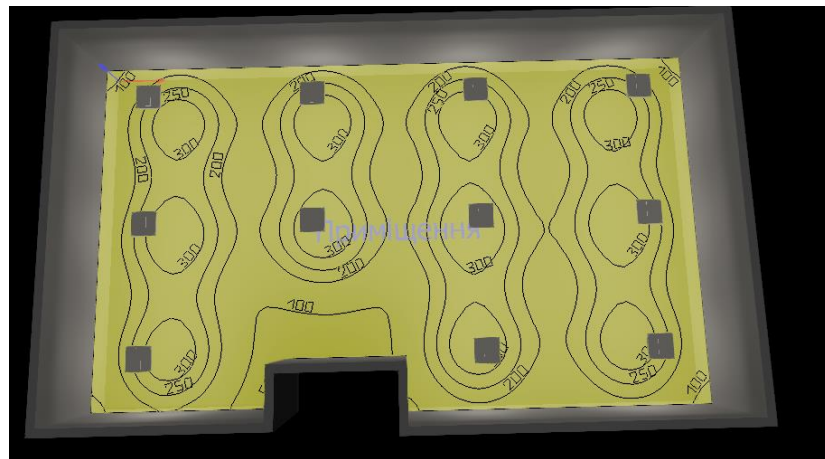


Рисунок 6.7 - Оцінка освітленості в приміщенні

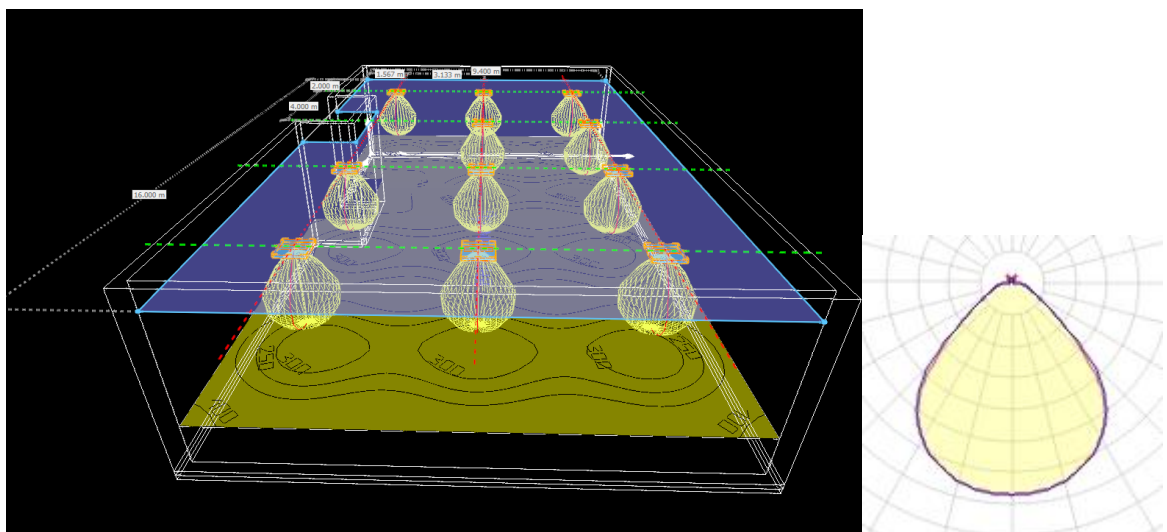


Рисунок 6.8 - Побудова кривої сили світла

У верхній частині світильника пристрій керування розміщено під кришкою, яку можна зняти для обслуговування за допомогою отворів у формі ключа. Світлодіодний модуль сформований у вигляді квадратної плоскої плати. Світильник з термостійкою проводкою. Варіант підходить для офісних робочих місць з мікропризмовою панеллю MPS. Світлодіодні плями видно у вигляді кіл на панелі мікропризм. Світлі кольори 4000 К (840) або 3000 К (830). Також у версії з можливістю димування. Клас захисту IP20, клас захисту I.

6.5 Пожежна профілактика

Серед основних причин виникнення пожежі можна виділити наступні: несправність електрообладнання, вихід з ладу вузлів автоматичного захисту від коротких замикань в електрообладнанні, невиконання умов електробезпеки при проектуванні електрооснащення або при виконанні електромонтажних робіт, неправильне вирішення систем витяжної вентиляції, порушення правил пожежної безпеки. Приміщення відноситься до категорії В по, тому що це приміщення, де перебувають тверді горючі та важкогорючі речовини та матеріали (дерево, папір, картон), а також має зону класу П-Па.

Приміщення відповідно до класифікації відноситься до III ступеня вогнестійкості, тобто це горючі (спалювані) речовини та матеріали, які здатні самозайматися від джерела запалення і самостійно горіти після його віддалення. Виходячи з установленого ступеня вогнестійкості, можна зробити висновок, що мінімальна протипожежна відстань між сусідніми будівлями повинна складати не менш дванадцяти метрів. В даному випадку ця відстань перевищує дванадцять метрів.

Будівля складається із десяти поверхів; ширина сходів, дверей і евакуаційних шляхів складає 1,5 м., 1 м., 1,1 м. - відповідно. Евакуація людей здійснюється через евакуаційні виходи; на кожний поверх будинку приходиться по два евакуаційних входи.

