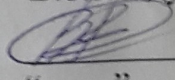


НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”
Теплоенергетичний факультет
Кафедра автоматизації теплоенергетичних процесів

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
В.о. завідувача кафедри

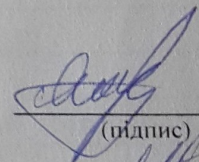
 / В.А.Волоцук/
“ _____ ” _____ 2018 р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра

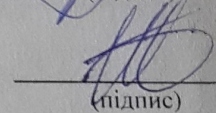
зі спеціальності (спеціалізації) *151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”*
 (“Комп’ютерно-інтегровані технологічні процеси та виробництва”)

на тему: Автоматизація системи охолодження турбогенератора ТВФ-125-2У3

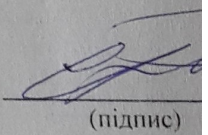
Виконав: студент VI курсу, групи ТО-71мп
Яйченя Віталій Валентинович
(прізвище ім’я, по батькові)


(підпис)

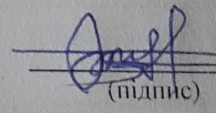
Науковий керівник доц. ст. викладач О.Й.Штіфзон
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)


(підпис)

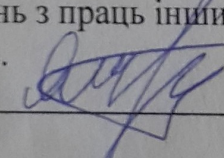
Консультант з охорони праці
(назва розділу) к.т.н., доцент С.Ф.Каштанов
(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)


(підпис)

Рецензент доц., к.т.н., Сірий О.А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)


(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент 

Київ – 2018 року

РЕФЕРАТ

Втрати, що виникають в турбогенераторі в процесі перетворення в ньому механічної енергії, підведеної від турбіни, в електричну, перетворюються в тепловий потік, що нагріває активну частину машини. Для запобігання такого явища використовують способи штучного охолодження обмоток і сталевих деталей статора й ротора. Розвиток ТГ тісно пов'язаний з системами охолодження (СО). Основною проблемою при їх проектуванні було зменшення перегріву в статорі, обмотка якого охолоджувалась непрямим способом (через ізоляцію стержнів). Використання такої конструкції для отримання потужностей більше 200 МВт приводило до тяжких, неекономічних машин з втратами 0,3-0,5 % ККД в порівнянні з машинами, що охолоджуються воднем. В результаті еволюції електрогенеруючих установок встановились наступні методи охолодження, які залежать від охолоджуючого середовища: газове (повітряне або водневе), рідинне (водяне або масляне) та змішане.

ABSTRACT

A losses, just go into the turbo-generators in the process of transforming into new mechanical energy, given in the turbine, in electric, turning into a heat source, the engine is active part of the machine. In order to preserve such a condition, usually uses method of piece cooling the windings and steel parts of the stator and rotor. The development of the turbo-generator is continuous with the cooling systems. The main problem with their projects was that it was forced to overheat in the stator, the winding was cooled indirectly (through insulation of rods). Victory taco constructions for otnimannya more than 200 MW of power required up to grave, inconsequential machines with losses 0.3-0.5% of efficiency in comparing with machines, cooled with cold water. In the results of evolved electric-powered installations, advanced cooling methods were adopted, and they were built around the middle of the cold: gas (air or hydrogen), liquid (watery or oily) and mix.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП.....	9
1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТОУ	10
1.1 Характеристика ТОУ	10
1.1.1 Загальні характеристики генератору типу ТВФ-125-2У3	10
1.1.2 Характеристики навколишнього середовища.....	11
1.1.3 Режимні характеристики.....	12
1.1.4 Конструкція генератора типу ТВФ-125-2У3	13
2 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБ'ЄКТА ЯК ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ	16
2.1 Огляд і аналіз методів регулювання процесу охолодження турбогенератора.....	16
2.1.1 Регулювання температури водню в газоохолоджувачі.....	17
2.1.2 Регулювання температури холодоагента в зворотному трубопроводі після газоохолоджувачів.....	18
2.1.3 Регулювання витрати подавального ХА	19
2.1.4 Проблеми, що виникають при протіканні технологічного процесу... ..	19
2.2 Прийняті рішення.....	20
2.2.1 Технічне рішення для регулювання процесу охолодження генератора	20
2.2.2 Регулювання витрати подавального ХА	21
2.2.3 Вирішення проблеми виникнення конденсату	21
3 ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ОХОЛОДЖЕННЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРА ТВФ-125-2У3.....	22

3.1	Опис функціональної структури та вимог до реалізації функцій АСУТП	22
3.2	Структура ПТКЗА	24
3.3	Технологічний контроль.....	25
3.4	Виконавча апаратура	26
3.5	Рішення контролерної автоматизації	27
3.6	Реалізація сигналізації, блокування і захисту	30
3.7	Монтаж і обслуговування засобів автоматизації.....	31
4	РОЗРАХУНОК АТК.....	33
4.1	Побудова моделі ТОУ.....	33
4.2	Розрахунок динаміки АСР	34
4.2.1	Методика СРН для аперіодичного процесу.....	35
4.2.2	Метод РАФХ	39
4.2.3	Розрахунок системи зв'язаного регулювання двомірним об'єктом.....	48
4.3	Висновки до розрахункової частини.....	65
5	ОХОРОНА ПРАЦІ	70
5.1	Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації засобів контролю й автоматизації та технологічного обладнання.....	71
5.2	Електробезпека.....	73
5.3	Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії	74
5.3.1	Мікроклімат робочі зони.....	75
5.3.2	Виробничі випромінювання	75
5.3.3	Виробничий шум	76
5.3.4	Повітрообмін і вентиляція	76

	7
5.4 Пожежна безпека та профілактика.....	77
6 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ.....	79
Вступ	79
6.1 Опис ідеї проекту	79
6.1.1 Кошторис витрат на модернізацію системи.....	80
6.2 Ключові види діяльності проекту.....	81
6.2.1 Характер інновації та спрямованість проекту	81
6.2.2 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	81
6.3 Розроблення ринкової стратегії проекту	86
6.3.1 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	87
Висновки до розділу	88
ВИСНОВКИ.....	89
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	90

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ОК – об'єкт керування;

АСК ТП – автоматична система керування технологічним процесом;

РАФХ – розширена амплітудно-фазова характеристика.

ПІ-регулятор – пропорційно-інтегральний регулятор;

РО – регулюючий орган;

ВМ – виконавчий механізм;

ПТКЗА – програмно-технічний комплекс засобів автоматизації;

ПЛК – програмно-логічний контролер;

ХА – холодоагент.

ВСТУП

Втрати, що виникають в турбогенераторі в процесі перетворення в ньому механічної енергії, підведеної від турбіни, в електричну, перетворюються в тепловий потік, що нагріває активну частину машини. Для запобігання такого явища використовують способи штучного охолодження обмоток і сталених деталей статора й ротора. Розвиток ТГ тісно пов'язаний з системами охолодження (СО). Основною проблемою при їх проектуванні було зменшення перегріву в статорі, обмотка якого охолоджувалась непрямим способом (через ізоляцію стержнів). Використання такої конструкції для отримання потужностей більше 200 МВт приводило до тяжких, неекономічних машин з втратами 0,3-0,5 % ККД в порівнянні з машинами, що охолоджуються воднем. В результаті еволюції електрогенеруючих установок встановились наступні методи охолодження, які залежать від охолоджуючого середовища: газове (повітряне або водневе), рідинне (водяне або масляне) та змішане.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТОУ

1.1 Характеристика ТОУ

Технологічним об'єктом управління є система охолодження електричного генератора змінного струму. Основним завданням роботи системи охолодження являється підтримання необхідних параметрів експлуатації генератора. В свою чергу, турбогенератори є одними з основних елементів електростанцій, на яких вони використовуються.

