

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: «Розробка та дослідження автоматизованої системи управління
виробництвом технологічної пари»

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи КАМ-61
спеціальності 151 «Автоматизація

та комп'ютерно-інтегровані технології»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Пензовський А.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Трембач Р.Б.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Козбур В.Р.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Савків В.Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Стухляк П.Д.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2020

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Савків В.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2020р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Пензовському Андрію Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка та дослідження автоматизованої системи управління виробництвом технологічної пари»

Керівник роботи к.т.н., доцент Трембач Р.Б.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «30» вересня 2020 року № 4/7-705

2. Термін подання студентом завершеної роботи 21 грудня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи Технічна характеристика парового котла

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	7
1.1 Аналіз об'єкту автоматизації	7
1.2 Система автоматизації парогенератором	10
1.3 Особливості системи управління	12
1.4 Постановка задачі проектування	14
2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	16
2.1 Дослідження та моделювання імпульсних САР	16
2.2 Визначення коефіцієнтів похибки	23
2.3 Інтегральні оцінки САР	25
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	31
3.1 Специфіка технологічного процесу. Підготовка води	31
3.2 Технологічні характеристики систем виробництва пари	36
4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	40
4.1 Функціональний синтез системи регулювання тиску технологічної пари	40
4.2 Параметричний синтез системи управління	41
4.3 Синтез системи управління	43
5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	47
5.1 Розрахунок показників надійності системи	47
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	53
6.1 Аналіз потенційних небезпек та шкідливих факторів виробничого середовища	53
6.2 Забезпечення нормальних умов праці	56

6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях	60
6.4 Розрахунок зон радіоактивного забруднення при аварії на АЕС	66
6.5 Методи захисту при аварії на АЕС	69
ВИСНОВКИ	70
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	71
ДОДАТОК А. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РЕГУЛЮВАННЯ У СЕРЕДОВИЩІ МАТЛАВ	73

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

САР	система автоматичного регулювання
ЧЕ	чутливий елемент
РП	поляризоване реле
РО	регулюючий орган
ГЗК	головний запобіжний клапан
АЦП	аналогово-цифрове перетворення
АСК	автоматизована система керування

ВСТУП

В умовах зменшення природних запасів енергоносіїв, і відповідним зростанням їх цін на ринках нагальним є інтенсифікація технологічних процесів виробництва енергоносіїв, одним з яких є водяна пара. Як правило технологічні удосконалення, на даному етапі, досягли своєї межі, тому на перший план виступає оптимізація процесу за рахунок впровадження сучасних засобів автоматизації.

Точність і оперативність засобів вимірювання та інформаційно-вимірювальних систем в багато чому визначає оптимальність роботи парогенераторів в цілому. Без достовірних значень параметрів і автоматичного контролю в більшості випадків неможна управляти процесом паро генерування.

Автоматизована системи управління системами виробництва водяної пари повинна забезпечувати наступні функції:

- дистанційне управління;
- контроль поточних значень параметрів технологічного процесу;
- сигналізацію про стан обладнання;
- автоматичний захист обладнання від можливих пошкоджень в процесі експлуатації і аварійних ситуацій;
- автоматичне дискретне управління, яке забезпечує включення або виключення регуляторів, механізмів, установок в заданій послідовності.
- автоматичне регулювання технологічних процесів і управління основним та допоміжним обладнанням;

Так як на роботу установок впливає велика кількість взаємодіючих факторів, тобто задача управління є багато параметричною, то для реалізації належного керування необхідно використовувати електронну цифрову обчислювальну машину (ЕОМ), що забезпечує автоматичний збір необхідної інформації і розрахунок теплоенергетичних параметрів.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз об'єкту автоматизації

Об'єктом автоматизації є парогенератор, що складається з значної кількості різноманітного обладнання і будівельних конструкцій, які пов'язані єдиною технологічною схемою виробництва пари [3]. При спаленні палива у топці, утворені продукти згорання в результаті контакту з поверхнями нагріву котла охолоджуються і видаляються через відповідні виходи. Перегрітий чи насичений пар, отриманий в котлі, подається по трубопроводах до споживачів. Від них конденсат подається в деаератор, що потрібний для видалення газів з води, яка використовується для роботи котла. Втрати пару і конденсату в системі поповнюються за рахунок очищеної води, що подається насосами через водоочисні апарати в деаератор. Вода після дегазації подається відповідними насосами в котел.

Обладнання котельної установки умовно поділяють на основне (власне котел) і допоміжне. До допоміжного відносять обладнання і пристрої для подачі палива, води і повітря, для видалення продуктів згорання, очистки димових газів, паропроводи, водопроводи.

Загальна класифікація котлів за призначенням: теплові, силові і технологічні. Теплові призначені для перетворення хімічної теплоти палива в фізичну теплоту високотемпературних газів для наступної передачі теплоти цих газів через поверхні нагріву середовищу, що нагрівається (воді, пару). Силові топки призначені для отримання продуктів згорання не тільки з високою температурою, але і з підвищеним тиском. Ці продукти використовуються безпосередньо для силових цілей в газових турбінах, соплах реактивних двигунів і так далі. В технологічних топках спалювання палива чи протікання екзотермічних реакцій при перетворенні сировини суміщається з

використанням в елементах котла тепла, що при цьому виділяється (згідно [3]).

В даній роботі об'єктом розгляду є тепловий котел.

Управління паровим котлом реалізується сукупністю зв'язків між об'єктом управління, обслуговуючим персоналом і пристроями для контролю і управління об'єктами. В сучасних котельних установках система управління включає наступні технічні пристрої - підсистеми:

- інформаційна;
- сигналізації;
- дистанційного і автоматичного управління;
- автоматичного регулювання;
- технологічного захисту і блокування.

Інформаційна підсистема забезпечує безперервний збір, обробку і представлення інформації про роботу і стан обладнання, хід технологічного процесу, отримання інформації допоміжного характеру, необхідної для вивчення процесу, а також для складання технічної звітності і розрахунку показників роботи котла. Ця підсистема включає первинні і вторинні прилади і пристрої для представлення інформації.

Підсистема сигналізації включає пристрої, що надають персоналу інформацію про порушення в режимах технологічного процесу чи в роботі агрегатів за допомогою світлового чи звукового сигналу. Сигналізація виконує функцію привертання уваги персоналу до порушення режимів роботи агрегату чи до аварійної ситуації, і повинна забезпечити розуміння причини того, що відбувається, і виключити можливість помилкових дій персоналу. Технологічна сигналізація служить для попередження персоналу про недопустимі відхилення параметрів, аварійна сигналізація дає уявлення про роботу чи зупинку механізмів.

Підсистема дистанційного і автоматичного управління здійснює дискретну дію на електрифіковані приводи механізмів і запірно-регулюючі органи. На сучасних котлах дистанційне управління досягає високого ступеня

централізації. Найбільш часто використовується індивідуальне дистанційне управління для кожного електроприводу.

Підсистема автоматичного регулювання є однією з найважливіших частин системи управління, оскільки створює основу для автоматизації процесів, що відбуваються в котельній установці, і є найвищим ступенем системи управління. Автоматичне управління підвищує економічність і надійність роботи системи, підвищує продуктивність і полегшує умови праці персоналу. Автоматичне регулювання виконує наступні основні функції: стабілізує і підтримує параметри на заданому рівні (наприклад, рівень води в барабані, температура перегріву пари), підтримує відповідність між залежними величинами (наприклад, співвідношення палива та повітря в процесі горіння), змінює регульовану величину в часі по визначеному закону (наприклад, режим горіння під час розігріву апарату), підтримує оптимальне значення регульованої величини, так званої функції оптимізації (наприклад, режиму горіння). Функції автоматичного регулювання виконують регулятори різного типу. Найбільш розповсюджена електронна система регулювання.

Підсистема технологічного захисту і блокування застосовується для захисту від пошкоджень і попередження аварій. Обладнання захисту діє при глибоких порушеннях технологічного процесу чи при несправностях обладнання, що можуть викликати аварійну ситуацію. При цьому автоматично здійснюється відключення окремих несправних елементів обладнання, зниження навантаження чи зупинки агрегату. В якості технічних засобів захисту використовують звичайні контрольно-вимірювальні прилади, що мають контактні схеми і працюють в комплекті з давачами температури, тиску, витрати і т.д.[4].

1.2 Система автоматизації парогенератором

Схема автоматизації регулювання і контролю парового котлоагрегату включає наступні підсистеми:

- система автоматичного регулювання і контролю теплового навантаження парогенератора;
- система автоматичного регулювання і контролю живлення парогенератора;
- система автоматичного регулювання і контролю співвідношення газ-повітря;
- система автоматичного регулювання і контролю розрідження в топці парогенератора;
- система автоматичного контролю тиску;
- система автоматичного контролю температури;
- система автоматичного вимкнення газу.

Комплект автоматики котла містить у собі: щит керування котла, у якому знаходяться елементи і прилади автоматики безпеки, автоматики регулювання основних технологічних параметрів. Автоматика безпеки виконана на базі релейної схеми з використанням реле типу РПЛ. Автоматика регулювання виконана за допомогою локальних регуляторів типу РС , або РП 4-У.

Парогенератор, як об'єкт автоматизації, обладнаний запірною арматурою в відповідності до сучасних правил і нормативних документів, регулюючі заслінки і відсічні клапани мають дистанційний привід з виконавчим механізмом, пальники обладнані запалювально-захисними пристроями.

Система керування котлом забезпечує:

- вимір і сигналізацію відхилення від припустимих значень основних

- параметрів роботи котла;
- технологічний захист - зупинка котла, блокування його роботи;
- автоматичне запалювання котла;
- автоматичне регулювання розрідження в топці котла;
- автоматичне регулювання температури води на виході (тиску пари в барабані) котла;
- автоматичне регулювання витрати води через парогенератор;
- автоматичне керування рециркуляцією;
- автоматичне регулювання співвідношення між кількістю газу і кількістю повітря, що подаються на пальники для забезпечення оптимального процесу горіння;
- індикацію і реєстрацію параметрів роботи котла.

Об'єктом безпосереднього дослідження є система автоматичного регулювання і контролю тиску в парогенераторі.

Склад системи такий: об'єкт регулювання (ОР), чутливий елемент (ЧЕ), поляризоване реле (підсилювач) (РП), двигун (Д), обмотки збудження (ОЗ), редуктор (Р), регулюючий орган (заслінка) (РО), потенціометр зворотного зв'язку (ПЗЗ).

Впливом статичного моменту навантаження, перехідними процесами в обмотках поляризованого реле та постійними часу двигуна T_{γ} і T_{μ} можна знехтувати.

Робота системи полягає у наступному: при зміні температури об'єкту виникає розузгодження, що веде до виникнення напруги розузгодження. Відповідно виникає напруга в обмотці w_1 , що веде до спрацювання реле – в обмотках збудження з'являються напруги, що керують двигуном, приводячи його в обертання. Через редуктор двигун діє на регулюючий орган, а це веде до зміни тиску. В схемі присутній ще один додатковий зворотній зв'язок, що здійснюється через потенціометр зворотного зв'язку. Його завданням є

поступова компенсація розузгодження, що є на вході реле. Спочатку розузгодження є великим (наприклад, при різкій зміні тиску), і двигун починає швидко регулювати положення заслінки, що може призвести до різкого відхилення тиску в іншу сторону. Таке регулювання не є якісним, тому в схемі і присутній додатковий зворотній зв'язок. Після того, як в дію вступив двигун (при виникненні розузгодження на вході реле), на обмотці теж наводиться напруга, яка частково компенсує розузгодження. Тому зміна тиску буде більш плавною, без значних коливань в протилежні сторони від заданого значення (значення, яке необхідно досягти).

Особливу увагу слід надати регулюючому органу – це механічна частина системи, що відповідає за її правильне функціонування з точки зору подачі газу, відкриття чи закриття заслінки самого котла, відіграє ключову роль в безпеці системи – у випадку поломки потрібно передбачити особливий механізм для запобігання подальшого збільшення тиску, дестабілізації системи і виникнення небезпечної ситуації.

1.3 Особливості системи управління

Парогенератор повинен бути обладнаний арматурою відповідно до сучасних правил та нормативних документів. Регулюючі заслінки і відсічні клапана повинні мати дистанційний привід з виконавчим механізмом типу МЕО. Пальники повинні бути обладнані запально-захисними пристроями.

Система управління котлом включає:

- блоки індикації і управління котлом.
- нормуючі перетворювачі, що перетворюють сигнали датчиків температури, тиску і витрати в цифровий код.
- плата положення для виконавчих механізмів регулювання тиску газу і повітря перед пальниками
- комплект кабелю для ланцюгів управління;

- комплект датчиків і сигналізаторів
- виконавчі механізми і замочну арматуру
- панель дистанційного керування виконавчими механізмами;
- частотні регулятори приводів вентиляторів, насоса і димоходу котла.
- робоче місце оператора котельної, обладнане персональним комп'ютером і принтером.

На робочому місці оператор забезпечується представленням періодичною або позачерговою (при спрацьовуванні аварійної сигналізації або захисту) інформацією, при цьому здійснюється реєстрація основних параметрів роботи котла.

Система забезпечує:

- вимірювання і сигналізацію відхилення від допустимих значень основних параметрів роботи котла
- технологічні захисту, що діють на зупинку котла, блокування відповідно до діючих нормативних документів;
- автоматичне розпалювання котла
- автоматичне регулювання розрідження в топці котла.
- автоматичне регулювання температури води на виході (тиск пари в барабані) котла.
- автоматичне регулювання витрати води через парогенератор.
- автоматичне управління рециркуляцією
- автоматичне регулювання співвідношення між кількістю газу і кількістю повітря, що подаються на пальники із забезпеченням оптимального процесу горіння.
- виконавча сигналізація режимів роботи і положення устаткування і арматури.
- аварійно-попереджувальна світлова сигналізація відхилення контрольованих параметрів від допустимих значень і узагальнена (звукова) аварійно - попереджувальна сигналізація.
- індикація і реєстрація параметрів роботи котла

Контроль якості горіння забезпечується за тиском газу і повітря, що подається на згорання згідно режимної карти парогенератора. Точне регулювання співвідношення газ-повітря здійснюється за показами датчика кисню в продуктах згорання. Існуюча система управління дозволяє підтримувати коефіцієнт надлишку повітря в газах, що відходять, на рівні 1,05 або навіть нижче залежно від ступеня досконалості пальників.

Для підвищення надійності роботи парогенератора передбачена можливість переходу на режим ручного управління з панелі дистанційного керування. Передбачаються можливості роботи в режимах:

- дистанційного керування поворотною регулюючою заслінкою на трубопроводі подачі газу до пальників.
- дистанційного керування продуктивністю вентилятора.
- дистанційного керування продуктивністю димососа.
- дистанційного керування продуктивністю насоса.

На лицьових панелях блоків індикації і управління забезпечується наступне представлення інформації:

- цифрове вимірювання контрольованих і регульованих параметрів, а також положення регулюючої арматури на рідкокристалічному дисплеї.
- виконавча сигналізація режимів роботи, стану устаткування і арматури світло діодами зеленого кольору.
- аварійно - попереджувальна світлова сигналізація відхилення контрольованих параметрів від допустимих значень світлодіодами червоного і жовтого кольору.