Блискавкозахист будівлі здійснюється відповідно до третьої категорії організації захисту будинків від блискавок. До третьої категорії відносяться

будинки, для яких прямий удар блискавки може викликати пожежу, механічні ушкодження будівель й ураження людей. Блискавкозахист будівель цієї категорії досягається блискавковідводами будь-якої модифікації.

Для гасіння пожежі в початковій стадії у приміщенні є такі первинні засоби пожежогасіння: вогнегасники ВВ-5, що спеціально призначені для гасіння горючих електроустановок, що знаходяться під струмом

У коридорному приміщенні будівлі застосовано спеціальні пожежні крани, їх слід установлювати на висоті 1,35 м над підлогою приміщення, переважно біля виходів з приміщень або на сходових клітках, що опалюються, у вестибюлях, коридорах або проходах. Вони повинні розташовуватись у спеціальних шафах та споряджатися пожежними рукавами завдовжки 10 або 20 м разом зі стволами. Пожежні крани гасять пожежу водою витратою 2,5 л/с; довжина шлангу – 10 м, а також ящик з піском, лопата. Пожежні крани відносяться до стаціонарних технічних засобів тушіння пожеж. Приміщення обладнане автоматичною системою протипожежної сигналізації.

Для профілактики пожеж рекомендується наступне:

- виконання правил пожежної безпеки при роботі з комп'ютером;
- не використовувати відкриті обігрівальні прилади в приміщенні лабораторії
- вчасно виявляти й усувати несправності, проводити плановий огляд і своєчасно усувати всі несправності електрообладнання;
- заборона паління в приміщенні;
- навчання персоналу правилам протипожежної безпеки та навчити використанню первинних засобів пожежогасіння.

Для запобігання пожеж потрібно встановити автоматичну пожежну сигналізацію.

6.6 Безпека у надзвичайних ситуаціях

Було промодельоване вибух балону водню, модель розподілу наведена на рис. 6.9.

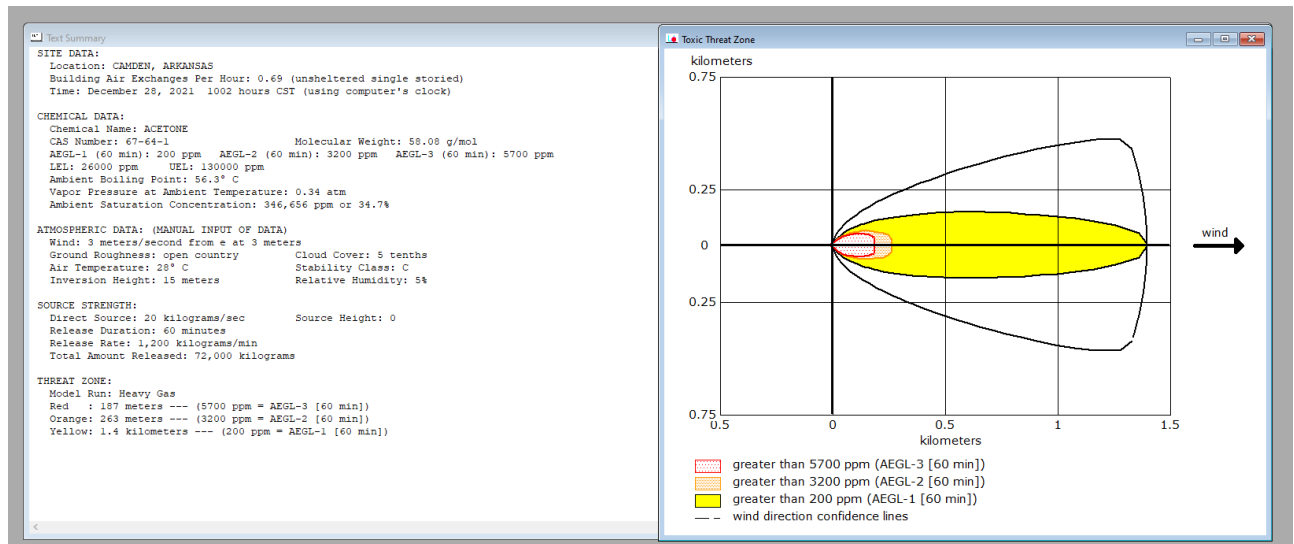


Рисунок 6.9 - Вихідні дані та графік розрахунку вибухової хвилі



Рисунок 6.10 - Відображення на ГІС-мапі у масштабі

Проаналізовано профілактичні заходи щодо дій у надзвичайних ситуаціях на рис. 6.11