Тому, для правильного функціонування електрогенеруючих підприємств, а значить і для енергосистеми в цілому, виникає необхідність якісного та безперебійного виконання обраного технологічного процесу.

Для магістерської дисертації було обрано генератор ТВФ-125-2У3, як такий, що використовується на теперішніх електростанціях та відповідає сучасним технічним вимогам.

1.1.1 Загальні характеристики генератору типу ТВФ-125-2У3

Технічні характеристики генератора типу ТВФ-125-2У3 наведено в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 Основні технічні характеристики генератора типу ТВФ-125-2У3

Параметр	значення	
	Номінальний режим	Допустимий довготривалий режим
1 Електричні параметри		
1.1 Потужність активна, МВт		
1.2 Потужність повна, МВт		
1.3 Коефіцієнт потужності		
1.4 Напруга, В		
1.5 Струм статора, А		
1.6 ККД, %		Не нормується

1.7 Частота, Гц		
1.8 Швидкість обертання ротора, об/хв		
2 Охолоджуючі середовища		
2.1 Водень		
2.1.1 Тиск, кгс/см ² (надл.): - номінальний - максимальний		
Чистота водню, %		
Температура водню, С: - не більше - не менше		
2.2 Охолоджуюча вода газоохолоджувачів		
2.2.1 Витрата, м ³ /год		
2.2.2 Тиск надлишковий, кгс/см ²		
2.2.3 Температура на вході, С - номінальна - мінімально-допустима		
3 Показники надійності та довговічності		
3.1 Повний призначений термін служби, років		
3.2 Період між капітальними ремонтами, років - перший ремонт з вийманням ротора		
3.3 Коефіцієнт готовності, не менше		
3.4 Напрацювання на відмову, годин		

1.1.2 Характеристики навколишнього середовища

Турбогенератор типу ТВФ-125-2У3 виконується для кліматичного виконання «У», категорії розташування «3» по ГОСТ 15150.

Основні характеристики навколишнього середовища наведено в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 Основні характеристики навколишнього середовища

Параметр	Значення
1 Діапазон допустимих температур навколишнього середовища, С	+5...+40
2 Висота над рівнем моря, м (не більше)	
3 Концентрація інертного пилу, мг/м ³ (не більше)	

Навколишнє середовище приміщення, в якому встановлюється турбогенератор повинно відповідати наступним умовам:

- середовище вибухобезпечне;
- відсутність агресивних парів та газів в концентраціях, які не викликають руйнування металів та ізоляції;
- атмосфера не насичена водяною парою і струмопровідним пилом.

1.1.3 Режимні характеристики

Турбогенератор допускає скиди навантаження з будь-якого початкового навантаження до нуля з наступним його відновленням або продовженням роботи на холостому ході. Розрахункова кількість таких скидів навантаження величиною 30% від номінального – 390 за весь термін служби.

Турбогенератор по термічній стійкості ротора при короткочасній роботі в несиметричному режимі ($I_2^2 * t$) не менше 15 с.

Робота турбогенератора при повітряному охолодженні не допускається.

При повітряному охолодженні допускається виконання тільки балансування.

Турбогенератора допускає роботу із зниженням потужності (при коефіцієнті потужності не нижче номінального) при підвищенні температури охолоджуючого водню до +55 С, при цьому допустима потужність турбогенератора наведена в «Керівництві по експлуатації».

В аварійних умовах турбогенератор без пошкоджень і залишкових деформацій допускає перевантаження по струму статора кратністю 2 номінального на протязі не менше 20 с. Вказані перевантаження в нормальних умовах роботи енергосистеми не допускаються.

Розрахункові значення ККД турбогенератора при різних навантаженнях наведено в таблиці 1.3

Таблиця 1.3 Розрахункові значення ККД турбогенератора

Навантаження, в.о (МВт)				
φ				
ККД, %				

1.1.4 Конструкція генератора типу ТВФ-125-2У3

1.1.4.1 Загальна характеристика генератора

Турбогенератор типу ТВФ-125-2У3 виконаний з безпосереднім водневим охолодженням обмотки ротора, непрямим охолодженням воднем обмотки статора і безпосереднім охолодженням заліза статора.

Охолоджуючий водень циркулює в корпусі генератора під дією вентиляторів, встановлених на валу ротора, і охолоджується в газоохолоджувачах, вбудованих в корпус генератора.

Подача охолоджуючої води до газоохолоджувачів і теплообмінників системи охолодження статора здійснюється насосами, розташованими ха межами генератора.

Габаритний ескіз загального вигляду турбогенератора типу ТВФ-125-2У3 наведено на рисунку 1.1

1.1.4.2 Корпус статора

Газонепроникний корпус статора виконаний нероз'ємним і має всередині поперечні кільця жорсткості. Механічна міцність корпусу достатня, щоб він міг витримати без залишкової деформації внутрішній тиск у разі вибуху водню.

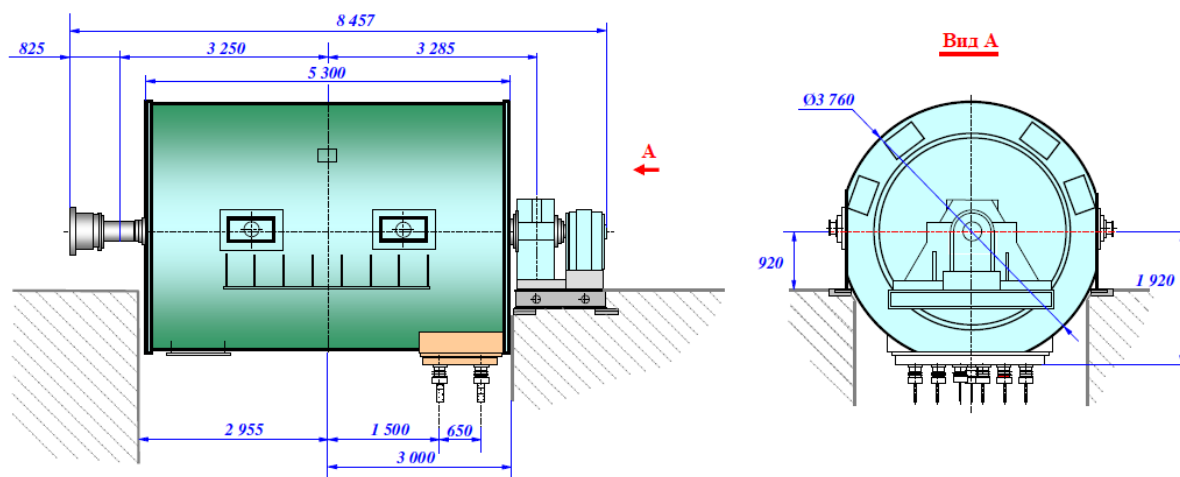


Рисунок 1.1 Габаритний ескіз турбогенератора типу ТВФ-125-2У3

Для доступу всередину корпусу без демонтажу зовнішніх щитів, в нижній частині корпусу передбачено люк.

Корпус статора опирається на фундамент за допомогою лап.

Основою турбогенератора є фундаментні плити, які встановлюються на монтажні закладні плити і постійні підклади і заливаються бетоном.

Кріплення турбогенератора до фундаменту забезпечується за допомогою фундаментних шпильок. Для підшипника турбогенератора фундаментна плита виконана коробчастого типу, а для статора фундаментні плити – плоскі. Закладні плити встановлюються при спорудженні фундаменту і приварюються до його арматури.