1.4 Постановка задачі проектування

Основним завданням автоматизації виробництва технологічної пари є забезпечення узгодженої роботи котлів, які працюють паралельно на один

колектор. Як правило, це завдання виникає у випадках, коли гаряча вода, або пара, що виробляється котлами бере участь в технологічному процесі. При цьому практично завжди навантаження є таким, що змінюється і група котлів повинна встигати відпрацьовувати ці зміни. В деяких випадках в котельній встановлені котли різної продуктивності і з різними динамічними характеристиками. В цьому випадку необхідно організувати управління так, щоб в першу чергу зміни навантаження відпрацьовувалися динамічнішим котлом. Якщо стоїть всього один котел – то в такому випадку найоптимальнішим буде запропоноване в даній роботі проекті рішення ступінчатого регулювання температури.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Дослідження та моделювання імпульсних САР

2.1.1 Передавальна функція

Для дослідження імпульсної САР запишемо передавальні функції імпульсного елемента формуючого елемента, неперервної частини та всієї розімкненої системи.

$$W_{i \times}(s) = \frac{1}{10} \cdot 100 \cdot \frac{12.56}{0.1885s} \cdot \frac{30}{0.1s + 1} = \frac{3.768}{0.01885s + 0.1885s}$$

$$W_{IE}(s) = 1; W_{OA}(s) = \tau = 0.01; W(z) = W_{IE}(s) \cdot W_{OA}(s) \cdot Z\{W_{i \times}(s)\}$$

Методами CST лінійну систему можна описати так:

$$c1=tf([3.768]);c2=tf([1],[0.1885 0]);c3=tf([1],[0.1 1]);$$

$$c=c1*c2*c3;cz=feedback(c,1);$$

Відомо, якщо замкнута лінійна система стійка то відповідна імпульсна система теж стійка, за умови не перевищення частоти перемикавання. Загальним критерієм стійкості лінійної системи є від'ємність дійсних частини полюсів передаточної функції замкненої системи. Це підтверджується рисунком 1.1.

Як бачимо, лінійна система без імпульсного елемента стійка, але в ній присутнє перерегулювання. Це можна побачити при використанні команди `step(cz)` (рис. 1.2).

Для того, щоб зменшити перерегулювання в системі вводиться імпульсний елемент. Так як ІЕ працює в дискретні моменти часу, то потрібно використовувати дискретні передавальні функції, які базуються на z -перетворенні неперервної частини та імпульсного елемента.

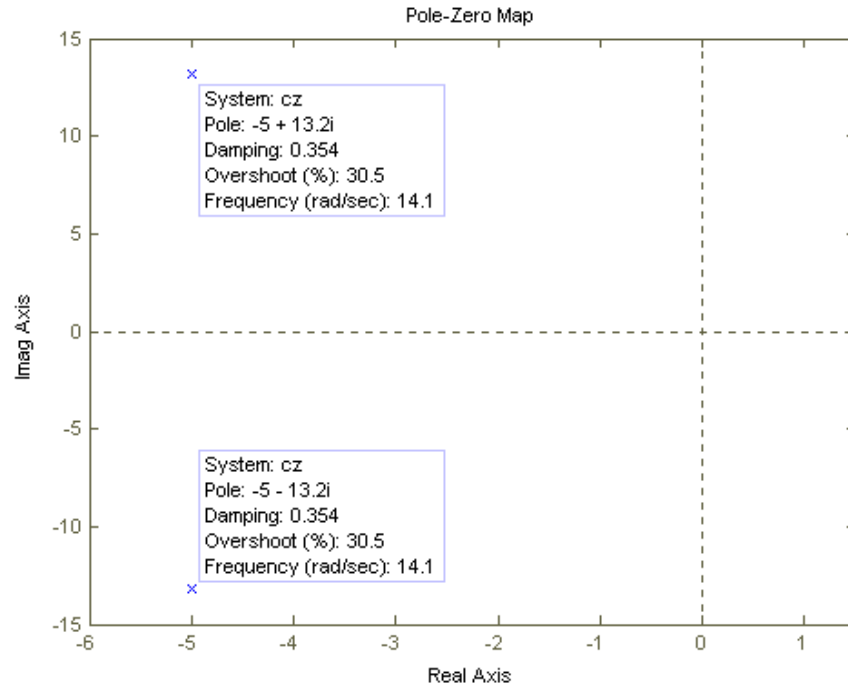


Рисунок 1.1 – Розміщення полюсів замкненої лінійної системи.

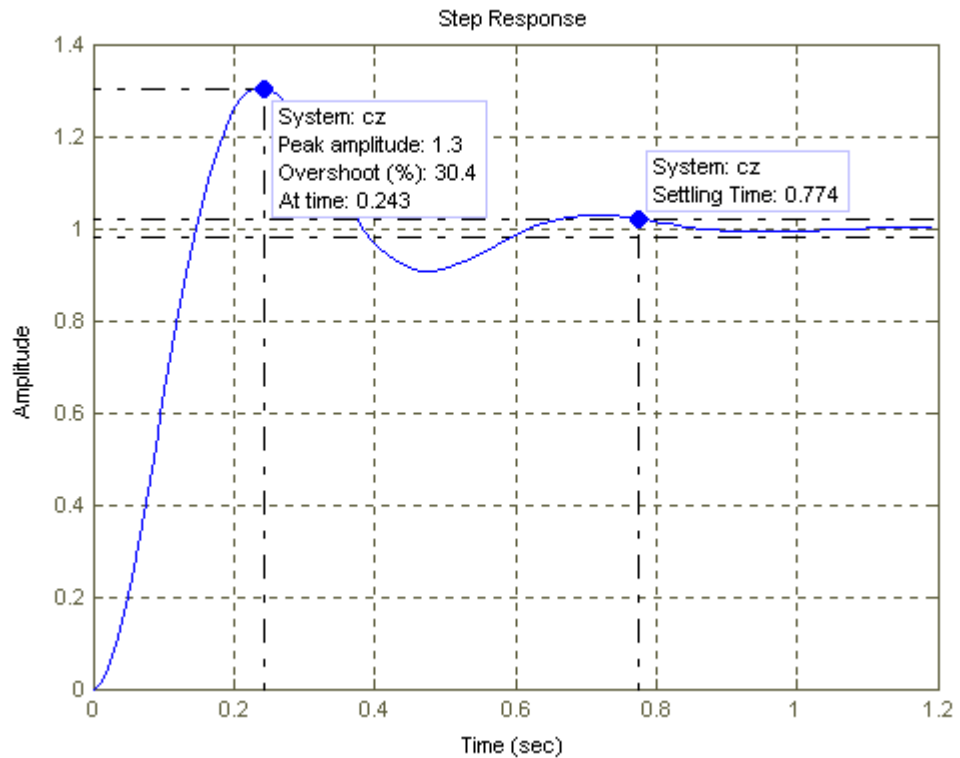


Рисунок 1.2 – Перехідний процес встановлення тиску в лінійній системі (реакція системи на одиничний стрибок).

Для z-перетворення використаємо команду c2d, яка здійснює перетворення неперервних систем в дискретні, з відповідним часом дискретизації [16]. Дана команда виконує точне перетворення, але у випадку екстраполятора нульового порядку Тоді для нашого випадку для перетворення треба ввести до неперервної диференціюючу ланку, помножити z-перетворену ланку на так би мовити z-перетворення диференціальної ланки, а також на тривалість імпульсу. Все це виконується таким чином:

```
T=0.1;tau=0.01;lambda=tau/T;
duf=tf([1 0],[1]);zduf=tf([1 -1],[1 0],T);Wzmodify=c2d(c*duf,T);
Wz=(Wzmodify*tau)/zduf;FIz=feedback(Wz,1).
```

Для подальшого дослідження треба навести передаточну функцію замкнутої системи та відповідного розімкнутого ланцюга у z-перетвореному вигляді, а також наведемо функцію передачі по похибці:

- функція передачі розімкнутого контуру (Wz):

$$0.1264 z / (z^2 - 1.368 z + 0.3679);$$

- функція передачі замкнутої системи (FIz):

$$0.1264 z / (z^2 - 1.242 z + 0.3679);$$

- функція передачі по похибці (FIEz):

$$(z^2 - 1.368 z + 0.3679) / (z^2 - 1.242 z + 0.3679).$$

2.1.2 Дослідження на стійкість

Загальним критерієм стійкості замкнутої системи є розташування полюсів системи в одиничному колі, яке за допомогою команди *rlocus* можна побачити на рисунку 2.3.

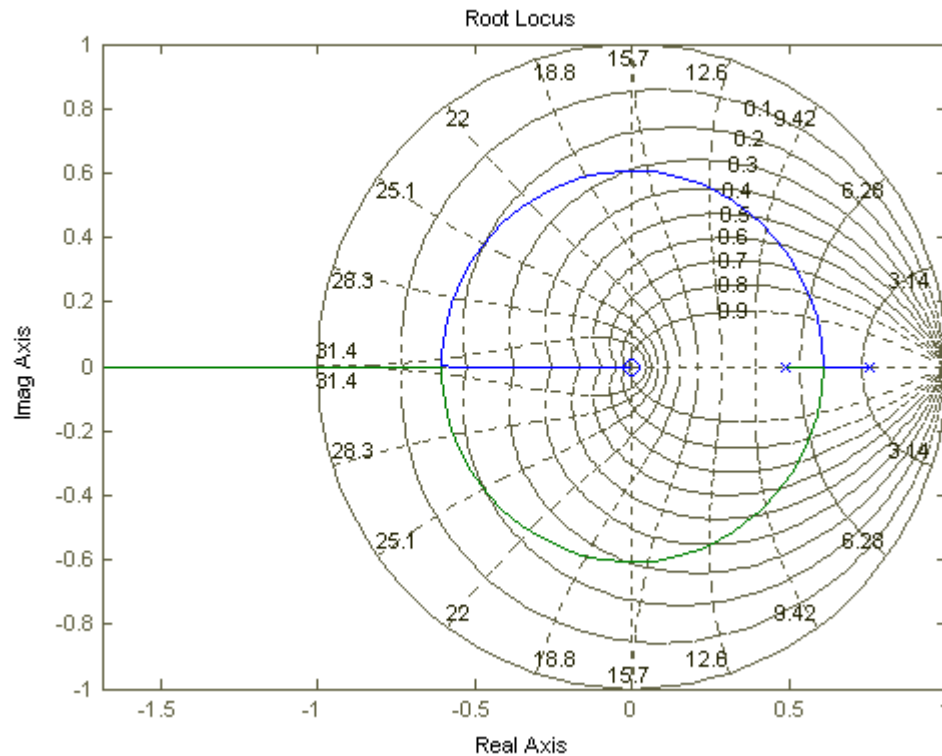


Рисунок 2.3 – Кореневий годограф замкнутої системи.

Додатковим критерієм, який підтверджує вище вказаний є те що модуль коренів має бути <1 , що означає розташування коренів в одиничному колі. Для цього скористаємось командами *mzmap* та *abs*.

```
[pdz,zdz]=pzmap(FIz); modkor=abs(pdz)
```

Перевірка в SMT, за допомогою символічних обчислень [12].

```
rz=double(solve(sym('z^2-1.242*z+0.3679')))
```

Результати обчислення:

pdz =[0.75292 0.48861]

zdz = 0

rz =[0.4878 0.7542]

modkor =[0.75292 0.48861]

Модулі коренів <1, отже система стійка.

Для кількісного визначенні стійкості скористаємось командою margin, для визначення запасів стійкості по амплітуді та по фазі (рис.2.4).

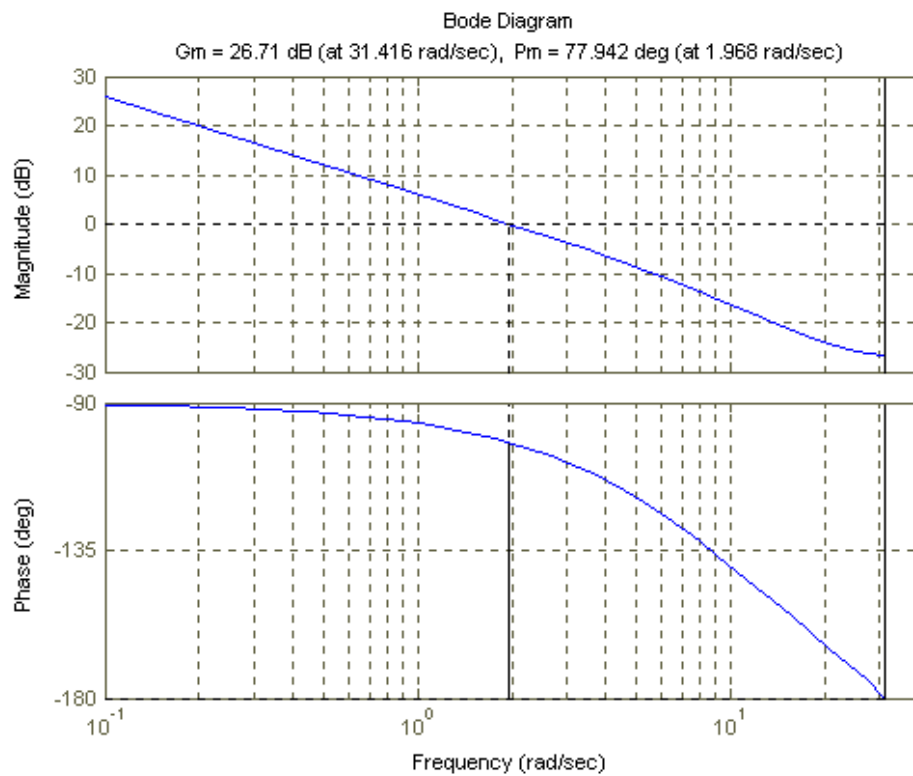


Рисунок 2.4 – Запаси стійкості по амплітуді та по фазі.

Для кількісного вираження запасів та подальшого використання виконаємо такі команди:

$[Gm, Pm, W1, W2] = margin(Wz); all = allmargin(Wz).$

Результатом виконання будуть числа та текст, який свідчить про кількісні параметри:

$$Gm = 21.651; Pm = 77.942; W1 = 31.416; W2 = 1.968$$

all =

GMFrequency: 31.416

GainMargin: 21.651

PMFrequency: 1.968

PhaseMargin: 77.942

DMFrequency: 1.968

DelayMargin: 6.9124

Stable: 1

Нормовані значення запасів – $Gm=10-15$ dB, $Pm=30-450$ C. Запаси стійкості конкретної САР достатні, щоб вона працювала в нормальному режимі. Зокрема запас по амплітуді означає, що збільшення загального коефіцієнта підсилення на 21,651 дБ і більше призведе до того, що система стане нестійкою.

2.1.3 Визначення якісних показників системи

Поведінка імпульсної системи в перехідному режимі характеризується показниками якості – перерегулюванням, часом регулювання, часом установлення, числом коливань.

Для порівняння наведемо перехідний процес реакції лінійної системи та імпульсної при номінальному задавальному діянні (рис. 2.5, 2.6).

Крива перехідного процесу імпульсної системи може бути визначена за допомогою різних методів: розв'язком різницевих рівнянь, знаходженням дискретного зображення вихідної величини системи і переходом від нього до оригіналу, за допомогою частотних методів.

Коли на вхід поступає величина x_0 , в нашому випадку це заданий тиск, то на виході повинно бути встановлене значення із заданою похибкою.

Записавши функцію передачі замкненої системи по похибці $F(z)=1/(1+Wz)$, та z-перетворення одиничного стрибка $X(z)=tf([1 \ 0],[1 \ -1],0.1)$ (`ztrans(sym('1'))` - SMT), ми отримаємо бажаний результат процесу регулювання, зображений на рисунку 2.6. Як видно з графіка система стійка, час тривалості перехідного процесу не великий, перерегулювання відсутнє, похибка мінімальна.

Порівняно з перехідним процесі в лінійній системі такий процес означає більш кращі властивості та ефективні показники. Отже введення в лінійну систему імпульсного елемента дає можливість зменшити пере регулювання, і тим самим покращити динамічні характеристики системи. Так як імпульсний елемент працює в певні проміжки часу, то він ще й зменшує енергетичні показники системи.