| ВОДОРОД | | ICSC: 0001 (Квітень 2014) | |
|--|---|---|---|
| CAS #: 1333-74-0 UN #: 1049 EINECS#: 215-605-7 | | | |
| | ОСОБЛИВІ НЕБЕЗПЕКИ | ПРОФІЛАКТИЧНІ ЗАХОДИ | ТУШІННЯ ПОЖЕЖІ |
| ПОЖЕЖА І ВИБУХ | Надзвичайно легкозаймисте. Багато реакцій можуть призвести до пожежі або вибуху. Суміш газу із повітрям вибухонебезпечна. | НЕ використовувати відкритий вогонь, НЕ допускати утворення іскор, НЕ КУРИТИ. Замкнута система, вентиляція, вибухозахищене електричне обладнання та освітлення. Використовувати ручний інструмент, що не утворює іскри. Не брати балони замаскованими руками. | Перекрити надходження, якщо неможливо і немає ризику оточення, дати вогню прогорти. В інших випадках гасити розпиленою водою, порошком, двоокисом вуглецю. У разі пожежі охолоджувати балон розпиленою водою. Боротися з вогнем із укриття. |
| Застосовувати відповідні інженерні заходи контролю. | | | |
| | СИМПТОМИ | ПРОФІЛАКТИЧНІ ЗАХОДИ | ПЕРША ДОПОМОГА |
| Вдихання | Запаморочення. Головний біль, млявість. Задиха. | Застосовувати вентиляцію. | Свіже повітря, спокій. |
| Шкіра | ПРИ КОНТАКТІ З ГАЗОМ: ОБМОРОЖЕННЯ. | Рукавички для захисту від холоду. | ПРИ ОБМОРОЖЕННІ: промити великою кількістю води, НЕ видаляти одяг. Звернутися за медичною допомогою. |
| Очі | ПРИ КОНТАКТІ З ГАЗОМ: ОБМОРОЖЕННЯ. | Використовувати маску для обличчя. | ПРИ ОБМОРОЖЕННІ: промити великою кількістю води. негайно звернутися за медичною допомогою. |
| Прокотування | | | |
| ЛІКВІДАЦІЯ ВИТОКІВ | | КЛАСИФІКАЦІЯ ТА МАРКУВАННЯ | |
| Залишити небезпечну зону! Проконсультуватися зі спеціалістом! Вентилувати. Видалити всі джерела займання. Видалити пару за допомогою водного аерозолу. | | Згідно з критеріями СМР ООН | |
| ЗБЕРІГАННЯ | |  | |
| Забезпечити вогнестійкість. Прохолодне місце. Вентиляція вздовж підлоги та стелі. Окремо від матеріалів, що окислюють. | | | |
| УПАКОВКА | | Надзвичайно легкозаймистий газ Містить газ під тиском, при нагріванні може вибухнути Транспортування Класифікація ООН Клас небезпечки ООН: 2.1 | |

Рисунок 6.11 - Профілактичні заходи та перша допомога при вибуху водню

6.7 Висновки по розділу

У розділі розглянуті та проаналізовані шкідливі та небезпечні чинники, на робочому місці. Розроблені інженерно-технічні заходи щодо запобігання або зменшення впливу шкідливих та небезпечних чинників, а також питання пожежної профілактики та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота пройшла апробацію на IX Всеукраїнській науково-технічній конференції[16] студентів, аспірантів та молодих вчених «МОЛОДЬ: НАУКА ТА ІННОВАЦІЇ». Секція Кіберфізичні та інформаційно-вимірювальні системи, НТУ «Дніпровська політехніка», 12 листопада 2021 року

У результаті виконання кваліфікаційної роботи складено висновки:

Для системи керування доменним повітрянагрівачом доменної печі обрано комплекс технічних засобів на базі мікропроцесорного контролеру VIPA 200 та програмний комплекс SCADA системи Zenon, виконано розробку необхідних технічних документів

Для процесу підготовки повітря для доменної печі для каналу керування «Положення змішувального клапану – температура повітря» передаточна характеристика являє собою аперіодичну ланку другого порядку з запізненням 15 секунд. Дослідження за допомогою П-образного впливу показало симетричність моделі, та відсутність інтегруючої складової. Дослідження об'єкта графічним методом по вихідній характеристиці після подачі вхідного сигналу визначило наступні характеристики: час наростання дорівнює приблизно 170 с., час встановлення складає приблизно 200 с., перерегулювання відсутнє.

Для процесу підготовки гарячого повітря для доменної печі по каналу положення змішувального клапана – температура гарячого повітря після проведеного дослідження передавальної характеристики, було отримано модель системи керування, визначено структуру та параметри регулятора, оцінено роботу системи згідно з висунутими критеріями, визначено допустиму межу зміни коефіцієнту «к» при впливі збурення на вихідний параметр системи керування.

Дія збурення на вихідний параметр системи керування має вплив, та залежить від знака та значення збурення. Для об'єкта керування з коефіцієнтом «к=3.5564» збурення критично впливає на вихідний параметр при негативному

знаку зі значенням $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ та більше. Позитивне значення збурення впливає на вихідний параметр при значенні $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ та більше.

Дія збурення на вихідний параметр системи керування має вплив, ще більше при зниженні коефіцієнту «к» об'єкта керування. Критичне значення коефіцієнту «к» сягає $k=2,13384$. Вже при цьому значенні коефіцієнту «к» система керування не має запасу стійкості при впливі негативного збурення на вихідний параметр, що зобов'язує виконати заново розрахунок параметрів регулятора.