1.1.4.3 Сердечник статора

Сердечник статора зібраний на клинах з сегментів електротехнічної сталі товщиною 0,5 мм, покритих ізолюючим лаком і вздовж осі розділених вентиляційними каналами на пакети.

Спресований сердечник статора утримується натискними кільцями з немагнітної сталі.

1.1.4.4 Опорні підшипники

Опорний підшипник турбогенератора зі сторони турбіни постачається виготовником турбоустановки.

Опорний підшипник турбогенератора зі сторони контактних кілець – стоякового типу, має кульовий самовстановлювальний вкладиш. Змащування підшипника – примусове від системи змащування турбоагрегата.

1.1.4.5 Ущільнення вала

Для запобігання виходу водню з корпусу статора на зовнішніх щитах генератора встановлені двокамерні масляні ущільнення вала торцевого типу.

Ущільнююче масло під тиском, що перевищує тиск газу в корпусі у кільцеву канавку, проточену в бабітовій заливці вкладиша.

Камери ущільнюючого масла, утворені між корпусом і вкладишем, ущільнені гумовими шнурами, вкладеними в кільцеві канавки.

1.1.4.6 Вентиляція

Вентиляція генератора здійснена по замкнутому циклу. Газ охолоджується в газоохолоджувачах, вбудованих в корпус статора. Необхідний напір газу створюється двома вентиляторами, встановленими на валу ротора.

1.1.4.7 Газоохолоджувачі

Конструкцією турбогенератора передбачено застосування газоохолоджувачів генератора з підвищеною тепловідвідною здатністю, які забезпечують ефективне охолодження водню і, відповідно, нагрівання конструктивних елементів ротора і статора, що дозволяє підвищити потужність генератора.

Відведення тепла, що виділяється при роботі генератора, здійснюється в газоохолоджувачах, встановлених в корпусі статора.

Газоохолоджувачі виконані з трубок, що мають ребра. Трубки газоохолоджувачів завальцовані з обох сторін в трубні дошки.

Принципова схема вентиляції генератора наведена на рисунку 1.2

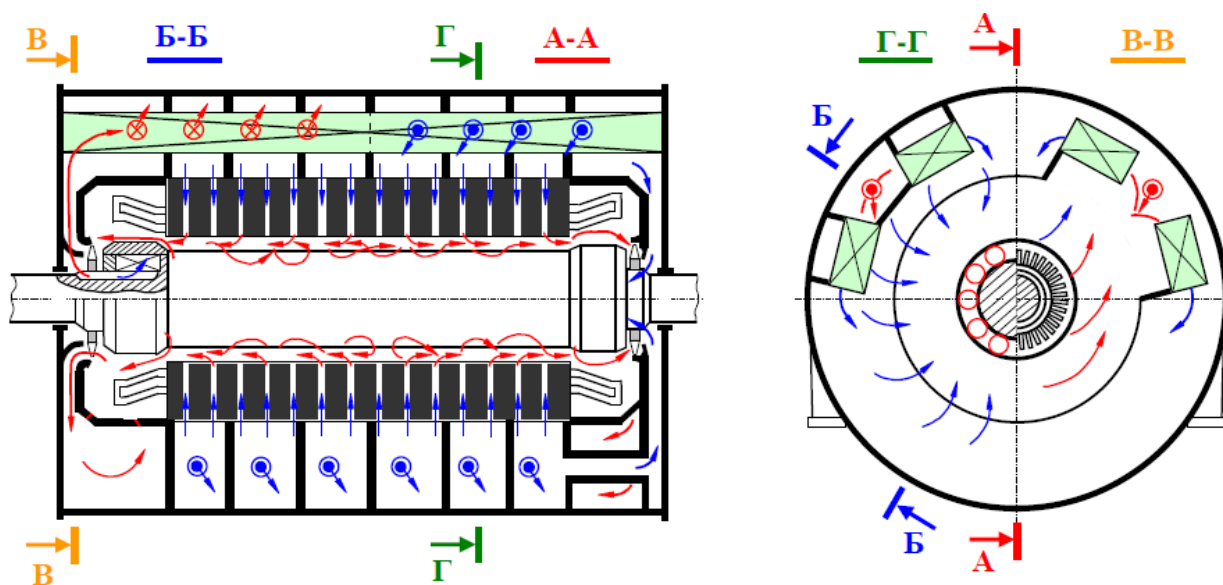







Рисунок 1.2 Принципова схема вентиляції генератора

- | | | | |
|---|----------------------|---|--|
|  | - «холодний» водень; |  | - напрямок потоку «холодного» водню «на нас» |
|  | - «гарячий» водень; |  | - напрямок потоку «гарячого» водню «від нас» |
| | |  | - напрямок потоку «гарячого» водню «на нас» |

2 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБ'ЄКТА ЯК ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ

Технологічним об'єктом управління даної дисертації являється автоматизація системи охолодження турбогенератора. Основним завданням такої системи є підтримання температурних параметрів устаткування генератора в заданих межах. В даному випадку, при визначенні меж мають на увазі такі значення, що дозволяють працювати генератору без перегріву, що дає змогу привести термін його експлуатації до максимального значення.

2.1 Огляд і аналіз методів регулювання процесу охолодження турбогенератора

Кількість тепла, виробленого при експлуатації генератора прямо пропорційне кількості виробленої електричної енергії. Недостатнє відведення тепла від його обмоток приводить до руйнування металу та зменшення ресурсу установки. Таким

чином, регулювання подачі холодоагенту повинно забезпечувати підтримку сталої температури водню, що циркулює по каналах всередині генератора.

Оптимальне значення температури водню для різних навантажень визначається при дослідженнях парогенератора.

Зменшення температури водню нижче оптимального приводить до зменшення ККД турбогенератора. Також, при зниженні параметра до деякого критичного значення, в контурі охолодження, в якому циркулює водень, відбувається виникнення конденсату, що негативно впливає на метал всередині генератора. Натомість, перевищення температури водню від заданого оптимального значення приводить до перегріву обмоток генератора, що в свою чергу є причиною швидкого зносу елементів установки.

Таким чином, регулювання процесу охолодження генератора зводиться до регулювання температури водню шляхом зміни витрати холодоагента, що подається на вхід спеціальних газоохолоджувачів.

Нижче розглянуто два способи регулювання процесу охолодження турбогенератора.

2.1.1 Регулювання температури водню в газоохолоджувачі

Даний метод визначає як регульований технологічний параметр – температуру водню в системі охолодження. Первинні вимірювачі здійснюють визначення величини температури газу та передають сигнал на регулятор. Останній, на основі отриманої інформації визначає величину розбалансу та формує сигнал керування, який встановлює витрату води в трубопроводі, що подається для охолодження водню в газоохолоджувачі. Таким чином відбувається регулювання процесом охолодження для нормального функціонування установки.