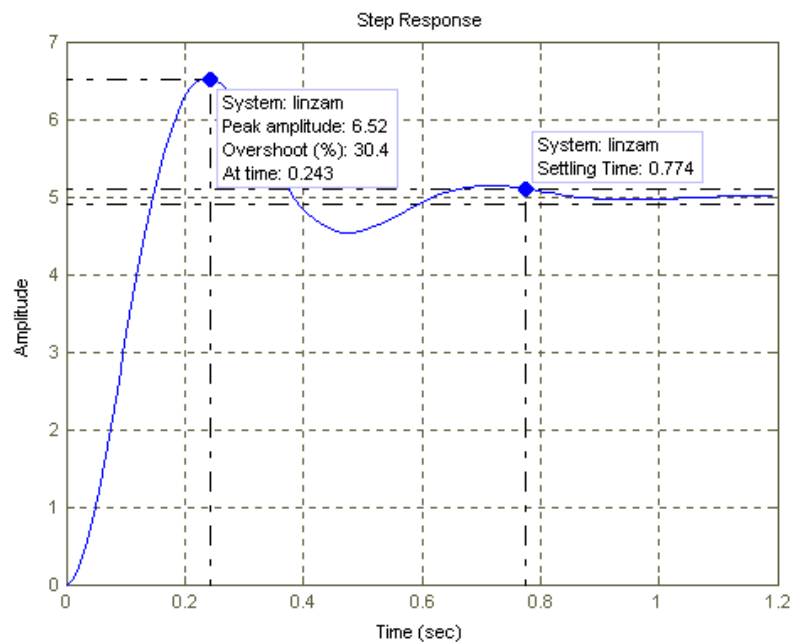


Рисунок 2.5 – Реакція лінійної замкненої системи на задаюче діяння.

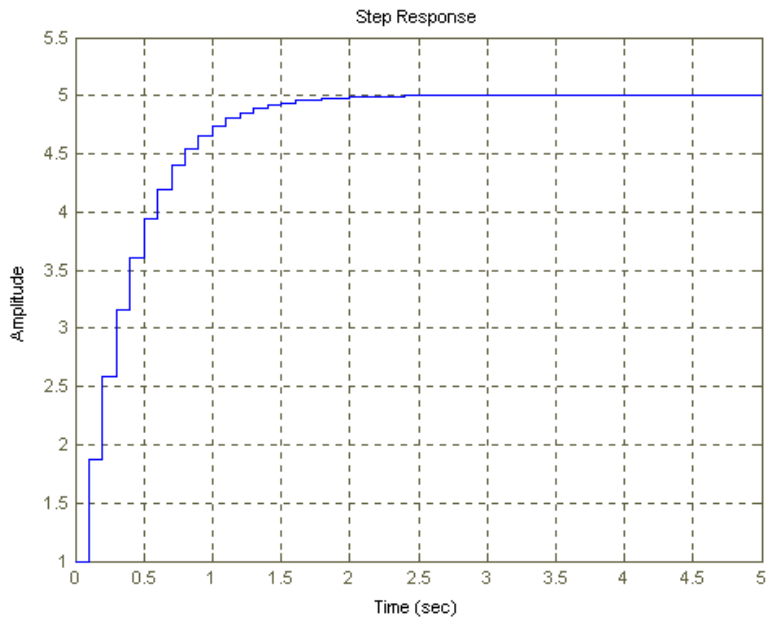


Рисунок 2.6 – Реакція імпульсної системи на задану вхідну дію.

2.2 Визначення коефіцієнтів похибки

Точність системи оцінюється по встановленому значенню похибки (теорема про кінцеве значення)

$$e(\infty) = \lim_{i \rightarrow \infty} e(iT) = \lim_{z \rightarrow 1} \frac{z-1}{z} E(z) = \lim_{z \rightarrow 1} \frac{z-1}{z} F I e(z) X(z) \quad (2.1)$$

При ступінчастій дії $x(t)=A1(t)$ встановлена похибка

$$e(\infty) = \lim_{z \rightarrow 1} \frac{z-1}{z} \frac{1}{1+Wz(z)} \frac{Az}{z-1} = \frac{A}{1+W(1)} \quad (2.2)$$

Звідси випливає, що при ступінчастій дії похибка буде рівна 0, якщо передавальна функція розімкнутого контуру має хоч один полюс рівний 1.

Це можна перевірити за допомогою команди $pzmap(Wz)$, результат виконання якої зображено на рисунку 2.7. Як видно з рисунку в системі є полюс, який = 1, тобто похибка системи повинна бути рівна 0.

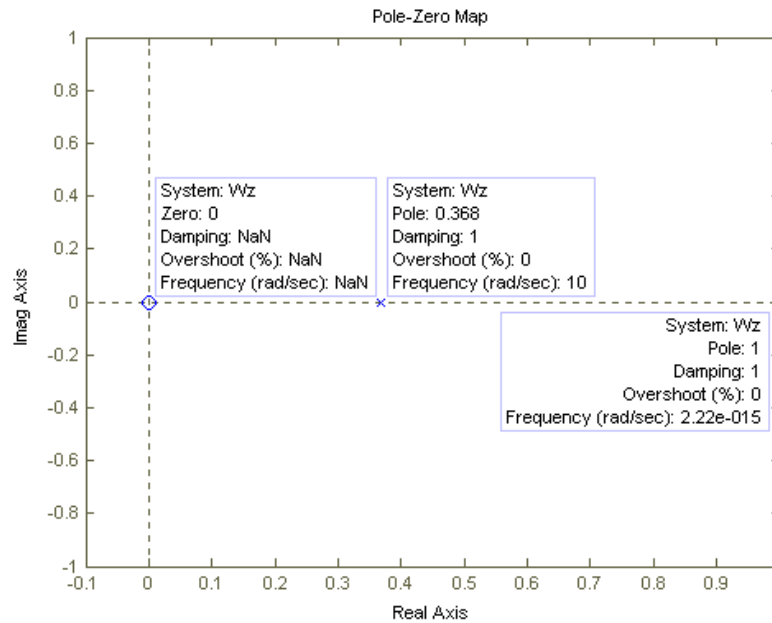


Рисунок 2.7 – Полюси розімкнутої системи.

Для перевірки точності такого представлення обчислимо коефіцієнти похибок. Для цього знайдемо границю виразу (2.1):

syms z

*F1ezsym=(z-1.368*z+0.3679)/(z-1.242*z+0.3679);*

*A=5;c0=double(limit(A*F1ezsym,z,1))*

Результат виконання: $c0 = -0.0039714$ - похибка системи по розміщенню; похибка по швидкості та по прискоренню відсутні.

Для формування вихідного сигналу системи за передавальною функцією відносно похибки, скористаємось командою:

*step(5*F1ez)% вихід системи по похибці.*

Результат зображено на рисунку 2.8.

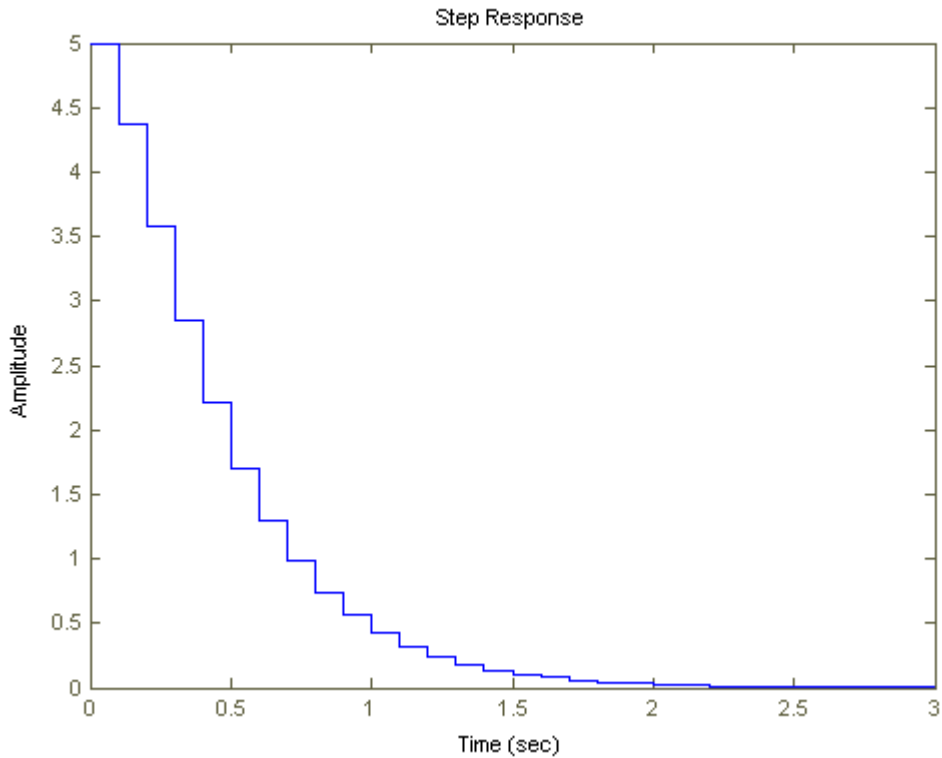


Рисунок 2.8 – Розподіл похибки, згідно перехідної функції по похибці.

2.3 Інтегральні оцінки САР.

Якщо перехідна функція має монотонний характер, то для посередньої оцінки якості може застосуватись сума:

$$I_1 = \sum_{n=0}^{\infty} (A[\infty, \sigma] - a[n, \sigma]) \quad (2.3)$$

де $A[\infty, \sigma]$ - усталене значення керованої величини; $a[n, \sigma]$ - ступенева функція, відповідна перехідній функції системи.

Для виконання такого обчислення використаємо таку послідовність команд.

```
[b n]=step(5*Flz,10);I1=0;
```

```
for i=1:length(n) II=II+(5-b(i));end
```

II = 25.013

Результатом є число-сума, яке означає площу між встановленим значенням та перехідною функцією. Чим менша ця площа тим кращої якості перехідний процес.

Для моделювання системи потрібно знати передавальну функцію неперервної частини, формуючого елемента, та форму імпульсів для імпульсного модулятора. Ці всі дані є, і користуючись ними можна скласти схему моделювання (графічна частина). На рисунку 2.9 зображена допоміжна схема моделювання.

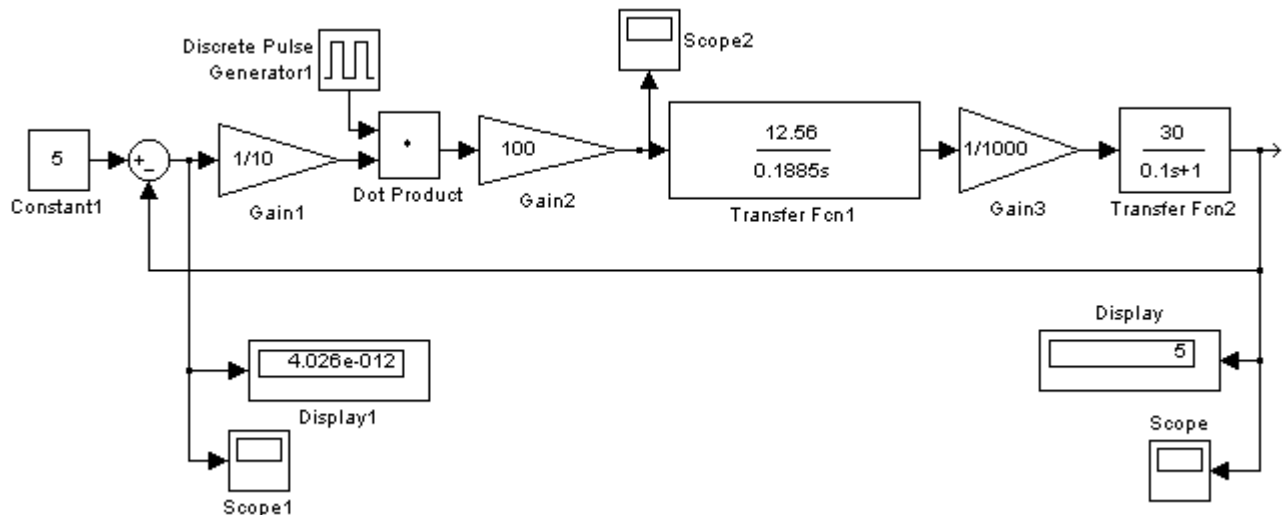


Рисунок 2.9 – Додаткова схема моделювання.

На даній схемі константна 5 – заданий тиск, який потрібно підтримувати, підсилювальна ланка gain1 - вимірювальний елемент, підсилювальна ланка gain2 – потенціометр, підсилювальна ланка gain3 – редуктор, ланка типу інтегратор – TF1 – двигун постійного струму, аперіодична ланка першого порядку TF2 – об’єкт регулювання. Імпульсний елемент представляється як модулятор, який помножує два сигнали: сигнал похибки та сигнал з тактового генератора, який символізує ексцентрик.

Як видно система регулювання працює, тобто підтримує тиск в об'єкті із певною похибкою, яка майже рівна 0. Щоб більш зрозумілим був принцип роботи системи наведемо ряд проміжних сигналів, та порівняємо їх з тими, які досліджені в CST.

На рисунку 2.9 зображено розміщення полюсів замкнутої лінійної системи, отже для порівняння та ствердження, що лінійна система стійка, і в ній присутні перерегулювання наведемо графік вихідного сигналу при відсутності та при наявності імпульсного елемента.

Як видно з наведених графіків (рис. 2.10, 2.11) лінійна система стійка, але порівняно з імпульсною вона має гірші якісні показники.

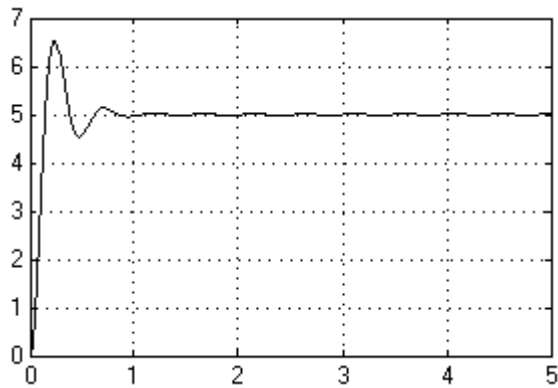


Рисунок 2.10 – Вихідний сигнал лінійної системи без імпульсного елемента.

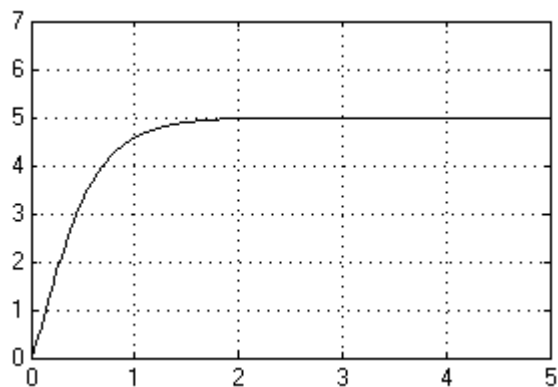


Рисунок 2.11 - Вихідний сигнал імпульсної системи.

Сигнал похибки являє собою сигнал, який утворився як результат віднімання заданого значення тиску та вихідного зміненого значення.

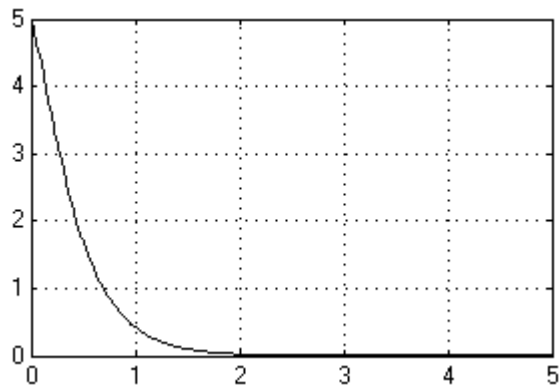


Рисунок 2.12 – Сигнал похибки імпульсної системи

Для підтвердження роботи системи за принципом амплітудноімпульсної модуляції наведемо сигнали з генератора, вхідний сигнал ІЕ та вихідний, а також сигнал після потенціометра, який пропорційний вихідному сигналу з ІЕ.