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 програмованого логічного контролера VIPA на базі Zenon Logic що 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.

При впровадженні проектованої системи капітальні витрати складуть $249,3$ тис. грн. Річні поточні витрати складають $110,7$ тис. грн. Річна економія на поточних витратах складає $593,4$ тис. грн. Термін окупності проектних капітальних вкладень за рахунок скорочення експлуатаційних витрат складає $0,42$ років. Коефіцієнт ефективності $2,38$, тобто кожна гривна капітальних витрат принесе $2,38$ грн. прибутку.

Розглянуті та проаналізовані шкідливі та небезпечні чинники, на робочому місці. Розроблені інженерно-технічні заходи щодо запобігання або зменшення впливу шкідливих та небезпечних чинників, а також питання пожежної профілактики та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. **Металургійна промисловість України – Access mode:**
https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%83%D1%80%D0%B3%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B0_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8.
2. **Основи металургійного виробництва металів і сплавів: Підручник /** Д.Ф. Чернега, В.С. Богушевський, Ю.Я. Готвянський та ін. – К.: Вища шк., 2006. – 503 с.
3. **Машины и агрегаты металлургических заводов / Целиков А.И.,** Полухин П.И., Гребеник В.М. и др./ М.: Металлургия, т.1 – Машины и агрегаты доменных цехов. 1987. – 48-57 с.
4. **ГОСТ 34.003-90. Інформаційна технологія. Комплекс стандартів на автоматизовані системи. Автоматизовані системи. Терміни, і визначення. -** М.: Держстандарт, 1992. - 54 с.
5. **ГОСТ 2.702-75. ЕСКД. Правила виконання електричних схем. -** К.: Держстандарт. 1995. - 115 з.
6. **ГОСТ 2.737-68. ЕСКД. Умовні графічні зображення у схемах. Пристрої зв'язку. -** М.: Держстандарт, 1995. - 115 с.
7. **ГОСТ 19.201-78. ЕСПД. Єдина система програмної документації. Технічне завдання. Вимоги до змістом і оформленням. -** М.: Держстандарт, 1982. - 128 с.
8. **ГОСТ 19.401-78. ЕСПД. Єдина система програмної документації. Текст програми. Вимоги до змісту та оформлення. -** М.:Держстандарт, 1982. - 128 с.
9. **ГОСТ 19.404-79. ЕСПД Єдина система програмної документації. Пояснювальна записка. Вимоги до змісту та оформлення. -** М.: Держстандарт, 1982. - 128 с.

10. ГОСТ 19.701-90. ЕСПД. Єдина система програмної документації. Схема алгоритмів, програм, даних і систем. Позначення умовні і правила виконання. - М.: Держстандарт, 1990. - 128 с.

11. Панько М. А. Расчет и моделирование автоматических систем регулирования в среде Mathcad: Учебное пособие. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 112 с.

12. ГОСТ 12.1.004-85 «Пожежний безпеку. Загальні вимоги»

13. ГОСТ 12.1.010-76 «Вибухобезпека. Загальні вимоги»

14. ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання / Нац. стандарт України. – Вид. офіц. – [чинний від 2017-07-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 27 с.

15. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання / Нац. стандарт України. – Вид. офіц. – [Уведено вперше ; чинний від 2016-07-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 17 с.

16. Музалевський В.В. Дослідження та синтез системи керування процесу підготовки гарячого дуття доменної печі / В.В. Музалевський, К.В. Соснін // ІХ Всеукраїнській науково-технічній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «МОЛОДЬ: НАУКА ТА ІННОВАЦІЇ». Секція Кіберфізичні та інформаційно-вимірювальні системи, НТУ «Дніпровська політехніка» (12 листопада 2021 року): збірник трудов (секційні доклади) / НТУ «Дніпровська політехніка» –Дніпро, 2021. – с. 366.

Програмні модулі системи керування

A.1 Модуль об'єкта керування

```

(*)
*
* File: AnalogDigitalMuzalevskiy.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"AnalogDigitalMuzalevskiy/Subsystem3"
*
* Model name           : AnalogDigitalMuzalevskiy
* Model version        : 1.57
* Model creator        : STUDENT
* Model last modified by : STUDENT
* Model last modified on : Fri Dec 03 13:06:37 2021
* Model sample time    : 1s
* Subsystem name       : AnalogDigitalMuzalevskiy/Subsystem3
* Subsystem sample time : 1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on   : Wed Dec 08 10:15:25 2021
*
* Target IDE selection   : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included    : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK Subsystem3
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    bi_Input: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_Output: LREAL;
END_VAR
VAR
    u1_states: LREAL;
    u1_states_o: LREAL;
    Delay2_DSTATE: ARRAY [0..14] OF LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    k: DINT;