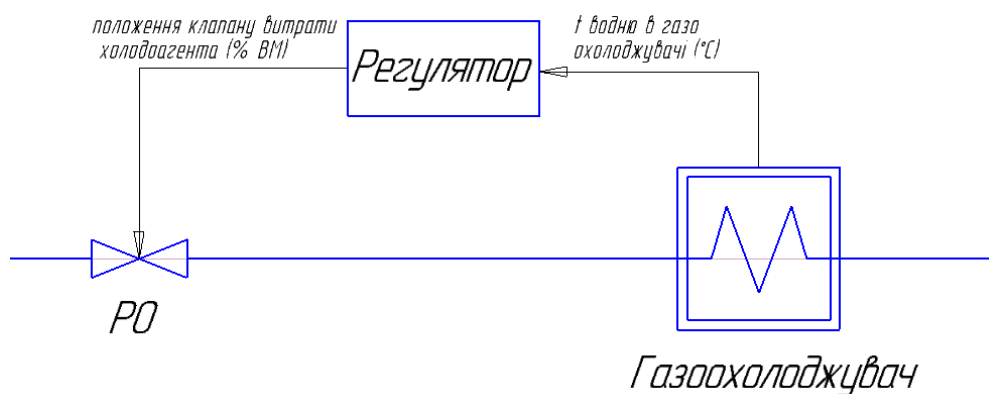


Рисунок 2.1 Схема регулювання температури водню в газоохолоджувачах

2.1.2 Регулювання температури холодоагента в зворотному трубопроводі після газоохолоджувачів.

Вказаний метод передбачає прийняття температури зворотного холодоагенту як величину, що характеризує теплообмін між воднем і корпусом генератора. Іншими словами, температура води на виході з газоохолоджувачів вважається прямо пропорційною температурі водню, а отже – і температурі обмоток генератора. Так як при експлуатації генератора температура зворотного ХА збільшується, постає завдання її регулювання зміною витрати подавального ХА. Принцип регулювання аналогічний з попереднім пунктом. Давачі вимірюють температуру регульованого параметра і передають її на контролер, який формує керуючий сигнал і змінює витрату води для подачі в газоохолоджувачі.

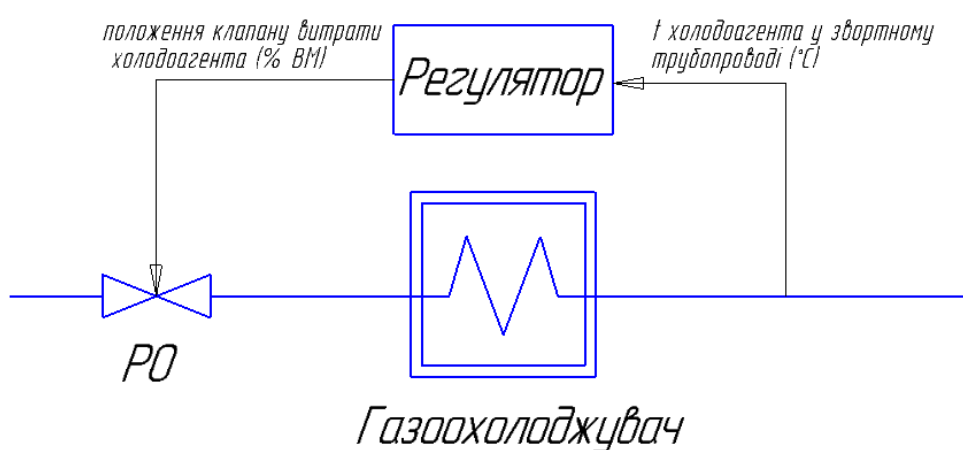


Рисунок 2.2 Схема регулювання температури ХА у зворотному трубопроводі

2.1.3 Регулювання витрати подавального ХА

Так як в розглянутих рішеннях основним керуючим впливом являється витрата ХА в подавальному трубопроводі в систему охолодження, тоді для системи автоматизації встановлюється вимога – можливість автоматичного регулювання даної величини. На теплостанціях подача води в трубопроводі здійснюється за допомогою електричних насосів. Для здійснення автоматичного регулювання витрати води, що перекачується в подавальному трубопроводі, існує два основні методи.

Перший передбачає зміну витрати за рахунок встановлення на трубопроводі запірної арматури зі змінним положенням. Тобто при сталому навантаженні насосів змінюється площа поперечного перерізу трубопроводу, за допомогою чого власне й відбувається зміна витрати рідини, що рухається по ньому.

Другий спосіб виключає внесення змін в конструкцію трубопроводу, однак потребує додаткового електроустаткування – частотний перетворювач. Даний пристрій дає можливість змінювати параметри струму, який живить насоси, що в результаті приводить до зміни їх навантаження.

2.1.4 Проблеми, що виникають при протіканні технологічного процесу

Однією з основних проблем, що присутня в даному технологічному процесі – можливість виникнення конденсату в системі охолодження внаслідок різкого охолодження водню, який має високу вологість. Дана проблема зазвичай виникає при розташуванні підприємств в помірних кліматичних поясах. Вода для відведення теплоти з СО зазвичай відбирається з природних водойм. В холодну пору року її температура знижується до 1°C (274К). Під час роботи ТГ, водень, що знаходиться в замкнутій системі, піддається великому перепаду температури. Так як газ знаходиться під тиском, що не набагато перевищує атмосферний, різке його охолодження призводить до досягнення точки роси й утворення конденсату. Волога негативно впливає на деталі ТГ, є причиною корозії і зменшення терміну експлуатації установки.

Одним зі способів вирішення проблеми є проведення «осушки» водню в системі охолодження. Так як утворення конденсату має місце тільки для газу, відносна вологість якого перевищує деяке значення, рішенням є застосування додаткового контуру регулювання вологості в необхідному діапазоні.

Іншим методом є підігрів ХА перед подачею в газоохолоджувачі. Конденсат утворюється під час теплообміну між холодною водою і «гарячим» воднем, коли різниця їх температур перевищується деяке значення. Рішенням є приведення температури подавального ХА до необхідного значення, яке буде забезпечувати протіканню охолодження водню без небажаних наслідків.

Так як виникнення конденсату відбувається лише при сукупності двох факторів одночасно (висока вологість водню та досить низька температура води, що подається на охолодження газу), тому для вирішення описаної проблеми можливе застосування лише одного з вказаних способів.

2.2 Прийняті рішення

2.2.1 Технічне рішення для регулювання процесу охолодження генератора

Для даного рішення було порівняно способи регулювання, наведені в пунктах 2.1.1 та 2.1.2. Обидва методи мають право на існування, так як є технічно обґрунтованими. Однак, в дисертації було надано перевагу способу з пункту 2.1.2. Основним недоліком іншого методу є непростий спосіб вимірювання технологічного параметра (температури водню в системі охолодження). Так як газ циркулює по системі трубопроводів, що розташовані по всьому корпусу генератора, вимірювання його температури в конкретній точці не буде відповідати актуальному значенню температури у всій системі охолодження. Для цього необхідне застосування нестандартних математичних інструментів вимірювання (градієнт температур, як приклад), що приводить до невиправданого ускладнення системи автоматизації, порівняно зі способом з пункту 2.1.2. Також, спосіб вимірювання температури водню вимагає обслуговування, що є більш затратним, ніж вимірювання лише температури води, яка рухається в трубопроводі.

2.2.2 Регулювання витрати подавального ХА

В пункті 2.1.3 описані два способи регулювання витрати води, що подається в газоохолоджувач. В даному випадку перевага надається методу з використанням частотних перетворювачів, так як він вважається більш сучасним та приводить до економічного використання охолоджуючої води. Вважаючи, що ця вода проходить стадії підготовки перед використанням в системі охолодження, дане рішення являється виправданим.

2.2.3 Вирішення проблеми виникнення конденсату

Незважаючи на наявність декількох рішень проблеми, що описана в пункті 2.1.4, однак тільки одне з них має суттєві переваги, порівняно з іншими.