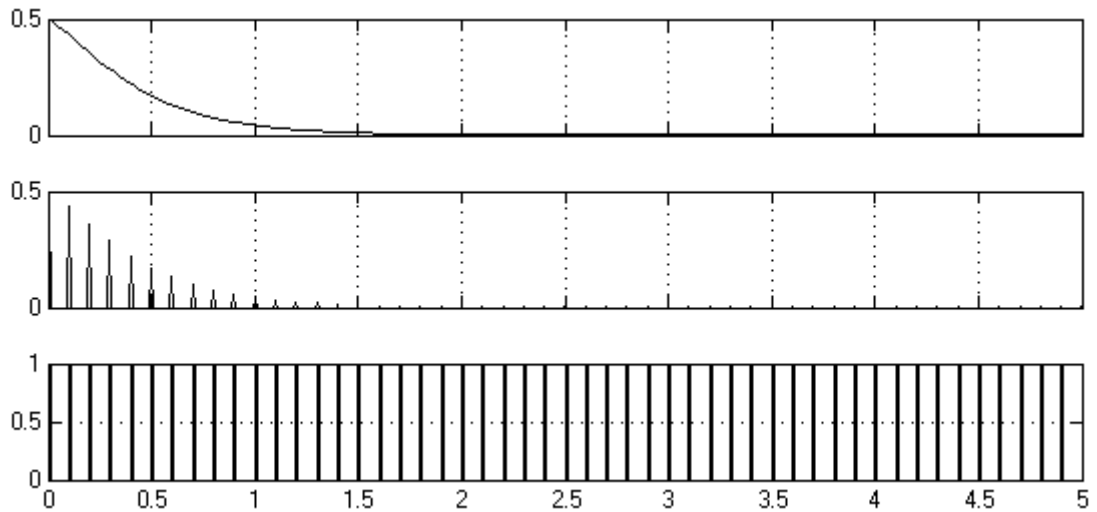


Рисунок 2.13 – Вхідний сигнал ІЕ, вихідний та тактові імпульси.

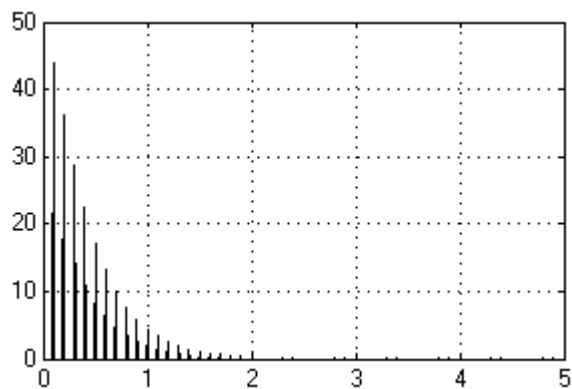


Рисунок 2.14 – Напряга з підсилювача.

Як видно напруга на двигуні змінюється від максимально можливого до мінімального, що і забезпечує регулювання тиску.

Механічні повороти та переміщення рухомих частин можна також представити у вигляді сигналів.

Згідно з графіком (рис. 2.15) положення засувки постійне при сталому тиску.

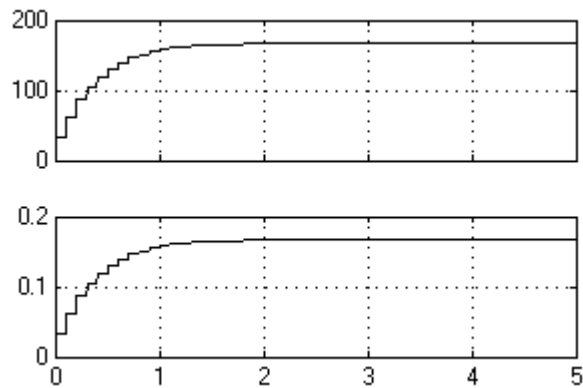


Рисунок 2.15 – Кут повороту двигуна та переміщення засувки.

Перевірити процес і якість регулювання можна шляхом введення в схему збурення, або змінити певні параметри і слідкувати як система поведе себе. Додамо до схеми моделювання вихідний суматор, який буде символізувати початкове значення вихідної тиску.

При різних початкових тисках система повинна регулювати вихідний тиск до заданого рівня.

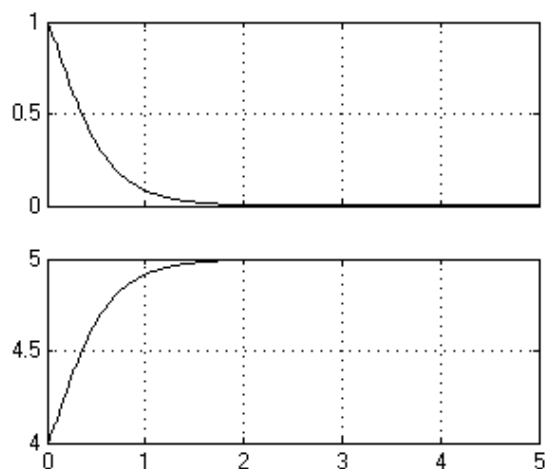


Рисунок 2.16– Похибка та вихідний сигнал при $P=1,4$ МПа.

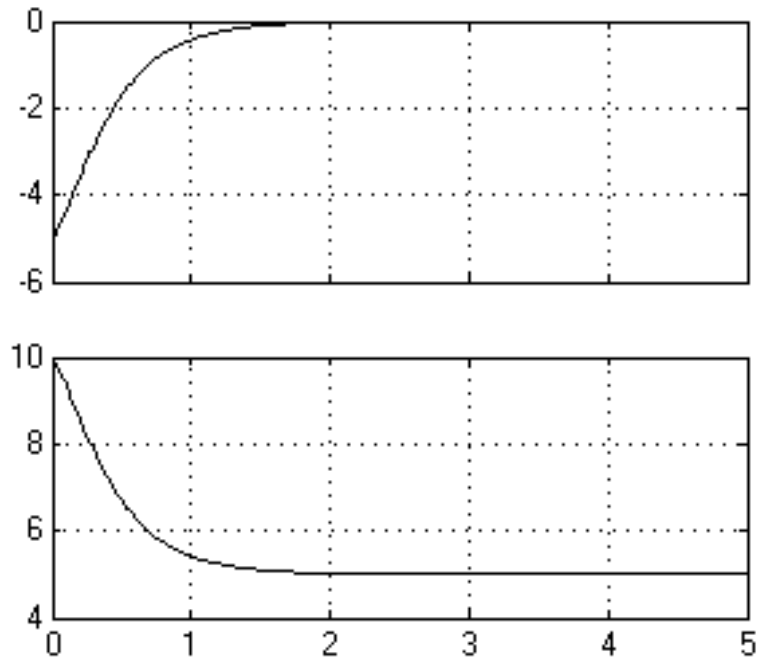


Рисунок 2.17 – Похибка та вихідний сигнал. при $p=1.2$ МПа.

Як видно із графіків (рис.2.16, 2.17) система дійсно регулює заданий параметр, та встановлює на виході потрібне значення.

Отже дослідивши лінійну систему, вплив імпульсного елемента та загальну імпульсну систему на стійкість і якість, за допомогою різних методів, можна стверджувати, що лінійна система стійка, але перехідний процес встановлення тиску має велике перерегулювання. Це можна усунути шляхом використання імпульсного елемента.

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Специфіка технологічного процесу. Підготовка води

Сира вода, очищена від бруду і домішок механічними фільтрами поступає в котельню з міської мережі. Температура її становить $5\div 10$ °С і контролюється ртутним термометром, встановленим на трубопроводі. Тиск сирі води контролюється манометром типу ОБМ-160 і становить 3 кгс/см². Під цим тиском вода поступає на підсосі двох насосів сирі води, після яких тиск підвищується до 9 кгс/см². Після насосів сирі води вода іде на підігрівач сирі води. Тиск сирі води на вході і виході з підігрівача контролюється манометрами типу МГП-160. Навиході з підігрівача тиск води становить $8,5$ кгс/см². Температура води на виході з підігрівача становить $35\div 40$ °С. Вона контролюється і блокується ртутним термометром і термометром типу ТПГ-СК з дистанційною світловою і звуковою сигналізацією. Регулювання температури сирі води на виході з підігрівача здійснюється регулятором (Р-25) температури сирі води (П-150), який змінює витрату прямої мережевої води через підігрівач у відповідності з зміною сирі води на виході.

Після підігрівача вода поступає для дальшої обробки в Na-катионові фільтри. Від якості роботи Na-катионових фільтрів залежить в значній мірі надійна і економічна робота котельної. Якість води після фільтрів визначається вмістом зважених речовин, сухим залишком, окислюванням, лужністю і кислотністю. Жорсткість води характеризується сумарним вмістом у воді солей кальцію і магнію, які рахуються накипо-утворювачами. Вода з незначним вмістом розчинних домішок, які утворюють відкладання на стінках котла у вигляді твердого осаду, називається м'якою, а з великим вмістом домішок – жорсткою. Вміст у воді солей кальцію і магнію приводить до утворення на стінках труб котла накипу і шламу, які погано проводять тепло (в $20\dots 30$ разів

гірше від заліза). Це перешкоджає їх охолодженню, внаслідок чого стається перегрів труб і на них утворюються віддушини і навіть розриви. Для пом'якшення жорсткої води застосовується Na- катіонові фільтри. Як катіоновий матеріал застосовується сульфовугілля – продукт обробки сірчаною кислотою кам'яного чи бурого вугілля. Сульфовугілля практично нерозчинне у воді. Засипаний у фільтр катіоніт спочатку насичують іонами натрію. Це досягається промиванням матеріалу розчином кухонної солі. Потім через фільтр пропускають пом'якшену воду. Катіоніт має властивість вилучувати з води іони накипоутворювачів (Ca^{2+} , Mg^{2+}) і взамін віддавати воді еквівалентну кількість іонів Na^{2+} , які є в катіонітному матеріалі. Витрата води через фільтр контролюється витратоміром типу ДСП-780Н (П-143). Тиск води на вході фільтра контролюється манометром типу ОБМ-160. При пом'якшенні води катіоніт виснажується для відновлення він повинен піддаватись регенерації, тобто через шар виснаженого катіоніту пропускають розчин кухонної солі. При цьому катіони натрію витісняють з катіоніту раніше поглинуті катіони Ca^{+} і Mg^{+} , а катіоніт, збагачений катіонами натрію, отримує можливість пом'якшувати воду.

Соляне відділення котельні служить для приготування розчину солі, який потрібний для відновлення катіоніту (сульфовугілля). З бункера мокрого зберігання солі розчин солі насосами міцного розчину солі подається в бак-мірник.

Бункер мокрого зберігання солі являє собою ємкість, яку періодично завантажують сіллю. Для приготування розчину солі в ємкість додається пряма мережева вода від котла.

Бак-мірник – це ємкість, в якій підтримується постійний рівень розчину солі. Він устаткований світловою і звуковою сигналізацією по “мах” рівню розчину солі в баку. З баку-мірника розчин солі всмоктується інжекторами 1 і 2, і поступає в Na-катіонові фільтри.

Інжектор – це пристрій, в якому струмінь води, яка поступає з великою швидкістю, підсмоктує, за рахунок створеного нею розрідження, розчин солі і подає її в фільтр.

Після регенерації катіоніту його промивають чистою водою для видалення CaC_2 і MgC_2 і залишку кухонної солі. В процесі експлуатації катіонітова маса ущільнюється і забруднюється. Тому для розпушення і очищення маси її промивають струменем води з баку, який розміщений вище фільтра (баку для розпушення фільтра). Для контролю за рівнем води в баку застосована звукова і світлова сигналізація, а також блокування насосів розпушення по “min” рівня води в баку.

Після Na – катіонітових фільтрів вода поступає в підігрівач хімічно очищеної води, де підігрівається до $T=60^\circ\text{C}$ прямої води від котла.

Тиск води на вході і виході підігрівача контролюється манометром типу ОБМ-160 і становить на вході 7 кгс/см^2 , на виході – 6 кгс/см^2 .

Температура води на виході контролюється ртутним термометром. З підігрівача хімоводоочистки вода поступає в деаератор типу ДСВ-75. Деаерацією називається звільнення підживлючої води від розчиненого в ній повітря, в яке входить кисень і вуглекислий газ. Розчинюючись у воді, цей газ викликає корозію трубопроводів, а також котла, в наслідок чого обладнання виходить з ладу. Деаератор складається з двох складних частин: деаераторного баку і деаераторної колонки, в середині якої встановлений ряд розприлюючих тарілок. Хімічно очищена вода поступає в верхню частину деаератора. Проходячи зверху вниз через ряд тарілок, вона рівномірними потоками розподіляється по всьому колу деаераційної колонки. Барботажна вода необхідна для підтримування в деаераторі температури близько 70°C . При цій температурі проходить прикорене обезкислювання хімічно очищеної води (процес деаерації проходить на протязі 3-5 хв).

Барботажна вода поступає через підігрівач барботажної води. Сюди вона подається підживлюючими насосами з акумуляторних баків. В підігрівачі

вона підігривається прямою водою з котла до 120 °С. Для регулювання температури води в підігривачі встановлений регулятор температури барботажної води (П-46); виконавчий механізм, який управляє витратою прямої води через підігривач в залежності від температури барботажної води на виході. Температура води на виході також контролюється ртутним термометром. Тиск води на вході і виході підігривача контролюється манометром типу ОБМ-160. Для контролю за температурою виходу води з деаератора на лінії подачі барботажної води в деаератор встановлений регулятор температури в деаераторі (П-116). Виконавчий механізм регулятора управляє витратою барботажної води через деаератор в залежності від температури води на виході з деаератора, яка становить близько 70°С. Розрідження, яке необхідне для нормального деаерування, створюється проходженням через деаератор потоку робочої води. Вона поступає з баку робочої води і насосами робочої води циркулює між баком і деаератором.

Розрідження в деаераторі контролюється моновакууметром типу МВТС-711 і становить 0,5÷0,7 атм.

Вода, яка пройшла через деаератор, поступає в баки-акумулятори 1,2.

Баки-акумулятори – це великі металеві ємкості, які розміщені поза приміщенням котельні. Головне призначення баків – створення необхідного запасу води для виробничих потреб, а також підживлення тепломереж і водогрійних котлів. Рівень води в баках регулюється регулятором Р-25.1 (П-117). Виконавчий механізм регулятора встановлений на трубопроводі подачі хімічованої води через деаератор акумулятори баків і управляє витратою цієї води в залежності від її рівня в баках-акумуляторах. Рівень води в баках також контролюється приладом типу КСД-2-003. Крім того на “мах” рівні в баках акумуляторах застосована світлова і звукова сигналізація. Деаерована вода з баків акумуляторів іде на підсос насосів підживлення тепломережі (підживлення насосів), а також насосів гарячого водопостачання. Насоси гарячого водопостачання призначені для подачі гарячої води з баків

аккумуляторів на заводські потреби, ГВП котельні, а також на ГВП блоку насосних. Температура води ГВП становить біля 70 °С. Тиск води після насосів ГВП контролюється приладом типу КСД-2-001 (П-108), а температура – приладом КСМ-2-023 (П-43) [12]. Підживлююча вода подається на підсос мережевих насосів і потім поступає в водогрійний котел. Другий потік води після На – котіонітових фільтрів поступає в підживлюючий бак, звідки іде на підсос підживлюючих насосів парових котлів. Для контролю за рівнем води в підживлюючому баці передбачена звукова і світлова сигналізація (на “max” і “min” рівні). Підживлюючий бак являє собою металеву ємкість, яка розміщена на висоті верхнього рівня парових котлів. Його призначення – створення необхідного запасу хімоочищеної води для підживлення парових котлів. Для підтримування температури води в баку біля 70 °С в технологічній схемі передбачена подача в нього пари від парового котла.

Підживлюючі насоси служать для заповнення водогрійних котлів і всіх трубопроводів теплотраси (включаючи внутрішні системи ОВ корпусів) водою з температурою 70÷75 °С з баків-аккумуляторів, а також для заповнення нестаччі води в системі в наслідок поривів та аварій.