```

```

i: DINT;
u1: LREAL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
  SS_INITIALIZE:

    (* InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay2' *)
    FOR i := 0 TO 14 DO
      Delay2_DSTATE[i] := 0.0;
    END_FOR;
    (* End of InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay2' *)

    (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Об'єкт керування 2 у
цифровій формі1' *)
    u1_states := 0.0;

    (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Об'єкт керування 1 у
цифровій формі1' *)
    u1_states_o := 0.0;
  SS_STEP:

    (* Output: '<Root>/bo_Output' incorporates:
    * Constant: '<S1>/Температура повітря4'
    * Delay: '<S1>/Delay2'
    * Sum: '<S1>/Sum17' *)
    bo_Output := Delay2_DSTATE[0] + 800.0;

    (* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Об'єкт керування 1 у цифровій формі1' *)
    u1 := 0.049394330896711 * u1_states_o;

    (* Update for Delay: '<S1>/Delay2' incorporates:
    * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Об'єкт керування 2 у цифровій формі1' *)
    FOR k := 0 TO 13 DO
      Delay2_DSTATE[k] := Delay2_DSTATE[k + 1];
    END_FOR;
    Delay2_DSTATE[14] := 0.028981768345493 * u1_states;
    (* End of Update for Delay: '<S1>/Delay2' *)

    (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Об'єкт керування 2 у цифровій
формі1' *)
    u1_states := u1 - (-0.971018231654507 * u1_states);

    (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Об'єкт керування 1 у цифровій
формі1' incorporates:

```

```
    * Update for Inport: '<Root>/bi_Input' *)
    u1_states_o := bi_Input - (-0.986111143038828 * u1_states_o);
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: AnalogDigitalMuzalevskiy.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"AnalogDigitalMuzalevskiy/Subsystem2"
*
* Model name           : AnalogDigitalMuzalevskiy
* Model version        : 1.57
* Model creator        : STUDENT
* Model last modified by :
* Model last modified on : Fri Dec 03 13:06:37 2021
* Model sample time    : 1s
* Subsystem name       : AnalogDigitalMuzalevskiy/Subsystem2
* Subsystem sample time : 1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on  : Wed Dec 08 10:11:26 2021
*
* Target IDE selection  : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included   : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK Subsystem2
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    bi_Error: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_Output: LREAL;
END_VAR
VAR
    u_states: LREAL;
    u_DSTATE: LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    rtb_Saturation1: LREAL;
    rtb_u: LREAL;
    u_tmp: LREAL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:

```

```
(* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S1>/Інтегруюча складова1' *)
u_DSTATE := 0.0;
```

```
(* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Диференціююча складова
у цифровій формі1' *)
```

```
u_states := 0.0;
SS_STEP:
```

```
(* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Диференціююча складова у цифровій формі1'
incorporates:
```

```
* Inport: '<Root>/bi_Error' *)
```

```
u_tmp := bi_Error - (-0.923644411402271 * u_states);
```

```
(* Gain: '<S1>/Пропорційна складова2' incorporates:
```

```
* DiscreteIntegrator: '<S1>/Інтегруюча складова1'
```

```
* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Диференціююча складова у цифровій формі1'
```

```
* Inport: '<Root>/bi_Error'
```

```
* Sum: '<S1>/Sum13' *)
```

```
rtb_u := (((1.3502779984114379 * u_tmp) + (-1.2739224098137081 * u_states)) +
(u_DSTATE + bi_Error)) * 0.584;
```

```
(* Saturate: '<S1>/Saturation1' *)
```

```
IF rtb_u >= 100.0 THEN
```

```
    rtb_Saturation1 := 100.0;
```

```
ELSIF rtb_u > 0.0 THEN
```

```
    rtb_Saturation1 := rtb_u;
```

```
ELSE
```

```
    rtb_Saturation1 := 0.0;
```

```
END_IF;
```

```
(* End of Saturate: '<S1>/Saturation1' *)
```

```
(* Outport: '<Root>/bo_Output' *)
```

```
bo_Output := rtb_Saturation1;
```

```
(* Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Інтегруюча складова1' incorporates:
```

```
* Gain: '<S1>/Ti2'
```

```
* Inport: '<Root>/bi_Error'
```

```
* Sum: '<S1>/Sum8'
```

```
* Sum: '<S1>/Sum9' *)
```

```
u_DSTATE := ((rtb_Saturation1 - rtb_u) + (0.010660980810234541 * bi_Error)) +
u_DSTATE;
```

```
(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Диференціююча складова у цифровій
формі1' *)
```

```
u_states := u_tmp;
```

```
END_CASE;  
END_FUNCTION_BLOCK  
VAR_GLOBAL CONSTANT  
    SS_INITIALIZE: SINT := 0;  
    SS_STEP: SINT := 1;  
END_VAR  
VAR_GLOBAL  
END_VAR
```

Програмне забезпечення системи керування

Б.1 Програмне забезпечення об'єкта керування

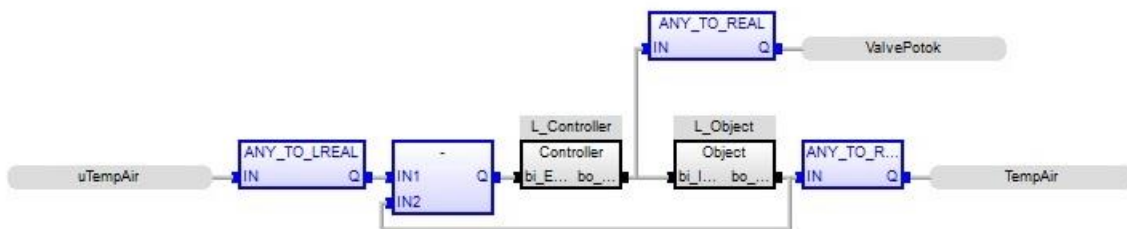
Б.1.1 Список програм

[FBD] Main (* Основна програма *)