А саме – підігрів ХА перед подачею в газоохолоджувачі. Іншим рішенням є видалення вологи з газу, що знаходиться в замкнутому контурі системи охолодження турбогенератора. Так як установка з усіма периферійними системами (одна з яких є система охолодження) являється єдиною конструкцією, втручання у структуру генератора приводить до можливості некерованих впливів на взаємопов'язані периферійні системи. Обраний метод навпаки, передбачає тільки зміни структури трубопроводів, які знаходяться поза межами корпусу генератора. Також перевагою вказаного способу є можливість використання теплоти від зворотного ХА для підігріву води в подавальному трубопроводі, що дає змогу зекономити на зовнішніх джерелах теплоти для даного рішення.

Таким чином, у вищеописаних пунктах було розглянуто різноманітні способи для регулювання системи охолодження турбогенератора та прийнято на їх основі необхідні технічні рішення.

3 ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ОХОЛОДЖЕННЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРА ТВФ-125-2УЗ

На основі технічних рішень, що були прийняті у попередньому розділі, було розроблено систему, яку описано в пункті 3.1

3.1 Опис функціональної структури та вимог до реалізації функцій АСУТП

Функціональна структура – це перелік функцій, які реалізує АСУТП і перелік вимог до реалізації цих функцій.

Виділяють такі функції АСУТП:

1. інформаційні;
2. керуючі;
3. захисні.

Призначення інформаційної функції – це забезпечення АСУТП інформацією про технологічні параметри системи, тобто збір даних. Реалізація інформаційної функції – це вимірювальний канал. Інформацію про технологічні параметри надають датчики(первинні перетворювачі), збирачем даних виступає контролер, який передає отримані данні на верхній рівень АСУТП. Інформаційні функції є базовими. Існують АСУ, що виконують тільки інформаційні функції, такі АСУ називають інформаційними системами. У багатьох випадках створення інформаційними системи є першим кроком до створення повноцінної АСУ.

Керуючі функції потрібні для досягнення заданих параметрів технологічного процесу за допомогою виконавчих механізмів і різних технічних засобів (контролери, модулі вводу – виводу тощо). Керуючі функції реалізують неперервне регулювання і програмно-логічне керування. У даному проекті забезпечується регулювання температури ХА в зворотному трубопроводі. Контролер за отриманою інформацією та інформацією про поточну витрату подавального ХА розраховує керуючу дію, яку потрібно здійснити виконавчим механізмом для досягнення бажаної витрати повітря, що забезпечить необхідну інтенсивність охолодження корпусу генератора.

Захисні функції АСУТП зводяться до попереджень (технологічних) і аварійної сигналізації, включення або відключення тих чи інших механізмів. Особливістю захисних функцій є значна вимога до надійності її реалізації.

Функції АСУ ТОУ повинні відповідати показникам надійності, а саме

Середнє напрацювання на відмову для усіх функцій $T_{сер} > 22\ 000\ год$;

Середній час відновлення для керуючої функції $T_{сер} < 7\ год$;

Коефіцієнт готовності для захисної функції $K_{гот} > 0,996$.

Надійність функцій АСУ ТОУ характеризується середнім напрацювання на відмову або ймовірністю безвідмовної роботи ; середнім часом відновлення та ймовірністю безвідмовної роботи з урахуванням відновлення для керуючої функції; коефіцієнтом готовності для захисних функцій. Інформаційної функція характеризується середнім часом напрацювання на відмову, або ймовірністю безвідмовної роботи. Умова виконання інформаційної функції повинна бути достатньо жорсткою, так як при її відмові інформація безповоротно втрачається та не може бути відновлена. Надійність регулюючої функції характеризується середнім часом відновлення та ймовірністю безвідмовної роботи з урахуванням відновлення. Вимоги до захисної функції більш жорсткі ніж до інформаційної та керуючої. При цьому працездатність захисної функції повинна бути забезпечена в момент аварії, а в проміжках між аваріями її відмови не впливають на працездатність АСУ в цілому. Захисна функція характеризується коефіцієнтом готовності або ймовірністю безвідмовної роботи при виконанні очікуваної задачі.

Перелік технологічних параметрів, для яких необхідно виконати контроль та регулювання наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Перелік технологічних параметрів

Технологічний параметр	Номінальне значення	Похибка вимірювань
Температура подавального ХА в газоохолоджувачі	32 °С	
Температура зворотного ХА	45 °С	
Тиск в подавальному трубопроводі ХА	240 кПа	
Тиск в зворотному трубопроводі ХА	90 кПа	
Температура ХА на виході з газоохолоджувачів	45 °С	
Тиск в трубопроводах на виході з газоохолоджувачів	90 кПа	
Витрата ХА, що подається в газоохолоджувач	240 м ³ /год	
Перепад тиску на групі насосів	140 кПа	
Температура ХА до підготовки	(5...22) °С	
Тиск в трубопроводі ХА до підготовки	30 кПа	
Положення клапана проміжної лінії між подавальним та зворотнім трубопроводами	(0...100) %	

3.2 Структура ПТКЗА

На ілюстрації представлена схема програмно – технічного комплексу засобів автоматизації.

Нижній рівень АСУ являє собою контролер з вимірювальною та виконавчою апаратурою. Контролер опитує датчики (отримує поточні значення температури ХА), при зміні температури охолоджуючої рідини на виході з газоохолоджувачів з'являється розбаланс між поточним значенням і заданим, контролер змінює завдання на частоту обертання насоса для встановлення витрати ХА на необхідному значенні.

Зміна температури води, яка надходить для охолодження, приводить до зміни температури води на вході в газоохолоджувачі. Контролер здійснює корекцію регулюючого впливу на витрату ХА, що поступає зі зворотного трубопроводу, для забезпечення заданої температури рідини.

Верхній рівень – супервізорний. HMI/SCADA – система є основою верхнього (супервізорного) рівня системи керування. Супервізорний рівень ПТК АСУТП поділяється на 2 рівні: серверний та клієнтський. Клієнт–серверна архітектура ПТК дає змогу відділити отримання даних та їх обробку від віртуалізації. Profibus FMS I/O Server збирає дані від модульного контролера S7-300 та передає їх для AppServer Wonderware. До AppServer приєднуються клієнти із встановленим InTouch for System Platform. Сенсорна панель, що встановлена на дверях щита автоматизації, виконує роль HMI. У ній відображається мнемосхема технологічного процесу та реалізовано виведення алармів.

3.3 Технологічний контроль

Технічні засоби автоматизації, що здійснюють контроль наведені у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 Технічні засоби автоматизації

Параметр	Прилад	Межі виміру	Сиг	Поз
Температура по-давального ХА в газоохолоджувачі	Термоперетворювач опору ТСПУ Метран-276	0...50 °С	4 – 20мА	ба

Продовження таблиця 3.2

Температура зворотного ХА	Термоперетворювач опору ТСПУ Метран-276	0...50 °С	4 – 20мА	5б
Температура ХА на виході з газоохолоджувачів				8а, 10а, 12а, 14а
Температура ХА до підготовки				2а
Тиск в подавальному трубопроводі ХА	Перетворювач тиску	0...9 бар	4 – 20мА	7а
Тиск в зворотному трубопроводі ХА				4а
Тиск в трубопроводах на виході з газоохолоджувачів				9а, 11а, 13а, 15а
Тиск в трубопроводі ХА до підготовки				1а
Витрата ХА, що подається в газоохолоджувач	Промисловий лічильник води MWN-200 ХВ	0...250 м ³ /год	4 – 20мА	5а

3.4 Виконавча апаратура

Для контуру регулювання витрати ХА в систему охолодження та його температури на виході з газоохолоджувачів було обрано виконавчий механізм зі змінною швидкістю, а саме: частотний перетворювач Bosch Rexroth VFC 5610.