Тепловою схемою передбачено два відцентрових насоси типу 2К-20-30/2К-6. Система автоматичного регулювання технологічного процесу передбачає автоматичне регулювання кількості підживлюючої, яка подається в ліній живлення водогрійних котлів. Регулювання виконується регулятором типу Р-25 (П-78), виконавчий механізм якого встановлений на трубопроводі подачі підживлюючої води в зворотну тепломережу живлення котла в залежності від тиску зворотної мережевої води перед мережевими насосами[13]. Витрата підживлюючої води контролюється також приладами типу КСД-2-054 (П-83). Мережеві насоси призначені для примусової циркуляції мережевої води через водогрійні котли і по опалювальній системі.

Проектом передбачено установку з 4-ох мережевих насосів типу ХЦН-400-105 (1-2 робочих, 2-3 резервних). При понижених навантаженнях в літній час циркуляція мережевої води проводиться одним мережевим насосом.

Для підтримання температури зворотної мережевої води в підігрівуючій в котли КВГМ-20 не нище 70 °С в зворотну лінію (з метою перетворення потіння трубної частини конвективних поверхонь нагріву котла), передбачено підтримування прямої мережевої води з температурою 150 °С в зворотну магістраль в тому випадку, якщо температура зворотної мережевої води нижче 70°С. Для цього в котельній встановлені два насоси рециркуляції типу НКУ-250 і регулятор температури зворотної мережевої води Р-25.72 (П-45). Виконавчий механізм регулятора встановлений на лінії подачі прямої води від котла в його зворотну магістраль, і управляє витратою цієї води в залежності від зміни температури зворотної мережевої води на вході в котел.

Температура зворотної мережевої води також контролюється 12-точковим приладом типу КСМ-2-023 (П-43).

3.2 Технологічні характеристики систем виробництва пари

Парогенератор являє собою конструкцію, що складається з верхнього і нижнього барабанів, системи труб з бічним розташуванням конвекційної частини по відношенню до топкової камери. Топкова частина відділена від конвекційної конвекційної екраном, у якому є вікно для виходу газів у конвекційний пучок, пучок який складається із розташованих у шаховому порядку труб і подовжньої перегородки, що забезпечує розворот газів у пучку і вивід їх через вікно в задній стінці котла. Паливо разом з повітрям подається через пальники в камеру згорання. На стінках камери згорання розташовані екрани, що складаються з великої кількості вертикальних труб, і на виході

камери – фестон, разом вони утворюють поверхні нагріву внаслідок випаровування, і отримують частину теплоти продуктів згорання. Природна циркуляція води і пароводяної суміші в котлах з природною циркуляцією утворюється за рахунок різниці мас стовпців води в опускних трубах, і пароводяної суміші в підйомних трубах екранів і фестону.

Після камери згорання продукти згорання проходять через пароперегрівач, в якому пара перегрівается до потрібної температури, після чого направляється до споживачів. Після пароперегрівача продукти згорання проходять через економайзер, в якому підігрівається вода живлення, і повітряний підігрівач, в якому підігрівається повітря, що йде на спалювання палива. Охолоджені продукти згорання вилучаються з котла.

При критичному тиску в котлі природна циркуляція неможлива. Ця обставина, а також умова надійності циркуляції, збільшення маси і собівартості конструкції по мірі підвищення тиску в котлі визначили використання котлів з природною циркуляцією при тисках до 13,8 МПа. Котли низького і середнього тиску виготовляють переважно саме з природною циркуляцією, що пояснюється в основному менш жорсткими вимогами до якості води, більш простою системою автоматизації процесів горіння і живлення, відсутністю затрат електроенергії на здійснення руху робочого середовища в системі випаровування.

Камера згорання утворена бічними екранами, фронтовою і задньою стінками, розділена цегельною стінкою на топку глибиною 1605-2105 мм і камеру догорання глибиною 360-745 мм, що дозволяє підвищити ККД котла знизженням механічного недопалу. Вхід газів з топки в камеру догорання і вихід газів з котла асиметричні.

У котлі парогенератора застосована схема одноступінчатого випару. Вода циркулює в такий спосіб: живильна вода з економайзера подається у верхній барабан під рівень води по перфорованій трубі. У нижній барабан вода зливається по задніх трубах кип'ятельного пучка, що обігріваються. Передня частина пучка (від фронту котла) є піднімальною. З нижнього барабану вода по

пропускних трубах надходить у камери лівого і правого екранів. Живлення екранів здійснюється також з верхнього барабана по опускних стояках, розташованих на фронті котла.

Блоки котла спираються камерами бічних екранів на поздовжні швелери. Камери приварені до швелерів по всій довжині. В області конвективного пучка блок котла спирається на задні і передні поперечні балки. Поперечні балки кріпляться до поздовжніх швелерів. Передня балка кріпиться нерухомо, задня – рухомим чином.

Парогенератор на механічному рівні обладнаний контрольно-вимірювальними приладами й арматурою, зокрема двома запобіжними клапанами, один із яких контрольний. У котлів з пароперегрівачами контрольний запобіжний клапан встановлюється на вихідному колекторі пароперегрівача. На верхньому барабані кожного котла встановлений манометр; при наявності пароперегрівача манометр встановлюється і на вихідному колекторі пароперегрівача.

На верхньому барабані встановлюється головний паровий вентиль або засувка, вентиля для відбору проб пари, відбору пари для власних потреб. На коліні для спуску води встановлений запірний вентиль з умовним проходом 50 мм.

На живильних трубопроводах перед економайзером встановлюються зворотні клапани і запірні вентиля; перед зворотним клапаном встановлений регулювальний клапан живлення, що з'єднується з виконавчим механізмом автоматики котла.

Котел комплектується газовим пальником (ДСЕ-2,5-14Г), вентилятором ВД-2,8 (3000 хв⁻¹), насосом для подачі води живлення, генератором ударних хвиль, контрольно-вимірювальними приладами, щитом керування й автоматикою безпеки. За бажанням замовника котли можуть комплектуватися димососом ДН-6,3 (1500), економайзером БВЭСІ-2, повітропідігрівником ВП-65 і блоковою установкою підготовки води.

При зменшенні робочого тиску ККД котлоагрегату не зменшується, що підтверджено порівняльними тепловими розрахунками котлів на номінальному і зниженому тиску. При роботі на зниженому тиску запобіжні клапани на котлі і додаткові запобіжні клапани, що встановлюються на устаткуванні, повинні регулюватися на фактичний робочий тиск.

Технологічні параметри парогенератора зведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристики парогенератора.

Найменування показника	Значення
Номінальна паропроодуктивність, т/год	2,5
Паливо	Вугілля
Робочий тиск пари, МПа	1,4
Температура пари, °С	194
Загальна площа поверхонь нагріву, м ²	40,28
Об'єми котлів, м ² :	
Водного	1,97
Парового	0,43
Температура газів, °С, не більше:	
за котлом	336
за економайзером	120
Питомі викиди оксидів азоту при спалюванні розрахункового палива, мг/м ³	145
Температура води живлення, °С	50
Матеріал труб поверхонь нагріву	Сталь В20 (ГОСТ 8733—74)
ККД брутто при номінальній продуктивності, %	90

4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1 Функціональний синтез системи регулювання тиску технологічної пари

Система регулювання тиску є підсистемою САР парогенератора. Вона працює згідно схемі з принципом управління за відхиленням. Необхідно підтримувати постійний тиск об'єкту, шляхом впливу на подачу паливного газу на вхід парогенератора. Виходячи з необхідності підтримання необхідної якості регулювання доцільно застосувати імпульсну систему.

Загальна функціональна схема системи представлена на рисунку 4.1. Де на вхід вимірювального елемента (ВЕ) подається існуюче P_1 і задане P_2 значення тиску пари парогенератора. На виході отримуємо сигнал розбіжності s який надходить на імпульсний елемент (ІЕ) в результаті він перетворюється у дискретний сигнал s^* . Цей сигнал надходить на підсилювач (П) де після підсилення і нормування U надходить на виконавчий механізм що складається з двигуна (Дв.) і редуктора (Р). Виходом виконавчого механізму є кут повороту α регулюючого органу - засувки β ϕ

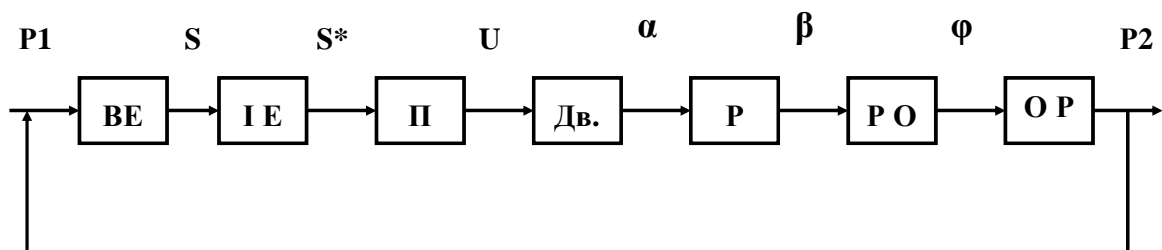


Рисунок 4.1 – Функціональна схема системи регулювання тиску

4.2 Параметричний синтез системи управління

На основі функціонування схеми, та згідно літературних джерел необхідно визначити характеристики та параметри структурних елементів.

1) Рівняння об'єкту регулювання:

$$(T_0 \cdot p + 1)\theta_2 = k_0 \cdot \varphi, \quad (4.1)$$

де φ - кут повороту редуктора, або переміщення засувки;

θ_2 - вихідний тиск об'єкту.

2) Рівняння чутливого елемента

$$u_m = k_m \theta, \quad (4.2)$$

де $\theta = \theta_1 - \theta_2$ - сигнал розбіжності між заданим і вихідним значеннями тиску;

U_m - напруга на виході чутливого елемента.

3) Рівняння потенціометра

$$U_R = k_R x, \quad (4.3)$$

де k_R - коефіцієнт передачі,

4) Рівняння виконавчого двигуна.

Згідно вихідним даним впливом статичного моменту навантаження і перехідних процесів в ланцюгу якоря двигуна можна знехтувати. Тому диференціальне рівняння двигуна можна записати у вигляді

$$(T_M p + 1)p\alpha = k_d u_d, \quad (4.4)$$

де α - кут повороту вала двигуна,

T_M - електромеханічна постійна часу,

k_d - коефіцієнт передачі двигуна.

5) Рівняння редуктора:

$$\beta = k_p \alpha, \quad (4.5)$$

де β - кут повороту після редуктора;

α - кут повороту валу двигуна;

k_p - коефіцієнт передачі редуктора.

Вихідні дані:

Параметри імпульсного елемента:

Коефіцієнт передачі імпульсного елемента визначається як відношення вихідної напруги до вхідної: $K_i = \frac{A_i}{A \hat{\alpha} \ddot{\alpha}}$, де A_i - амплітуда імпульсу, $A_{вх}$ - амплітуда вхідного сигналу. Даний коефіцієнт являється коефіцієнтом модуляції.

$$T=0.1\text{с}, \omega=2\pi/T=62.832\text{ рад/с}, \nu=10\text{ Гц}, \tau=0.01\text{с}, \lambda=\tau/T.$$

Інші параметри системи:

- крутизна статичної характеристики чутливого елемента $k_m=0,1\text{ мВ/}^\circ\text{С}$,

- максимальна напруга на якорі двигуна $U_{3max}=250\text{ В}$,

- швидкість холостого ходу двигуна $n_0=6000\text{ об/хв}$,

- пусковий момент двигуна $M_0=100\text{ Н}\cdot\text{м}$,

- електромеханічна постійна часу двигуна $T_M=0,1885\text{ с}$.

- коефіцієнт передачі двигуна

$$k_d = 12.56 \frac{\delta \hat{\alpha} \ddot{\alpha}}{\hat{A} \cdot \ddot{n}}$$

- передатне відношення редуктора $i=100$, $k_p=0.001$

- момент інерції всіх частин, що обертаються, приведений до валу двигуна, $J=3 \cdot 10^{-5}\text{ кг}\cdot\text{см}^2$. Впливом статичного моменту навантаження і перехідних процесів в ланцюгу якоря двигуна можна знехтувати.

- коефіцієнт передачі об'єкта і регулюючого органу $k_0 = 30 \hat{\alpha} \ddot{\alpha} \ddot{\alpha} / \delta \hat{\alpha} \ddot{\alpha}$,

- постійна часу об'єкта $T_o=0.1\text{с}$.

Об'єкт регулювання представляє собою аперіодичну ланку першого порядку з постійною часу, яка визначається номінальним тиском.

На базі функціональної схеми, використовуючи рівняння елементів, і відповідних передаточних функцій та конкретних параметрів елементів схеми можна скласти більш конкретну схему систему. За рівняннями (4.1) – (4.5) складемо структурну схему системи (рис. 4.2).

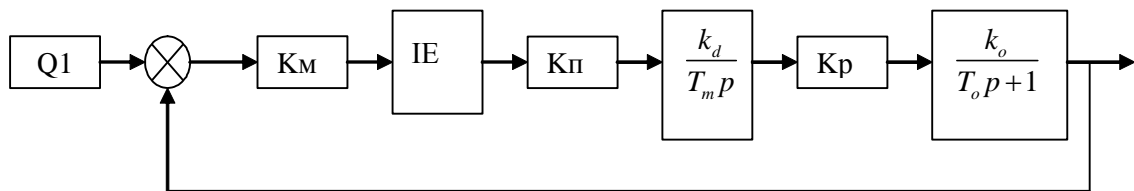


Рисунок 4.2 – Структурна схема системи

В даній схемі елементи зображені, в такій послідовності, щоб було зрозуміло принцип роботи системи. Загальна передавальна функція складається з неперервної частини та імпульсної. Щоб їх математично представити разом, потрібно проаналізувати характеристику імпульсних систем.

4.3 Синтез системи управління

В дискретних системах управління один або кілька сигналів являються дискретними і представляють послідовність короткочасних імпульсів. В склад дискретної системи, входить ланки неперервної дії, перетворюючі пристрої неперервних сигналів, та елементи, які виконують зворотне перетворення.

Перетворення неперервного сигналу в дискретний називається квантуванням, яке буває трьох видів: по рівню, по часу, по рівню і по часу. Відповідно із типом квантування дискретні системи поділяються на релейні (по рівню), імпульсні (по часу), цифрові (по рівню та по часу). Квантування по рівню здійснює так званий квантувач, по рівню – імпульсний елемент, по рівню і по часу – аналог-цифровий перетворювач (АЦП) [2].

Лінійна імпульсна система з АІМ може бути представлена у вигляді послідовно з'єднаних ІЕ і неперервної частини (НЧ). В свою чергу ІЕ, з метою спрощення аналізу системи представляється еквівалентним елементом – послідовно з'єднані ідеальний ІЕ та формуючий елемент (ФЕ).

Ідеальний ІЕ перетворює неперервний сигнал в миттєві імпульси у вигляді $\delta(t)$ - функцій, модульованих по площі.

Формуючий елемент, або демодулятор утворює із миттєвих імпульсів такі імпульси, які по формі співпадають з імпульсами на виході реального ІЕ.

Неперервна частина, являє собою лінійну частину, яка складається з неперервних ланок. ФЕ та НЧ формують так звану зведену неперервну частину (ЗНЧ)

В даній системі імпульсний елемент (ІЕ - падаюча дужка і потенціометр) представляє собою амплітудноімпульсний модулятор (АІМ), вхідний сигнал, якого модулює несучу у вигляді послідовності однакових імпульсів зі сталою тривалістю і частотою повторення $1/T$, де T – період повторення імпульсів.

Щоб визначити функцію передачі всієї системи потрібно знати окремі передавальні функції кожного структурного елемента системи. Перемноживши їх ми отримаємо загальну функцію передачі імпульсної системи.

Функція передачі всієї системи визначається формулою:

$$W(s) = ki \cdot W_{\text{ФЕ}}(s) \cdot W_{\text{НЧ}}(s), \quad (4.6)$$

де $W_{\text{ФЕ}}(s)$ - функція передачі фіксуєчого елемента;

$W_{\text{НЧ}}(s)$ - функція передачі неперервної частини;

ki – амплітуда прямокутного імпульсу ($W_{\text{ІЕ}}(s) = 1 = ki$).