[ST] Object (* Об'єкт керування *)

[ST] Controller (* Засіб керування *)

Б.1.2 Основна програма



Б.1.3 Об'єкт керування

(* Outport: '<Root>/bo_Output' incorporates:

* Constant: '<S1>/Температура повітря4'

* Delay: '<S1>/Delay2'

* Sum: '<S1>/Sum17' *)

bo_Output := Delay2_DSTATE[0] + 800.0;

(* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Об'єкт керування 1 у цифровій формі1' *)

u1 := 0.049394330896711 * u1_states_o;

(* Update for Delay: '<S1>/Delay2' incorporates:

* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Об'єкт керування 2 у цифровій формі1' *)

FOR k := 0 TO 13 DO

 Delay2_DSTATE[k] := Delay2_DSTATE[k + 1];

END_FOR;

Delay2_DSTATE[14] := 0.028981768345493 * u1_states;

(* End of Update for Delay: '<S1>/Delay2' *)

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Об'єкт керування 2 у цифровій формі1' *)

u1_states := u1 - (-0.971018231654507 * u1_states);

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Об'єкт керування 1 у цифровій формі1' incorporates:

```
* Update for Inport: '<Root>/bi_Input' *)
    u1_states_o := bi_Input - (-0.986111143038828 * u1_states_o);
```

Б.1.4 Засіб керування

(* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Диференціююча складова у цифровій формі1' incorporates:

```
* Inport: '<Root>/bi_Error' *)
    u_tmp := bi_Error - (-0.923644411402271 * u_states);
```

(* Gain: '<S1>/Пропорційна складова2' incorporates:

```
* DiscreteIntegrator: '<S1>/Інтегруюча складова1'
```

```
* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Диференціююча складова у цифровій формі1'
```

```
* Inport: '<Root>/bi_Error'
```

```
* Sum: '<S1>/Sum13' *)
```

```
rtb_u := (((1.3502779984114379 * u_tmp) + (-1.2739224098137081 * u_states)) +
(u_DSTATE + bi_Error)) * 0.584;
```

```
(* Saturate: '<S1>/Saturation1' *)
```

```
IF rtb_u >= 100.0 THEN
```

```
    rtb_Saturation1 := 100.0;
```

```
ELSIF rtb_u > 0.0 THEN
```

```
    rtb_Saturation1 := rtb_u;
```

```
ELSE
```

```
    rtb_Saturation1 := 0.0;
```

```
END_IF;
```

```
(* End of Saturate: '<S1>/Saturation1' *)
```

```
(* Outport: '<Root>/bo_Output' *)
```

```
bo_Output := rtb_Saturation1;
```

```
(* Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Інтегруюча складова1' incorporates:
```

```
* Gain: '<S1>/Ti2'
```

```
* Inport: '<Root>/bi_Error'
```

```
* Sum: '<S1>/Sum8'
```

```
* Sum: '<S1>/Sum9' *)
```

```
u_DSTATE := ((rtb_Saturation1 - rtb_u) + (0.010660980810234541 * bi_Error)) +
u_DSTATE;
```

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Диференціююча складова у цифровій формі1' *)

```
u_states := u_tmp;
```

Б.1.5 Перелік змінних

Global variables

TempAir

REAL

Embedded: <Symbol>

uTempAir

REAL

Embedded: <Symbol>

ValvePotok

REAL

Embedded: <Symbol>

Main

l_Controller

Controller

l_Object

Object

Controller

bi_Error

REAL

bo_Output

REAL

u_states

REAL

u_DSTATE

REAL

rtb_Saturation1

REAL

rtb_u

REAL

u_tmp

REAL

Object

bi_Input

REAL

bo_Output

REAL

u1_states

REAL

u1_states_h

REAL

Delay2_DSTATE

REAL [0..269]