Частотний перетворювач у контурі регулювання витрати ХА в систему охолодження регулює швидкість обертання двигуна насоса, тим самим кількість ХА, що надходить у систему охолодження. В свою чергу, зміна температури на виході з газоохолоджувачів контролюється шляхом зміни вищевказаної витрати холодоагента. ККД такого перетворювача становить 98%, система управління на основі мікропроцесору забезпечує високу якість управління асинхронним електродвигуном та контролює основні його параметри, знижуючи можливість появи і розвитку аварійних ситуацій.

Для інших контурів керування застосовуємо електропривід для регулюючого клапану фірми Danfoss AME 15 QM. Керування електроприводом здійснюється аналоговим сигналом 0/4–20мА або 0/2–10В на вибір. Привід має кінцеві вимикачі, які припиняють роботу при виникненні перевантажень, а також при досягненні штоком клапана крайніх положень.

3.5 Рішення контролерної автоматизації

Для вибору відповідного контролера необхідно порівняти декілька контролерів, параметри яких задовольняють вимогам для створення АСУТП системи охолодження турбогенератора ТВФ-125-2У3. Для порівняння було обрано контролери Siemens S7-300 та Phoenix Contact серія 300.

Модульні контролери класу 300 від виробника Phoenix Contact застосовуються в усіх комплексних рішеннях, що вимагають підвищеної продуктивності. Дані контролери особливо гнучкі завдяки з'єднанню з PROFINET і можливістю розширення за допомогою модулів введення-виведення Inline.

Переваги:

- висока гнучкість завдяки можливості розширення за допомогою модулів вводу-виводу;
- комунікація PROFINET в реальному часі;
- найкращий зв'язок, з вбудованим веб-сервера та підтримкою всіх поширених стандартів ІТ.

Інші характеристики:

- Інтегрований інтерфейс Ethernet;
- Вбудований веб-сервер для візуалізації за допомогою WebVisit;
- FTP-сервер;
- Файлова система Flash;
- Підтримка численних комунікаційних протоколів: HTTP FTP, SNMP, SNMP, MySQL і ін.;
- Повноцінно ведучий пристрій польовий шини (8192 точок вводу-виводу);
- Вбудований контролер введення-виведення PROFINET і пристрій введення-виведення PROFINET;
- Розробка за допомогою PC Work (IEC 61131-3).

Пам'ять для програм – 1 Мбайт (стандартна команда 85 К (IL));

Пам'ять для даних – 2 Мбайт;

Пам'ять для постійного зберігання даних – 64 кбайт (NVRAM).

Інноваційний програмований логічний контролер S7-300 базується на подальший розвиток і вдосконалення функціональних можливостей добре відомих програмованих контролерів попередніх серій. Він призначений для автоматизації процесів у всіх секторах промислового виробництва.

Покращена продуктивність системи, вбудована підтримка технологічних функцій, обмін даними через PROFINET в реальному масштабі часу в режимах RT (Real Time). У поєднанні з перевагами програмного забезпечення STEP 7 Professional (TIA Portal) введення в експлуатацію нової серії контролерів може бути виконано легко, просто і ефективно.

Основні властивості нового контролера:

- Найвища продуктивність для свого класу, ефективне рішення задач автоматизації середнього і високого рівня складності, мінімальні часи реакції на зовнішні події.
- Модульна конструкція, максимальна адаптація апаратури до вимог вирішуваних завдань, продумані конструктивні рішення і робота з природним охолодженням.

- Одночасне обслуговування систем локального і розподіленого введення-виведення, просте включення в мережеві конфігурації, вбудована підтримка захищеного обміну даними через промислові мережі Industrial Ethernet і Ethernet.
- Розширена концепція захисту доступу до програми та даними.
- Підтримка широкого спектру діагностичних функцій і концепції діагностики систем введення-виведення.
- Вільне нарощування функціональних можливостей при модернізації системи управління.

Конструкція контролера відрізняється високою гнучкістю і зручністю обслуговування. Всі модулі встановлюються на профільну шину S7-300 і фіксуються в тих положеннях вбудованими в них гвинтами. В одну монтажну стійку допускається установка одного центрального процесора і до 31 модуля з інтерфейсом підключення до внутрішньої шини контролера. Порядок розміщення модулів може бути довільним.

При необхідності в якості стійок розширення можна використовувати станції ET 200MP, що підключаються до контролера через інтерфейс PROFINET.

Центральні процесори (CPU)

У складі програмованого контролера S7-300 може використовуватись кілька типів CPU стандартного призначення, а також F-CPU для побудови систем протиаварійного захисту і забезпечення безпеки. Всі типи центральних процесорів S7-300 оснащені інтерфейсом PROFINET з вбудованим 2-канальним комутатором і підтримкою обміну даними в режимах RT і IRT. Центральні процесори S7-300 оснащені робочою пам'яттю досить великого обсягу, фізично розділеної на області пам'яті програми і пам'яті даних. В якості зовнішньої пам'яті використовуються карти пам'яті SIMATIC Memory Card від 4 Мбайт до 32 Гбайт.

Для реалізації контролерної автоматизації було обрано контролер S7-300. Так як, він має значно більше пам'яті для програм та для даних, у порівнянні з ILC300 Phoenix Contact. Також у середовищі програмування TIA PORTAL надано значно більше можливостей для програмування та діагностики контролерів, ніж у PC Worx.

3.6 Реалізація сигналізації, блокування і захисту

У проекті передбачена програмна сигналізація, яка здійснюється у сенсорній панелі, що розташована на дверях щита. Сигналізація служить для того, щоб чітко дати знати оператору, коли значення одного з параметрів наблизиться до небезпечного значення.

В межах проекту було прийнято рішення про реалізацію аварійної сигналізації, яка спрацьовує при досягненні технологічним параметром аварійного значення. Технологічні параметри, для яких здійснюється сигналізація, наведено в таблиці 3.3.

Для забезпечення функціонування системи в необхідному стані, здійснюється сигналізація аварійно небезпечних параметрів. Таким чином при зниженні тиску в трубопроводі, по якому надходить вода для охолодження, нижче дозволеного значення, відбувається інформування операторів щита про дану ситуацію.

Таблиця 3.3 Технологічні параметри з аварійною сигналізацією

Технологічний параметр	Номінальні значення	Допустимі межі значень	Критичні межі значень
Тиск в трубопроводі холодоагенту до підготовки	30 кПа	не менше 10 кПа	не менше 0 кПа (відсутність тиску)
Перепад тиску на групі живильних насосів	140 кПа	(100...180) кПа	(80...200) кПа
Витрата холодоагента, що подається в газо-охолоджувач	240 м ³ /год	не менше 180 м ³ /год	не менше 150 м ³ /год
Температура подавального холодоагенту в газоохолоджувачі	32 °С	(20...40) °С	(15...45) °С

Температура холодоагенту на виході з газоохолоджувачів	45 °С	не більше 60 °С	не більше 80 °С
--	-------	-----------------	-----------------

Аналогічно відбувається сигналізація перепаду тиску на групі живильних насосів; витрата холодоагента, що подається в газоохолоджувач; температура подавального холодоагенту в газоохолоджувачі та температура холодоагенту на виході з газоохолоджувачів.

При досягненні вказаними параметрами значень, що являються критичними, спрацьовує аварійне блокування і система зупиняє роботу. Наприклад, при відсутності тиску в трубопроводі, по якому надходить вода для охолодження, відбувається сухий хід живильних насосів, а також перегрів корпусу турбогенератора. Так як охолодження водою являється єдиним способом охолодження установки, така ситуація може викликати до пожежі або блокування ротора генератора, внаслідок розширення металу при нагріванні. Аналогічно, інші наведені параметри також можуть привести до небезпечних ситуацій, причиною чого і є впровадження аварійного блокування.