Реакція фіксуєчого елемента на одиничний імпульс або на дельта-функцію, є імпульсною характеристикою даного елемента $w(t)$, яка є також імпульсною функцією передачі цього елемента $K\phi(t)$. Вона визначається формою імпульсу реального ІЕ. Звідси випливає, що функція передачі фіксуєчого елемента може бути знайдена, як зображення форми імпульсу по Лапласу, тобто:

$$W_{\hat{o}}(s) = L\{w(t)\}. \quad (4.7)$$

Дуже часто зустрічаються випадки, коли несучі імпульси мають прямокутну форму, ФЕ повинен перетворити одиничну дельта-функцію в прямокутний імпульс з одиничною висотою і тривалістю $\tau = \lambda \cdot T$, де $\lambda < 1$ - шпаруватість або відносна тривалість. Такий імпульс можна представити у вигляді двох ступінчатих функцій, зсунутих на час τ . [10]

$$w(t) = \begin{cases} 1(t), 0 \leq t \leq \tau \\ 1(t) - 1(t - \tau), t \geq \tau \end{cases}. \quad (4.8)$$

Тоді передавальна функція ФЕ:

$$W_{\hat{o}}(s) = \frac{1}{s} - \frac{1}{s} \cdot e^{-s \cdot \lambda T} = \frac{1}{s} (1 - e^{-s\tau}). \quad (4.9)$$

При $T = \tau$ ($\lambda = 1$) ФЕ видає на протязі всього періоду повторення T постійний сигнал, рівний значенню вхідного сигналу на початку періоду. Тому в даному випадку ФЕ називається фіксуючим або запам'ятовуючим., і передавальна функція буде виглядати так:

$$W_{\hat{o}}(s) = \frac{1}{s} (1 - e^{-sT}), \quad (4.10)$$

Так як фіксація миттєвого значення сигналу на постійному рівні можна розглядати як якнайпростішу екстраполяцію – екстраполяцію поліномом нульового порядку, то ФЕ називається екстраполятором нульового порядку.

При дослідженні неперервних систем користуються диференціальними рівняннями, які визначають зв'язок між неперервною функцією та її похідною. У випадку імпульсних систем використовуються так звані різницеві рівняння, які визначають співвідношення між дискретною функцією $y[n]$ і її різницями

різних порядків $\Delta^k y[n]$, де $k = 1, 2, 3, \dots, m$. Порядок диференціального та різницевого рівнянь однакові. Змінна t замінюється на n .

При заміні реальних неперервних сигналів вигідніше переходити до відносного масштабу часу $t^* = t/T$, тобто вимірювати час числом періодів квантування T .

Послідовність неединичних імпульсів, які утворюють решітчасті функцію на інтервалі $0 \leq iT \leq \infty$, можна представити у вигляді безкінечного ряду:

$$x^*(t) = \sum_{i=0}^{\infty} x(iT) \delta(t - iT), \quad (4.11)$$

де $\delta(t - iT)$ - зміщена дельта-функція, яка існує тільки у моменти часу $t = iT$ і рівна 0 при всіх інших значеннях.

Тому з метою отримання передавальних функцій імпульсної системи в дробово-раціональній формі, яка властива неперервним системам, виконується заміна $z = e^{sT}$.

Це так зване z – перетворення решітчастої функції. Дане перетворення, як і інші виконується при допомозі спеціально сформованих таблиць. Властивості z – перетворення аналогічні звичайному перетворенню Лапласа (лінійність, теореми про початкове та кінцеве значення оригіналу, теорема про зміщення аргументу оригіналу-теорема запізнення).[15].

5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Розрахунок показників надійності системи

Більшість відмов апаратури автоматизованих систем регулювання мають випадковий характер і обумовлені різними факторами: вологість, температура навколишнього середовища, вібрація, радіоактивне випромінювання, недосконалість технологічних процесів, неоднорідність матеріалів, тощо. Оскільки передбачити появу і ступінь впливу вказаних факторів на процес нормального функціонування можливо тільки з певною вірогідністю, в основу розрахунків надійності покладено апарат теорії ймовірностей, що дає можливість визначати кількісні характеристики випадкових подій – ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ на інтервалі часу t .

Період експлуатації системи характеризується почерговими інтервалами, коли вона виконує покладені на неї функції і коли вона не може їх виконувати через внутрішні причини. Поняття надійності характеризує ступінь довіри до системи, її здатність працювати необхідний час з необхідною якістю.

Надійність є складною властивістю, яка об'єднує безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і зберігаємість.

Причинами ненадійності елементів систем можуть бути недоліки схемних рішень та неправильний підбір комплектуючих ще на стадії проектування..

Задачею розрахунку надійності обладнання є визначення показників, які характеризують їх безвідмовність та ремонтпридатність, оскільки показники ремонтпридатності характеризують можливість відновлення і час, за який можливе повне відновлення об'єкту.

В загальному випадку розрахунок повинен складатися з наступних етапів:

- визначення критеріїв і видів відмов обладнання та складу показників надійності, що розраховуються;
- побудова структурної (логічної) схеми, яка базується на аналізі функціонування системи, врахуванні резервування, відновлення, контролю працездатності елементів;
- вибір методу розрахунку надійності з врахуванням прийнятих моделей опису процесів функціонування та відновлення;
- отримання в загальному вигляді математичної моделі, яка зв'язує показники надійності з характеристиками надійності елементів;
- підбір даних за показниками надійності;
- виконання розрахунку і аналіз отриманих результатів.

Склад перелічених етапів в значній мірі залежить від вибраних критеріїв відмов та показників надійності, що розраховуються.

Так, при розробці технічних засобів повинні бути визначені такі показники надійності як середнє напрацювання на відмову та ймовірність безвідмовної роботи протягом встановленого часу. При розробці системи управління в цілому необхідно визначити коефіцієнт готовності чи простою системи [20]. Для багатфункціональних систем достатньо проаналізувати надійність основних функцій. Необхідні дані для розрахунку показників надійності елементів слід вибирати за паспортними даними або з довідників.

Загальна ймовірність безвідмовної роботи визначається із виразу :

$$P_{заг}(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) \quad (5.1)$$

Відповідно,

$$\lambda_{заг} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (5.2)$$

де P_i – ймовірність безвідмовної роботи окремих елементів, ланок, каскадів;

λ – інтенсивність їх відмови.

Логічна схема розрахунку надійності системи наведена на рисунку 5.1.

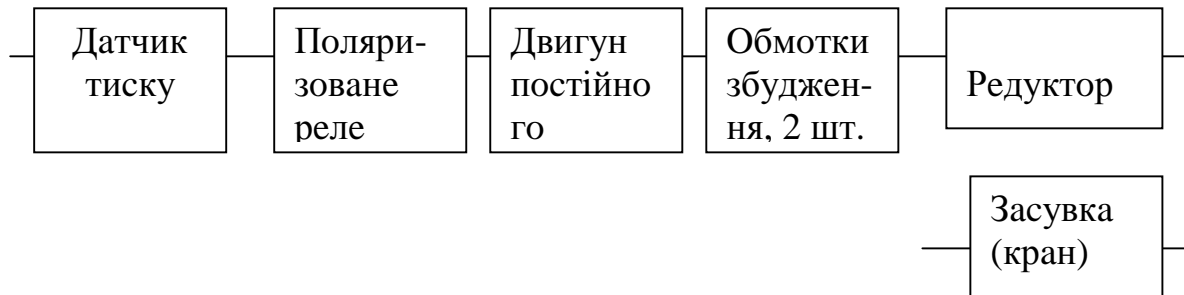


Рисунок 5.1 - Логічна схема для розрахунку надійності системи

Врахувати вплив різних факторів на надійність радіоапаратури, таких як електричний режим, навколишня температура, вологість, механічні навантаження, тощо можна з більшим або меншим ступенем точності. Наближений, але найсприятливіший для практичного застосування метод полягає в застосуванні поправочних коефіцієнтів [13]:

$$\lambda_i = \lambda_{ном} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \dots \cdot k_m, \quad (5.3)$$

де $\lambda_{ном}$ – номінальне (паспортне) значення λ для нормальних (номінальних) умов роботи ;

k_i – поправочні коефіцієнти на m -тий дестабілізуючий фактор (див. табл. 4.1).

В таблиці 5.1 використано наступні коефіцієнти :

k_T – температурний поправочний коефіцієнт (T – від +20 до +100 °С);

k_B – поправочний коефіцієнт умов експлуатації на вібрацію;

k_H – поправочний коефіцієнт навантаження (номінальне навантаження).

Розрахунок очікуваної надійності апаратури ведеться за наступною методикою:

– складається структурна (логічна) схема пристрою (системи) і визначаються елементи, відмова яких призводить до відмови усього пристрою (системи);

– складається таблиця умов і режимів роботи елементів і визначається їх результуюча інтенсивність відмови;

- за даними таблиці 5.1 визначається сумарна інтенсивність λ_{Σ} відмови пристрою.

Таблиця 45.1 - Інтенсивності відмов елементів [14]

Найменування і тип елементу	К-ть елем. ,шт	Номін. інтенс. відмови $\times 10^{-6}$, 1/год	Поправочні коефіцієнти			Інтенс. відмови ел-тів, $\lambda \times 10^{-6}$, 1/год
			k_T	k_B	k_H	
Датчик тиску	1	0,5	1,5	1	2	1,5
Поляризоване реле	1	0,7	1	1	2	1,4
Двигун постійного струму	1	0,04	1	2	2	0,16
Обмотки збудження	2	0,65	1,5	1	2	3,9
Редуктор	1	0,02	1	1	2	0,04
Засувка (кран)	1	0,5	1	1,5	2	1,5
Загальна інтенсивність відмов $\lambda_{\Sigma} * 10^{-6}$ 1/год	8,5					

За отриманим з таблиці 5.1 значенням λ_{Σ} сумарної інтенсивності відмови пристрою, обчислюємо середнє напрацювання на відмову T_0 , застосовуючи формулу :

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} = \frac{1}{8,5} * 10^6 = 117647 \text{ год.} \approx 13,6 \text{ років.}$$

Отже, середнє напрацювання до відмови становить 117647 год. або 13,6 року, що демонструє доцільність і економічну обґрунтованість розробки.

Далі наведено формулу для визначення заданого часу безвідмовної роботи при ймовірності безвідмовної роботи 0,95 і визначено час безвідмовної роботи, год. :

$$t_{\text{çää}} = -\frac{\ln 0,95}{\lambda_{\Sigma}}. \quad (5.4)$$

Отже, згідно даних таблиці 4.1, та за формулою (4.4),

$$t_{\text{çää}} = \frac{0,051}{8,5} \cdot 10^6 = 60000 \text{ год.}$$

Отже, ймовірність безвідмовної роботи в інтервалі заданого часу визначається за формулою:

$$P(t) = e^{-\lambda_{\Sigma} \cdot t}. \quad (5.5)$$

Підставивши у формулу (5.5) дані про інтенсивність відмов системи, отримують часову залежність ймовірності безвідмовної роботи системи (рис. 5.2).

Для визначення ймовірності виникнення відмов використовується формула:

$$Q(t) = 1 - P(t); \quad (5.6)$$

Підставивши значення визначеної інтенсивності відмов у формулу (5.6), отримаємо графік ймовірності виникнення відмов за час t , який наведено далі (рис. 5.2).

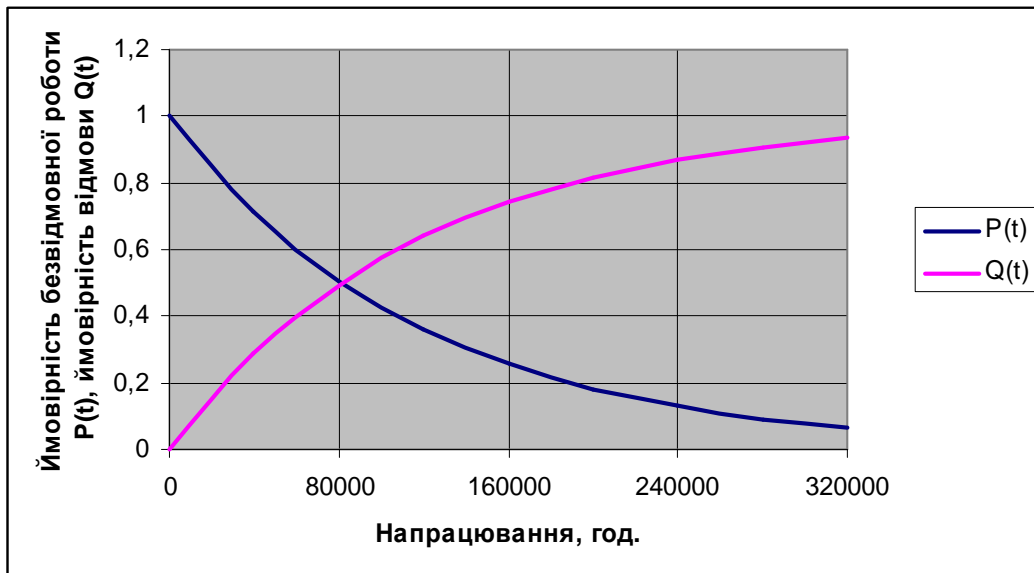


Рисунок 5.2 – Ймовірність безвідмовної роботи та ймовірність відмови системи

Обчислені для вузлів системи показники надійності задовольняють вимогам до відповідних показників усієї системи, що проектується. Тому можна стверджувати, що з точки зору теорії надійності дані вузли відповідають своєму функціональному призначенню, а кількісний показник надійності – середнє напрацювання до відмови становить близько 14 років згідно теоретичних даних, що дозволяє оцінити вказану розробку як економічно обґрунтовану і доцільну.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Аналіз потенційних небезпек і шкідливих факторів виробничого середовища

Спроектована система призначена для експлуатації в стаціонарному режимі. До працівників шкідливих професій можна віднести чергових інженерів та операторів, які працюють в умовах підвищеного шуму та вібрацій. Враховуючи специфіку їх роботи, необхідні вимоги та рекомендації стосовно режиму праці та відпочинку, освітленості та вентиляції приміщень, і ін. [16].

При встановленні, налагоджуванні і експлуатації системи регулювання тиску в парогенераторі існує потенційна небезпека отримання травм, ураження електричним струмом, отруєння випарами хімічних речовин.

Основними причинами одержання травм працівниками є :

- недотримання вимог і правил техніки безпеки при монтажі, налаштуванні і експлуатації системи контролю екологічних параметрів;
- пошкодження ізоляції проводки, поява напруги на корпусах електрообладнання при відсутності захисного заземлення і занулення;
- поява напруги на відключених струмопровідних частинах, де працюють люди, внаслідок помилкового ввімкнення;
- випадкове ввімкнення обладнання на якому виконуються роботи.

Основними заходами попередження нещасних випадків є:

- дотримання працівниками вимог техніки безпеки;
- виконання всіх робіт згідно регламентів;
- захисне заземлення і занулення установок і агрегатів;
- використання тільки сертифікованих матеріалів при монтажі системи.

Метеорологічні умови на робочому місці визначаються передусім кліматографічними особливостями місцевості. Шкідливі виробничі фактори: підвищена або понижена температура в робочій зоні, підвищений рівень шуму та вібрації в виробничому приміщенні.

Розвиток техніки, ріст потужності і швидкохідності машин, механізація виробничих процесів призводить до збільшення вібрації і шуму [20].

Порогом чутливості називається максимальна сила звуку, яка відчувається людиною з нормальним слухом. При високому рівні гучності шум шкідливо впливає на нервову систему людини і її органи слуху, що викликає роздратування, втому, послаблення уваги, зниження працездатності і глухість. Це приводить до нещасних випадків і до значного зниження продуктивності праці.