k

DINT

i

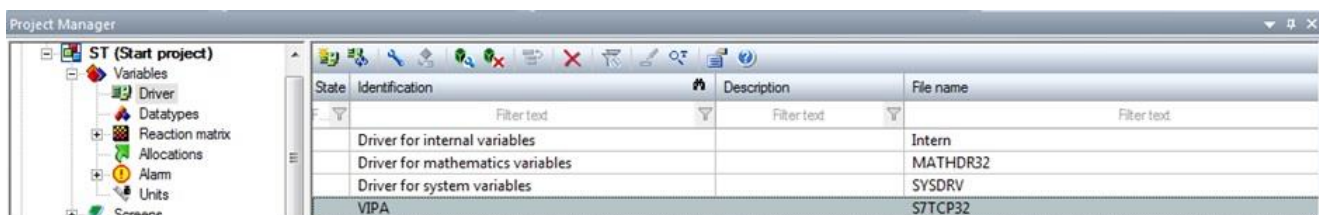
DINT

u1

REAL

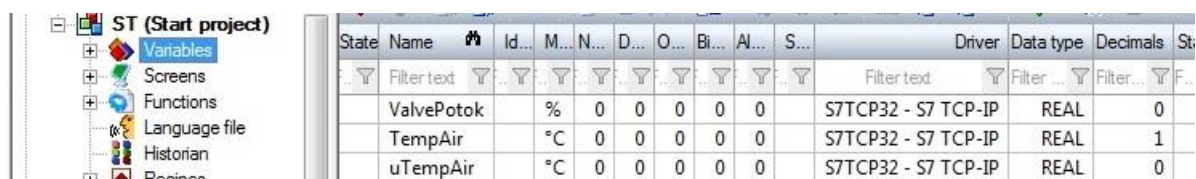
Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу

В.1 Драйвера



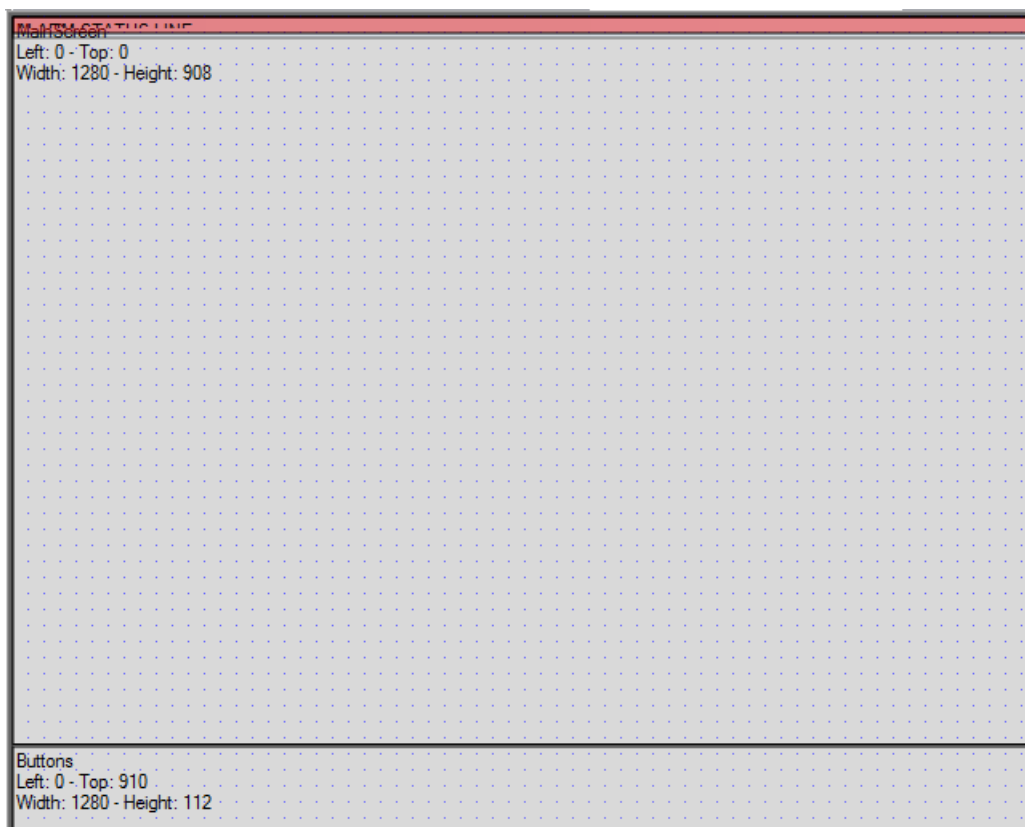
| State | Identification | Description | File name |
|-------|----------------------------------|-------------|-------------|
| | Filter text | Filter text | Filter text |
| | Driver for internal variables | | Intern |
| | Driver for mathematics variables | | MATHDR32 |
| | Driver for system variables | | SYSDRV |
| | VIPA | | S7TCP32 |