3.7 Монтаж і обслуговування засобів автоматизації

Всередині щита АСУТП системи охолодження турбогенератора ТВФ-125-2УЗ розташовані модульний контролер Siemens S7-300, два модулі аналогового вводу, блок живлення на 24 В DC для центрального процесора та блок живлення на 24 В DC для модулів та апаратури. Живлення, що підводиться до щита потрапляє на вимикач навантаження, та розподіляється на автоматичні вимикачі Siemens. Усі прилади і клемник, що знаходяться всередині щита монтуються на DIN-рейку. Модульний контролер Siemens S7-300 монтується на профільну шину. На дверях щита встановлена сенсорна панель.

Контрольно-вимірювальна апаратура монтується за місцем. Датчики надлишкового тиску, термоперетворювачі опору, витратомір (лічильник води) встановлюються безпосередньо в трубопровід.

Електропривід Danfoss керує односідільним триходовим регулюючим клапаном. Умови встановлення: температура навколишнього середовища від 0°C до +50°C; допустиме будь-яке положення приводу, окрім «вверх ногами»; монтаж з клапаном здійснюється за допомогою стійки приводу. Клас захисту IP65.

До монтажу вимірювального та виконавчого обладнання допускаються лише особи, що мають допуск до робіт з електротехнічним обладнанням, пройшли інструктаж з техніки безпеки, а також пройшли відповідний навчальний курс з монтажу апаратури.

4 РОЗРАХУНОК АТК

4.1 Побудова моделі ТОУ

Як було зазначено в попередніх розділах, в системі керування системою охолодження турбогенератора ТВФ-125-2У3 присутні два основних контури регулювання – температури подавального холодоагента в систему охолодження та температури зворотного холодоагента з системи охолодження. З довідкової літератури процесів турбогенераторних установок, яку було надано під час проходження практики на ТЕЦ-5, отримані передавальні функції для обох контурів:

$$W_{\text{под}} = \frac{0,35}{10p+1} e^{-3p} \text{ – температура подавального холодоагента} \quad (4.1)$$

$$W_{\text{зв}} = \frac{0,5}{50p+1} e^{-15p} \text{ – температура зворотного холодоагента} \quad (4.2)$$

Змодельємо обидва контури у середовищі Matlab:

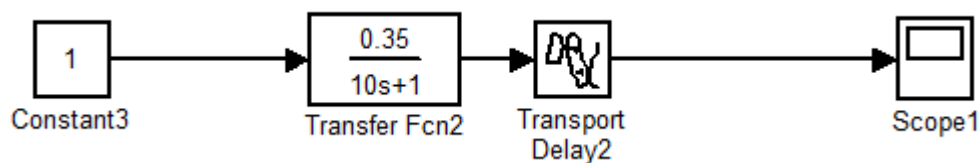


Рисунок 4.1 Модель контура температури подавального холодоагента в Matlab
Simulink

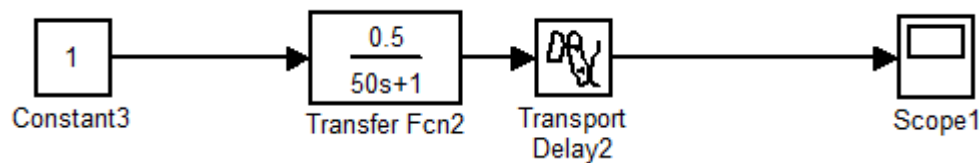


Рисунок 4.2 Модель контура температури зворотного холодоагента в Matlab
Simulink

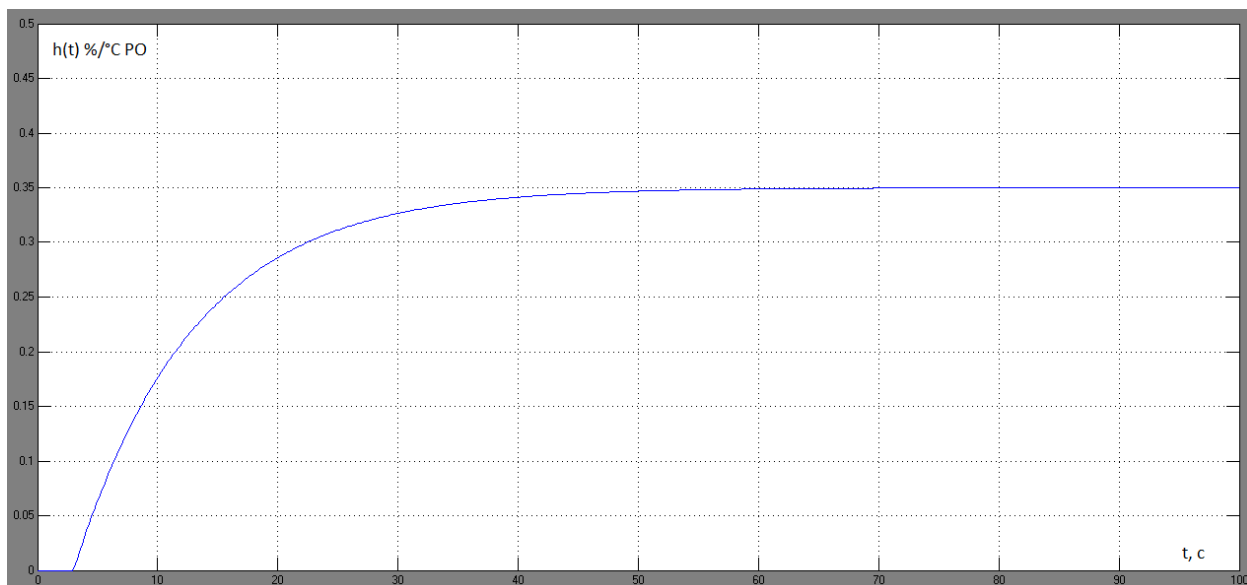


Рисунок 4.3 Перехідна характеристика контура температури подавального холодоагента в Matlab Simulink

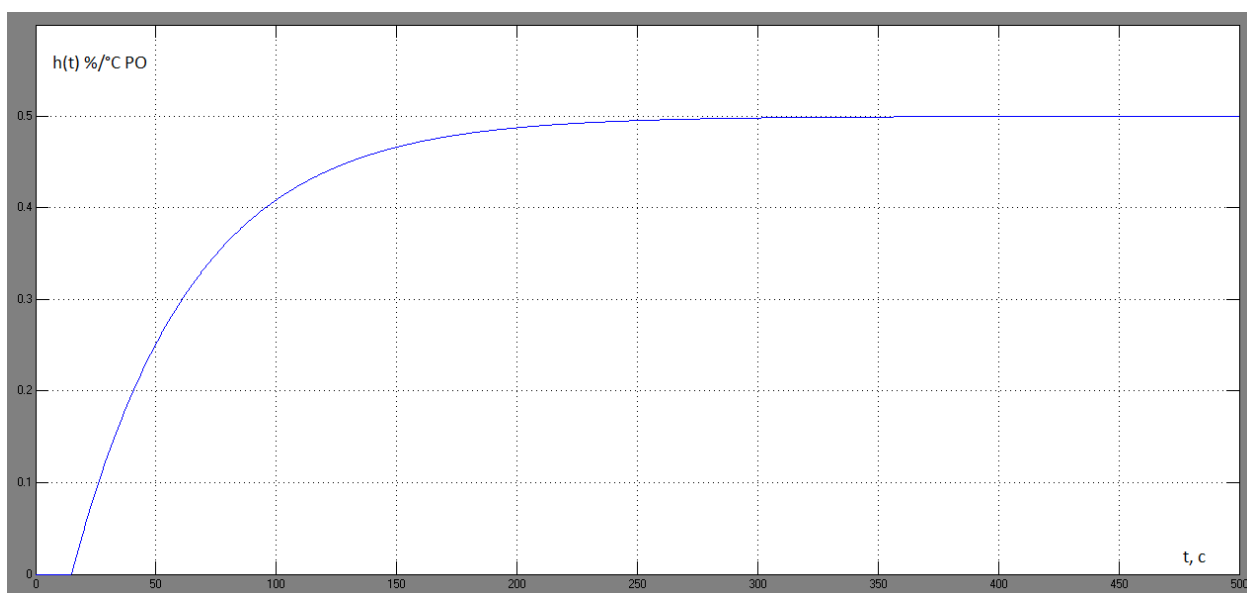


Рисунок 4.4 Перехідна характеристика контура температури зворотного холодоагента в Matlab Simulink