Вібрація та механічні трясіння характеризуються періодичними коливаннями дозвукової частоти. При перекачуванні рідини трубопроводами — це сили, що виникають на насосних станціях, при роботі перекачувальних агрегатів, роботі нагнітачів. В багатьох випадках шум і вібрації діють одночасно і з одного джерела.

Для боротьби з шумом та вібрацією приймають захисні заходи при будівництві об'єктів (використовують звукопоглинаючі матеріали), особливо при будівництві операторних та щитових, при проектуванні і їх експлуатації (усунення причин шуму або послаблення його в джерелі).

Вибір приміщення інформаційному центрі й організація робочого місця здійснюється згідно СН 245-71. Мінімальна площа на одну людину в Інформаційному Центрі становить 4,5 м² вільного від обладнання, а об'єм робочої зони на одну людину – 15 м³. Фактично на одну людину припадає 4,8 м², а об'єм робочої зони – 16,7 м³.

При плануванні робочого приміщення необхідно, щоб:

ПК біли б розташовані таким чином, щоб уникнути випромінювання від цокольної частини кінескопу дисплею;

Відстань між сусідніми операторами, які працюють на ПК, не повинна бути меншою ніж 1,2 м;

Відстань від екрану дисплею до оператора повинна, по можливості, становити 0.7 м;

Тривалість роботи за комп'ютером не повинна перевищувати 4 години. Після кожної години роботи необхідно робити 10-ти хвилинні перерви.

Довготривала робота за комп'ютером може викликати послаблення зору, та як дисплей відображає всю інформацію в яскравих, різноманітних кольорах, крім того екран, випромінює рентгенівське проміння. Центральний блок комп'ютера і всі його периферійні пристрої живляться від мережі змінного струму 220 В. Тому потрібно прийняти відповідні міри, щоб уникнути ураження електричним струмом.

Аналіз потенційно шкідливих факторів наведено в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Аналіз потенційних небезпек виробничих факторів

Джерело небезпеки	Характеристика потенційно небезпечних виробничих факторів та їх допустимі значення	
	Фактичні дані вимірів	Нормовані значення
1. Парогенератор		
Шум	Рівень звукового тиску $L_p=8$ дБ; $f_{c.t.}=63$ Гц	$L_{pH}=99$ дБ; $f_{c.t.}=63$ Гц
Вібрація (загальна)	Рівень віброшвидкості $L_v=70$ дБ; $f_{c.t.}=63$ Гц	$L_v=76$ дБ; $f_{c.t.}=63$ Гц
Електричний струм	$U=380$ В; $I=15$ А; $f=50$ Гц, (Можливе ураження електричним струмом)	
Тепловий фактор	$T=120$ С, можливість отримання опіків та теплових ударів	
Ємності і лінії під тиском	$P \leq 70$ МПа, можливість травмування працівників	
Рухомі частини	Можливість отримання механічних травм.	
2. ЕОМ	Фактичні дані вимірів	Нормовані значення
Випромінювання дисплея: рентгенівське	1,2 Кев	75 мкГ/Г
ультрафіолетове	220 - 280 нм	0,01 Вт/м ²

видимий діапазон	320 – 700 нм	10,0 Вт/ м ²
яскравість	75-80 кД/ м ²	Не менше 35 кД/ м ²
ІК-випромінювання	700 нм – 1 мм	100,0 Вт/ м ²
Електростатичне поле	0 Гц	20 – 60 кВ/ м ²
Шум	55 дБА	65 дБА
Живлення центрального блоку	I = 2,5 А; U = 220 В; f = 50 Гц (Можливе ураження електричним струмом)	

6.2 Забезпечення нормальних умов праці

6.2.1 Загальні положення

Необхідно розробити засоби захисту від цих шкідливих факторів. До таких засобів захисту відносять: вентиляція, штучне освітлення, звукоізоляція. Існують нормативи, що визначають комфортні умови та гранично допустимі норми запиленості, температури повітря, шуму, освітленості. В системі мір, що забезпечують безпечні умови праці, значну увагу приділяють естетичним факторам: оформлення виробничого інтер'єру, обладнання, застосування функціональної музики та інш., які здійснюють певний вплив на організм людини. Важливу роль грає побілка приміщень, яка повинна бути світлою. В даному розділі дипломного проекту розраховується необхідна освітленість робочого місця та інформаційне навантаження оператора.

Розвитку втомлюваності на виробництві сприяють такі фактори:

- неправильна ергономічна організація робочого місця, нераціональні зони розміщення обладнання по висоті від підлоги, по фронту від осі симетрії та інш.;
- характер протікання процесу праці. Трудовий процес організований таким чином, що оператор змушений з перших же хвилин робочого дня вирішувати найбільш важкі задачі, в той час, коли в перші хвилини роботи функціональна рухливість нервових клітин мозку надзвичайно низька.

Важливе значення має чергування праці та відпочинку, зміна одних форм роботи іншими.

У відповідності з ГОСТ 12.1.005-88 (Повітря робочої зони) в приміщенні повинен дотримуватись такий мікроклімат (таблиця 6.2).

Таблиця 6.2 – Оптимальні значення метеорологічних умов в робочих зонах виробничих приміщень

Характеристика приміщення	Категорія робіт	Період року	Температура (°C)	Відносна вологість	Швидкість руху повітря, м/с
Місце оператора	Легка 1б	Теплий	23 – 25	40 – 60	0,1
		Холодний	21 – 23	40 – 60	0,1

Для підтримання необхідного мікроклімату в приміщенні встановлюються пристрої опалювання та вентиляції, які відповідають вимогам СНиП 2.04.05-86 та СН 245-71. В приміщенні використовують водяну систему опалення з нагрівними приладами підвіконних панелей. Температура поверхні цих панелей не повинна перевищувати 85 °C. розміри цих панелей повинні забезпечувати зручність та безпеку праці. В приміщенні застосовують природну-витяжну та штучну-припливну вентиляцію.

Мінімальна кількість свіжого повітря, яка подається системою вентиляції складає 60 м³ на одного працюючого.

Таблиця 6.3 – Характеристика освітленості

Характеристика приміщення	Розряд зорових робіт	Освітленість, Лк			Тип світильника
		Робоче	Комбіноване	Аварійне	
Приміщення з ЕОМ	III, а	400	450	7	ЛПС-12 “кососвітло”

6.2.2 Розрахунок освітлення робочого місця оператора

Одним з основних питань охорони праці є організація раціонального освітлення виробничих приміщень та робочих місць.

Для освітлення приміщення, в якому працює оператор, використовується змішане освітлення, тобто суміш природного та штучного освітлення.

Природне освітлення – створюється через вікна в зовнішніх стінах будівлі.

Штучне освітлення – використовується при недостатньому природному освітленню й створюється за допомогою двох систем: загального та місцевого освітлення. Загальним називають освітлення, світильники якого освітлюють всю площу приміщення. Місцевим називають освітлення, призначене для визначеного робочого місця.

Для приміщення, де знаходиться робоче місце оператора, використовується система загального освітлення.

Нормами для даних робіт встановлена необхідна освітленість робочого місця $E_H=300$ лк (для робіт високої точності, коли найменший розмір об'єкта розрізнення становить 0.3 – 0.5 мм).

Розрахунок системи освітлення виконується методом коефіцієнта використання світлового потоку, який виражається відношенням світлового потоку, що падає на розраховуємо поверхню, до сумарного потоку всіх ламп. Його величина залежить від характеристик світильника, розмірів приміщення, побілки стін та стелі, що характеризуються коефіцієнтами відбиття стін та стелі.

Загальний світловий потік визначається за формулою:

$$F_{\text{общ}} = E_H \cdot S \cdot z_1 \cdot z_2 / \eta, \quad (6.1)$$

де E_H – необхідна освітленість робочого місця згідно норми ($E_H=300$ лк); S – площа приміщення, м^2 ; z_1 – коефіцієнт запасу, який враховує напруцювання та забруднення світильників ($z_1=1.5$); z_2 – коефіцієнт, що враховує

нерівномірність освітлення ($z_2=1.1$); η - коефіцієнт використання світлового потоку вибирається з таблиць в залежності від типу світильника, розмірів приміщення, коефіцієнтів відбиття стін та стелі приміщення.

Визначимо площу приміщення, якщо його довжина складає $L_d=6.5$ м, а ширина $L_{ш}=3.7$ м:

$$S = L_d \cdot L_{ш} = 6.5 \cdot 3.7 = 24 \text{ м}^2, \quad (6.2)$$

Виберемо з таблиці коефіцієнт використання світлового потоку по таких даних:

коефіцієнт відображення побіленої стелі $R_{п}=70\%$;

коефіцієнт відбиття від стін, помальованих у світлу фарбу $R_{ст}=50\%$;

$$i = \frac{L_d \cdot L_{ш}}{h_{п} \cdot (L_d + L_{ш})} = 0.7,$$

де $h_{п}$ – висота приміщення = 3.5 м. Тоді знаходимо (для люмінесцентних ламп $i=0.7$) $\eta=0.38$.

Визначаємо загальний світловий:

$$F_{заг} = 300 \cdot 24 \cdot 1.5 \cdot 1.1 / 0.38 = 31263.2 \text{ лм}, \quad (6.3)$$

Найбільш підходящими для приміщення ІЦ є люмінесцентні лампи білого світла чи тепло-білого світла, потужністю 20, 40 чи 80 Вт.

Вибираємо ЛБ-40 (40 Вт).

Світловий потік однієї лампи потужністю 40 Вт складає $F_1=3100$ лм, відповідно, щоб отримати світловий потік $F_{заг}=31263.2$ лм необхідно N ламп, число яких можна визначити за формулою:

$$N = F_{заг} / F_1, \quad (6.4)$$

Підставивши значення, отримаємо:

$$N = 31263.2 / 3100 = 10 \text{ ламп}, \quad (6.5)$$

Таким чином, необхідно встановити 10 ламп.

Електрична потужність усієї освітлювальної системи вираховується за формулою:

$$P_{заг} = P_1 \cdot N, \text{ Вт}, \quad (6.6)$$

де P_1 – потужність однієї лампи = 40 Вт, N – число ламп = 10.

$$P_{заг} = 40 \cdot 10 = 400 \text{ Вт}, \quad (6.7)$$

Для уникнення засвітки екранів дисплеїв прямими світловими потоками світильники загального освітлення розміщують збоку від робочого місця, паралельно лінії зору оператора та стіні з вікнами. Таке розміщення світильників дозволяє проводити їх послідовне включення в залежності від величини природного освітлення та виключає подразнення очей чергуючими ся смугами світла та тіні, що виникають при поперечному розміщенні світильників.

Розрахунок місцевого світлового потоку не виконується, так як в даному випадку рекомендується система загального освітлення для уникнення відбиття світла від поверхонь столу та екрану монітора.

Коефіцієнт пульсації освітленості:

$$K_{II} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2E_{cp}} \cdot 100\%, \quad (6.8)$$

де E_{\max} , E_{\min} та E_{cp} показники освітленості для газорозрядних ламп при їх живленні змінним струмом – відповідно максимальна, мінімальна та середня.

Візьмемо по аналогії люмінесцентну лампу ЛХБ приблизно тієї ж потужності. Включенням сміжних ламп в різні фази (групи) трьох фазної електричної мережі можна досягти зменшення коефіцієнта пульсації КП с 35 до 3 – тобто майже в 12 раз .

6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

В умовах економічної кризи, відсутності засобів дуже повільно і несвоєчасно здійснюється чи відновлення заміна застарілих основних

виробничих фондів, рівень зносу устаткування яких наближається до критичного. Усе це збільшує імовірність виникнення техногенних небезпек.

Техногенні небезпеки виявляються при аваріях, катастрофах на потенційно небезпечних виробництвах, до яких відносяться радіаційно-, хімічно-, вогне-, пожежно-, гідрологічно небезпечні об'єкти (РОО, ХОО, ВПОО і ГЛОО відповідно).

У зв'язку з постійною погрозою виникнення НС техногенного характеру зростає роль з'єднань, частин і підрозділів ЦО в проведенні заходів щодо захисту населення від наслідків ЧС і проведенні рятувальних і інших невідкладних робіт.

Ускладнення задач, розв'язуваних підрозділами хімічного захисту, зміни в оснащенні їхньою технікою й озброєнням, підвищення їхніх можливостей і ролі в хімічному забезпеченні дій військ ГО, проведенні СІДР викликає необхідність постійного удосконалювання засобів і способів керування підрозділами хімічного захисту.

У сучасних умовах стан і розвиток «керування» справедливо розцінюється як один з найважливіших показників дієздатності і бойової готовності з'єднань, частин і підрозділів ЦО, рівня їх організаційної і технічної досконалості.

Стан енергетики і промисловості і транспорту на нинішньому етапі не гарантує повної радіаційної і хімічної безпеки. Експлуатація об'єктів з ядерними і хімічно небезпечними компонентами супроводжуються аваріями, витоком радіоактивних і високотоксичних речовин, що наносить значний політичний, економічний, екологічний і психологічний збиток.

Потенційно можливі аварії на об'єктах з ядерними і хімічно небезпечними компонентами в мирний час і навмисне їхнє руйнування у воєнний час необхідно розглядати як додаткове серйозне джерело небезпеки поразки людей і зараження техніки, озброєння і навколишнього середовища.

В умовах застосування супротивником ОМП особовий склад, озброєння і техніка, речове майно, спорядження, індивідуальні засоби захисту, спорудження і місцевість можуть бути заражені РВ, ОВ, і БС.

З метою захисту л/с , збереження боєздатності частин (підрозділів) ЦО і створення їм необхідних умов для виконання поставлених задач в обстановці РХБ зараження організується і здійснюється спеціальна обробка військ, а також дегазація, дезактивація, дезінфекція ділянок місцевості, доріг і споруджень.

Ці задачі покладаються на підрозділи хімічного захисту військ ЦО.

У складі сил цивільної оборони основна роль приділяється військам. Вони виконують задачі по захисту населення від наслідків аварій, катастроф, стихійних лих, воєнних дій, а також проводять рятувальні й інші невідкладні роботи.

Правильне використання з'єднань (частин, підрозділів) цивільної оборони у вогнищах поразки, при ліквідації наслідків аварій на радіаційно- і хімічно небезпечних об'єктах можливо тільки при наявності достовірних даних про сформовану там радіаційній і хімічній обстановці. Такі дані командири, штаби з'єднань (частин, підрозділів) можуть одержати від підрозділів радіаційної і хімічної розвідки.

Результати радіаційної і хімічної розвідки є основою для прийняття рішень по захисту особового складу частин (підрозділів) і формувань ЦО, що приймають участь у ліквідації наслідків радіаційно і хімічно небезпечних аварій, проведенні рятувальних і інших невідкладних робіт у вогнищах поразки.

При проектуванні, будівництві і експлуатації АЕС питанням радіаційної безпеки приділяється велика увага, так як продукти ділення урану в випадку неконтрольованого витікання може нанести великий удар здоров'ю персоналу і населенню поблизу АЕС, а також забруднення повітря, води і навколишнього середовища.

Технологічна схема АЕС проектується так, щоб забезпечити повну ізоляцію радіаційних речовин від біосфери, а можливий витік звести до мінімально допустимого рівня.

Навколо АЕС створюється санітарно-захисна зона, і зона спостереження, розміри якої встановлюються окремо для кожної АЕС в залежності від типу, конструкції і потужності реактора. В санітарно-захисній зоні знаходяться тільки приміщення і конструкції підсобного і обслуговуючого призначення: склади, адміністративні і службові приміщення, конструкції технічного водопостачання, каналізації і т.д. В межах санітарно-захисної зони виключається проживання населення і розміщення дитячих і лікувальних закладах.

Територія навколо АЕС і населення, яке обслуговує станцію має бути озеленена. Тверді радіаційні відходи, а також пульти і концентруючі розчини з очисних споруд підлягають зберіганню в спеціальних ємкостях. Передбачається також резервна територія для подальшого розширення складу. Повітря, яке видаляють з технічного обладнання і виробничих приміщень, після ефективної очистки і витримки викидається в атмосферу через вентиляційну трубу значної висоти.