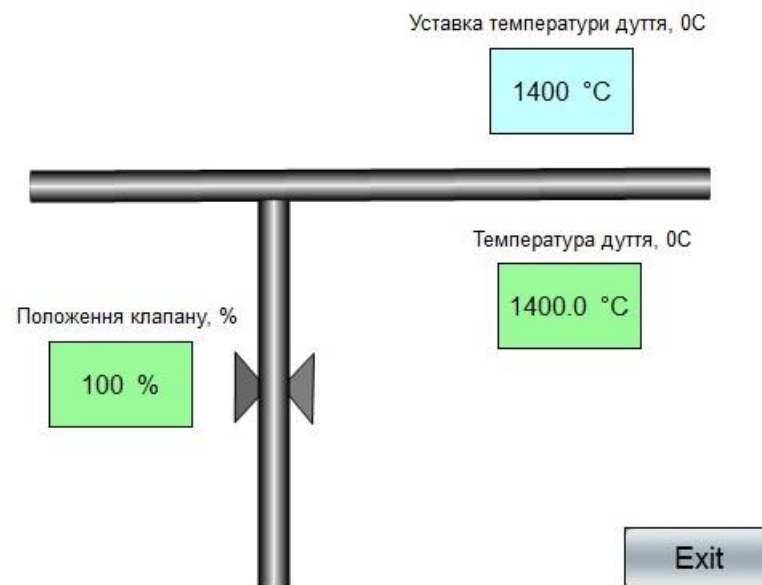
В.2 Перелік змінних



| State | Name | Id... | M... | N... | D... | O... | Bi... | Al... | S... | Driver | Data type | Decimals | St... |
|-------|-------------|-------|------|------|------|------|-------|-------|------|---------------------|------------|-----------|-------|
| | Filter text | | | | | | | | | Filter text | Filter ... | Filter... | F... |
| | ValvePotok | | % | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | S7TCP32 - S7 TCP-IP | REAL | 0 | |
| | TempAir | | °C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | S7TCP32 - S7 TCP-IP | REAL | 1 | |
| | uTempAir | | °C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | S7TCP32 - S7 TCP-IP | REAL | 0 | |

В.3 Шаблони зображень





В.4 Функції

Project Manager

Workspace: 'graindryer'(1)

ST (Start project)

- Variables
- Driver
- Datatypes
- Reaction matrix
- Allocations
- Alarm
- Units
- Screens
- Frames
- Font lists
- Palettes
- Project symbol library
- Functions

| Sta... | Name | Type | Parameter |
|-------------|---------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Filter text | Filter text | Filter text | Filter text |
| | SwitchProcessScreen | Screen switch | ProcessScreen (Standard) |
| | SwitchCELScreen | Screen switch | CELScreen (Standard) |
| | SwitchAMLScreen | Screen switch | AMLScreen (Standard) |
| | SwitchButtonScreen | Screen switch | ButtonScreen (Standard) |
| | Exit | Exit Runtime | |
| | ReloadProject | Reload project online | changed objects |
| | Switch_FullTrend | Screen switch | Full_Trend (Extended Trend) ... |

В.5 Зображення

Project Manager

Workspace: 'graindryer'(1)

ST (Start project)

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

| State | Visible under ... | Name | Screen type | Frame | Background co... |
|-------------|-------------------------------------|---------------|--------------------------|-------------|------------------|
| Filter text | Filter text | Filter text | Filter text | Filter text | Filter text |
| | <input checked="" type="checkbox"/> | ButtonScreen | Standard | Buttons | #FFD700 |
| | <input checked="" type="checkbox"/> | main | Standard | MainScreen | #7FFFD4 |
| | <input checked="" type="checkbox"/> | ProcessScreen | Standard | MainScreen | #7FFFD4 |
| | <input checked="" type="checkbox"/> | AMLScreen | Alarm Message List | MainScreen | #7FFFD4 |
| | <input checked="" type="checkbox"/> | Full_Trend | Extended Trend | MainScreen | #7FFFD4 |
| | <input checked="" type="checkbox"/> | CELScreen | Chronological Event List | MainScreen | #7FFFD4 |

Технологічна схема Діаграма процесу Список Тревог Список подій Вихід Перезавантажити

[*]-[*]-[T.Ref:0d,1h,0m,0s] Фільтр... Зберегти Імпорт

| Variable name | Time received | Time cleared | Time |
|---------------|---------------|--------------|------|
|---------------|---------------|--------------|------|

Експорт
Видалити
Stop

Всього
0

Не оброблено
0

обробити
обити сторі
Обробити всі

Видалити
далити сторі
Видалити всі

Коментар Функція тривоги
Поле коментару Показати підключені функції

онати функі крити допом Друкувати

ВІДГУК
на кваліфікаційну роботу ступеню магістра
на тему: “ Дослідження та синтез системи автоматичного керування
процесу підготовки гарячого дуття доменної печі ”

студента групи 151м-20-1

Музалевського Владислава Володимировича

Тема кваліфікаційної роботи актуальна і безпосередньо близька професійній діяльності магістра спеціальності 151 “Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”.

Оригінальність роботи полягає в отриманні моделі впливу збурення на вихідний параметр системи керування процесу підготовки гарячого дуття доменної печі по каналу положення змішувального клапана – температура повітря, що дозволяє визначити межове значення коефіцієнта «к» об'єкта керування як межу стійкості розробленої системи керування температурою повітря.

Кваліфікаційна робота пройшла апробацію на ІХ Всеукраїнській науково-технічній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «МОЛОДЬ: НАУКА ТА ІННОВАЦІЇ». Секція Кіберфізичні та інформаційно-вимірювальні системи, НТУ «Дніпровська політехніка», 12 листопада 2021 року.

Студент виконав роботу з добрим ступенем самостійності підтримуючи консультації з керівниками розділів. Праця студента над кваліфікаційною роботою підтвердила достатність знань та навиків з даної галузі знань. В цілому кваліфікаційна робота заслуговує оцінку «добре» за умови відповідного захисту, а студент Музалевський В.В. присвоєння йому кваліфікації «магістр» за спеціальністю 151 “Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”.

Керівник кваліфікаційної роботи, доцент

К. В. Соснін

20.12.2021

ВІДГУКИ ПО РОЗДІЛАМ ТА ПІДРОЗДІЛАМ