Для забезпечення радіаційної безпеки при експлуатації АЕС передбачений спеціальний комплекс міроприємств. В ці міроприємства входять система захисту від зовнішніх і внутрішніх потоків облучення, попередження поширення радіоактивних речовин.

Робота з радіоактивними речовинами і джерелами іонізуючих випромінювань без відповідної організації контролю несе небезпеку не тільки для тих хто її проводить, але і для навколишніх. Там де проводяться роботи з радіоактивними речовинами і джерелами іонізуючого випромінювання зроблені служби дозиметрії і радіаційної безпеки.

Робота радіографування і реінеографії відноситься до робіт з особливо шкідливими умовами робіт. До роботи радіографування допускаються робітники не менше 18 років. Людина, яка працює безпосередньо з радіоактивними

речовинами, допускається допускається після навчання і проходження атестації по правилам безпеки проведення робіт і особистої гігієни.

Регістрацію результатів перевірки записують в спецжурнал. Перед початком роботи необхідно:

- ознайомитися з особливостями роботи, яка буде робитися і отримати наряд-допуск;
- отримати заряджені індивідуальні дозиметри;
- отримати необхідний допоміжний інвентар;
- визначити зону, де буде походити робота і позначити знаками радіаційної небезпеки.

Під час роботи з гамма-дефектоскопами забороняється виконувати які-небудь операції, які непередбачені інструкціями. Забороняється передача гамма-дефектоскопів стороннім лицам для доставки їх до місця роботи і навпаки, залишати дефектоскоп без нагляду. Передавати гамма-джерела іншим лицам можна тільки з дозволу начальника і під розписку з послідуочим оформленням в спецжурналі.

Категорично забороняється залишати гамма-дефектоскопи для тимчасового зберігання в робочих приміщеннях, кладовках, щоб запобігти краді.

В даний час збільшується кількість атомних електростанцій (АЕС) у світі. Цей факт висуває додаткові вимоги до їхньої безпеки - зменшення імовірності витоків радіоактивних речовин (РВ), аварій. За історію ядерної енергетики у світі відбулося більше сотні великих аварій на атомних електростанціях. Одна з найбільш сильних - аварія на Чорнобильській АЕС. Наслідком аварій є значний збиток здоров'ю людей, економіці, політиці держави. У вітчизняних атомних електростанціях на 1992 рік використовувалося два види реакторів: з водою як теплоносієм і сповільнювачем (ВВЭР-600, ВВЭР-1000), і з графітовим сповільнювачем і водою як теплоносієм (РБМК-1000, РБМК-1500).

Розглядається реактор ВВЕР-1000, із графітовим сповільнювачем і теплоносієм - водою, що циркулює по вертикальних каналах. Реактор містить до 192 тон ядерного палива - слабо збагаченого ураном-235 двоокису урану.

У випадку аварії на АЕС для зменшення збитку від радіоактивних продуктів, необхідно виявити й оцінити радіоактивну обстановку в зоні їхнього поширення. Після аварії на прилягаючій території діють формування, що ліквідують її наслідки. Оцінка виробляється з метою визначення впливу радіоактивних речовин на людей, що знаходяться в зоні забруднення, а також для обґрунтування їхніх дій. Виявлення радіаційної обстановки може здійснюватися двома методами: розрахунковим (методом прогнозування) і заданими розвідки (за результатами фактичних вимірів). Використання розрахункового методу доцільно для прогнозу наслідків передбачуваної аварії.

Найбільший інтерес представляє прогноз по другому радіаційному факторі - радіоактивному зараженню місцевості (як найбільш значимому і протяжному).

При аваріях на АЕС прийнято виділяти 5 зон радіоактивного зараження: Зона радіаційної небезпеки (зона М), у границях якої доцільно обмежити перебування людей, що безпосередньо не беруть участь у ліквідації наслідків аварії. На зовнішній границі зони М через 1 годину після аварії рівень радіації складає 0.014 рад/годину. Доза випромінювання в зоні М може складати до 50 рад у рік. Зона помірного радіоактивного забруднення (зона А), у якій варто працювати в захисній техніці. Рівень радіації на зовнішній границі зони А на 1 годину після аварії складає 0.14 рад/годину, а доза випромінювання може складати від 50 до 500 рад у рік. Зона сильного радіоактивного забруднення (зона Б), вимагає використання захисної техніки і захисних споруджень. Рівень радіації на зовнішній границі зони Б на 1 годину після аварії складає 1.4 рад/годину, доза випромінювання складає 500 - 1500 рад у рік. Зона небезпечного радіоактивного забруднення (зона В). Формування, що знаходяться в цій зоні, повинні використовувати сильно захищені об'єкти техніки, обмежуючи перебування декількома годинами. Рівень радіації на

зовнішній границі зони В на 1 годину після аварії складає 4.2 рад/година, доза випромінювання складає 1500 - 5000 рад у рік.

Зона надзвичайно небезпечного радіоактивного забруднення (зона Г). Рівень радіації на зовнішній границі зони Г через 1 годину після аварії складає 14 рад/година, доза випромінювання складає більш 5000 рад у рік. Присутність людей у межах зони Г заборонено.

При перебуванні формування усередині всіх розглянутих зон (у який допустимо хоча б короточасна присутність людей) обов'язкова наявність засобів захисту органів дихання.

6.4 Розрахунок зон радіоактивного забруднення при аварії на АЕС

Вихідні дані для розрахунку приведені в таблиці 6.1. Визначаємо категорію стійкості атмосфери, що відповідає погодним умовам і заданому часу доби. За умовою: хмарність відсутня (0 Б.), швидкість приземного вітру $V = 2$ м/с. Цим вихідним даним відповідає категорія стійкості "А" (конвекція).

Визначаємо середню швидкість вітру (V_{cp}) у приземній зоні. Для категорії стійкості "А" і швидкості приземного вітру $V = 2$ м/с середня швидкість вітру дорівнює $V_{cp} = 2$ м/с.

Для ядерного реактора типу РБМК-1000 і частки викидів радіоактивних речовин визначаємо розміри прогнозованих зон зараження місцевості і наносимо їх у масштабі у виді правильних еліпсів.

$$M - L = 249 \text{ км}$$

$$A - L = 62.6 \text{ км}$$

$$B - L = 13.9 \text{ км}$$

$$B - L = 6.96 \text{ км}$$

Виходячи з заданої відстані від об'єкта народного господарства ($X = 18.3$ км) до аварійного реактора з урахуванням утворених зон забруднення встановлюємо, що об'єкт виявився в зоні "А".

Таблиця 6.1 - Вихідні дані

	Позначення	Одиниці	Значення
Реактор типу			ВВЕР-1000
Час аварії	Тавар	г	11,00
Час початку робіт після аварії	Тпоч	г	14,00
Тривалість робіт	Троб	г	9,00
Кількість реакторів			1
Частка викиду	Н	%	50
Коефіцієнт ослаблення радіації	Косл		3
Швидкість вітру на висоті 10 м	V	м/с	2
Відстань до реактора	X	км	18,3
Припустима доза опромінення	Дуст	Рад	0,6
Хмарність		Бали	0

Визначаємо час початку формування сліду радіоактивного забруднення (Тф) після аварії (час початку випадання радіоактивних осадів на території об'єкта). Для $X = 18,3$ км, категорії стійкості "А" і середньої швидкості вітру $V_{ср} = 2$ м/с час початку формування сліду радіоактивного забруднення $T_f = 2$ години.

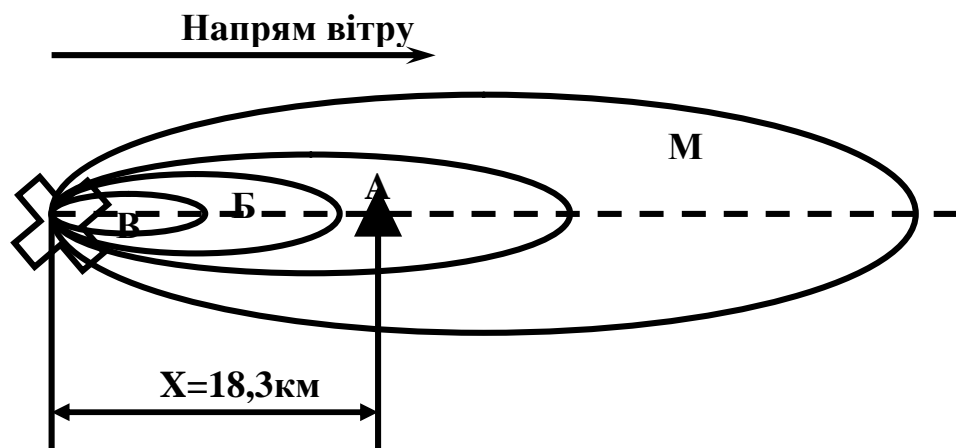


Рисунок 6.1 - Зони забруднення місцевості

Отже, об'єкт через 2 години виявиться в зоні радіоактивного забруднення, що вимагає вживання додаткових заходів захисту робітників та службовців.

Для зони забруднення "А" з урахуванням часу початку роботи ($T_{\text{поч}} = 3$ г) і тривалості роботи ($T_{\text{роб}} = 9$ г) визначаємо дозу опромінення, що одержать робочі та службовці об'єкта при відкритому знаходженні усередині зони "А"
 $D_{\text{зони}} = 2,35$ рад.

З урахуванням перебування об'єкта на внутрішній границі зони "А" ($K_{\text{осл}} = 3,2$) дозу опромінення визначаємо по формулі (6.1):

$$D_{\text{опр}} = D_{\text{зони}} * K_{\text{зони}} / K_{\text{осл}}$$

$$\text{де, } D_{\text{зони}} = 2,35 \text{ рад,}$$

$$K_{\text{осл}} = 3 \text{ (за умовою),}$$

$$K_{\text{зони}} = 3,2 \text{ (табличне значення).}$$

$$D_{\text{опр}} = 2,35 * 3,2 / 3 = 2,5 \text{ рад.}$$

Розрахунки показують, що після 9 годин роботи в зоні "А", початої через 3 години після вибуху на АЕС, робочі та службовці об'єкту можуть одержати дозу опромінення 2,5 рад, що перевищує гранично встановлену дозу $D_{\text{вст}} = 0,6$ рад.

Використовуючи таблицю, знаходимо час роботи початої через 3 години після аварії на АЕС, при якій робітники одержать установлену дозу радіації.

$$T_{\text{нач}} = 3 \text{ ч; } T_{\text{роб}} = 1,8 \text{ ч}$$

Визначаємо припустимий час початку роботи робітників та службовців на об'єкті після аварії на АЕС за умови одержання $D_{\text{опр}}$ не більш 0,6 рад.

По формулі (6.3) визначаємо $D_{\text{зони}}$, що відповідає $D_{\text{обл}} = 5$ рад.

$$0,6 = D_{\text{зони}} * K_{\text{зони}} / K_{\text{осл}} = D_{\text{зони}} * 3,2 / 3$$

$$D_{\text{зони}} = 0,6 * 3 / 3,2 = 0,56 \text{ рад.}$$

Згідно табличних даних $D_{\text{зони}} = 0,56$ рад при $T_{\text{роб}} = 9$ год. відповідає час початку роботи $T_{\text{поч}} = 10$ діб. Отже, робочі та службовці об'єкту, щоб одержати дозу не вище встановленої, можуть починати роботу в зоні "А" і виконати її протягом 9 годин не раніше, ніж через 10 діб після аварії на АЕС.

6.5 Методи захисту при аварії на АЕС

Установити неперервний радіаційний контроль за спадом рівня радіації на об'єкті. При проходженні радіоактивної хмари над об'єктом, укриття робітників та службовців в об'єктах.

– До спаду радіації нижче 5 мр/годину робітники та службовці повинні знаходитися в забрудненій зоні тільки в респіраторах.

– При необхідності початку робіт відразу після аварії (через 3 години) необхідно організувати змінний (час роботи не більш 1,8 години) режим робіт при якій робітники не одержать дозу опромінення більшу установлену. Після виконання робіт робітників необхідно виводити з зараженої зони. Потім унаслідок спаду рівня радіації час роботи буде збільшуватися.

– Для запобігання попадання радіоактивних речовин усередину будинку провести герметизацію або встановити у приміщенні фільтровентиляційні агрегати.

– Щоб уникнути переопромінення робітники та службовці протягом 18 годин повинні бути укриті в притулках.

– Для зниження ступеня забруднення РВ територій, будинків і споруджень об'єкта провести дезактиваційні роботи.

ВИСНОВКИ

Розробкою кваліфікаційної роботи є вдосконалення системи управління виробництвом технологічної пари.

На основі аналізу функціонування об'єкту управління – системи виробництва пари, визначені основні параметри, що підлягають контролю і регулюванню

Обґрунтовано вибір необхідних засобів автоматики, що дало можливість синтезувати систему регулювання та здійснити вибір параметрів налагодження.

Дослідження процесу регулювання, за допомогою методів ТАУ та програмних продуктів дало можливість оптимізувати роботу системи в різних режимах функціонування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Семенцов Г. Н. Автоматизация производственных процессов в энергетике. Навч. посібник./ Семенцов Г. Н., Когут Я. Р. Шавранський М. В., Дранчук М. М.— Івано-Франківськ: Факел, 4004,372 с.
2. Каталог КИПиА. – М.: Микротерм, 2001.
3. Орлов В.Р. Основы управления энергетическим производством./ Орлов В.Р. и др. – М.: Высшая школа, 1997. – 335 с.
4. Самсонов В.С. Автоматизированные системы управления./ Самсонов В.С.– М.: Высшая школа, 1991.
5. Беркович М.А. Применение ЭВМ для автоматизации технологических процессов в энергетике./ Беркович М.А. – М.: Энергия,1993.
6. Бесекерский В.А. Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления. – М.: Наука, 1972. – 588 с.
7. Бесекерский В.А. Руководство по проектированию систем автоматического управления./ Бесекерский В.А. – Москва.: Высшая школа, 1963. – 295с.
8. Кузин Л.Т. Расчет и проектирование дискретных систем управления./ Кузин Л.Т. - М.: ГИИТ, 1962.- 648 с.
9. Дьяконов В., Круглов В. МАТЛАВ. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник./ Дьяконов В., Круглов В. - СПб.: Питер, 2002-448 с.
10. Теория надежности радиоэлектронных систем в примерах и задачах : Учеб. пособие для ст. радиотех. спец. вузов. Под ред. Г.В. Дружинина. –М.: Энергия, 1975.
11. Ястребецкий М.А., Иванова Г.М. Надежность автоматизированных систем управления технологическими процессами: Учеб. Пособие для вузов./ Ястребецкий М.А., Иванова Г.М. – М.:Энергоатомиздат, 1989.

12. Козлов Б.А., Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. –М.: Сов. Радио, 1985.
13. Заміховський Л.М. Основи теорії надійності і технічної діагностики систем: Навчальний посібник./ Заміховський Л.М., Калявін В.П. – Івано-Франківськ: Вид-во “Полум’я”, 2004.– 360 с.
14. Теория надежности радиоэлектронных систем в примерах и задачах. Учеб. пособие для студентов радиотехнических специальностей вузов. Под ред. Г.В.Дружинина. - М.: Энергия, 1976. - 448 с.
15. Юдин Е.А. Охрана труда в машиностроении./ Юдин Е.А.–М.: Недра, 1983.
16. Павлов С.П. Охрана труда приборостроении./ Павлов С.П., Губонина З.И. –М.: Высшая школа, 1986.
17. Князевский Б.А.. Охрана труда в электроустановках./ Князевский Б.А. и др. –М.: Энергия, 1983
18. Денисенко Г.Ф. Охрана труда./ Денисенко Г.Ф. –М.: Высшая школа, 1985.
19. Пензовський А.С. Моделювання роботи автоматизованої системи управління виробництвом технологічної пари. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 25–26 листоп. 2020.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. // Пензовський А.С., Трембач Р.Б. – Тернопіль : ТНТУ, 2020. – С58-59.