4.2 Розрахунок динаміки АСР

Як показано в пункті 4.1, обидві моделі є контурами з самовирівнюванням. На рисунку 4.5 та 4.6 зображені схеми одноконтурного регулювання температури холодоагента (подавального та зворотного відповідно).

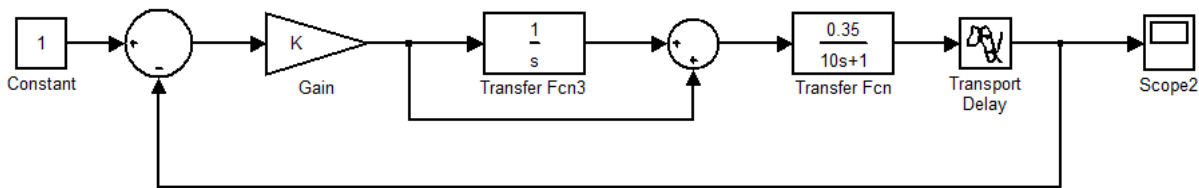


Рисунок 4.5 Одноконтурна система регулювання температури подавального холодоагента

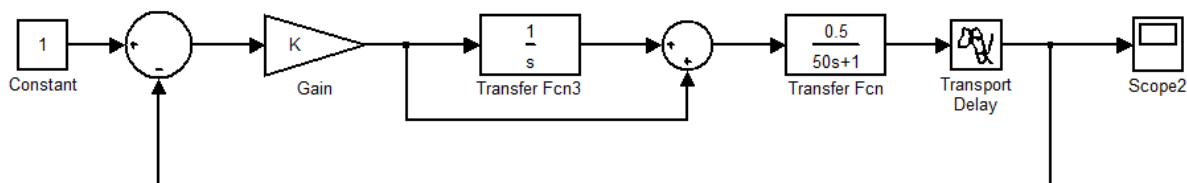


Рисунок 4.5 Одноконтурна система регулювання температури зворотного холодоагента

Основною вимогою до системи регулювання (згідно до ДБН 2.04.05-91) є максимальний викид температури у 4 градуси. Так як експлуатаційні норми турбогенератора ТВФ-125-2УЗ передбачають значення температури зворотного холодоагента 70 градусів, то перерегулювання не повинно перевищувати 5%.

Проведемо розрахунок параметрів ПІ-регуляторів за інженерною методикою CRH для аперіодичного процесу та методом розширених амплітудно-фазових характеристик.

4.2.1 Методика CRH для аперіодичного процесу

Нижче представлені формули для визначення параметрів ПІ-регулятора:

$$K_{\Pi} = 0,6 \cdot \frac{1}{K_{об}} \cdot \frac{T_{об}}{\tau_{об}} \quad (4.3)$$

$$T_i = 0,8 \cdot \tau_{об} + 0,5 \cdot T_{об} \quad (4.4)$$

де K_{Π} - коефіцієнт передачі регулятора;

де T_i - час інтегрування;

В пункті 2 розділу 4 було описано передаткову функцію об'єкта для подавального холодоагента. Скористаємось нею для розрахунку налаштувань ПІ регулятора:

$$K_{п.под.} = 0,6 \cdot \frac{1}{0,35} \cdot \frac{10}{3} = 5,714 \frac{^{\circ}\text{C}}{\% \text{ ходу РО}} \quad (4.5)$$

$$T_{i.под.} = 0,8 \cdot 3 + 0,5 \cdot 10 = 7,4 \text{ с} \quad (4.6)$$

Аналогічно розрахунку для налаштувань подавального холодоагента, знайдемо параметри зворотного:

$$K_{п.зв.} = 0,6 \cdot \frac{1}{0,5} \cdot \frac{50}{15} = 4 \frac{^{\circ}\text{C}}{\% \text{ ходу РО}} \quad (4.7)$$

$$T_{i.зв.} = 0,8 \cdot 15 + 0,5 \cdot 50 = 37 \text{ с} \quad (4.8)$$

Побудуємо схеми та змодельємо роботу систем по каналах «завдання – вихід» (Рисунок 4.6, Рисунок 4.8) та «збурення – вихід» (Рисунок 4.7, Рисунок 4.9).

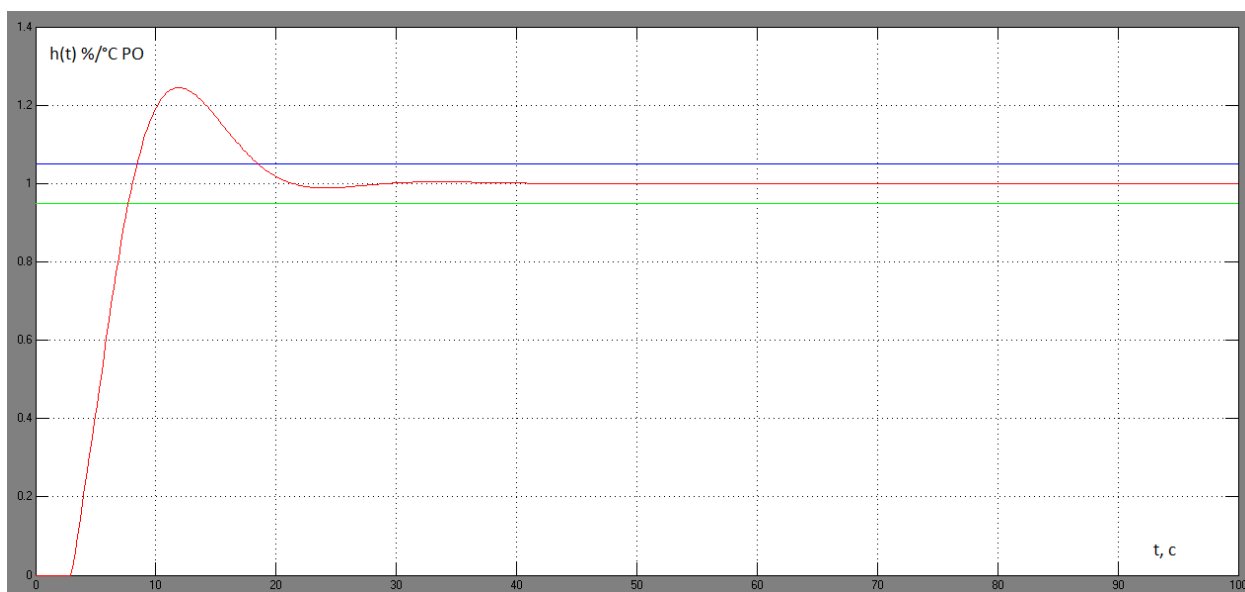


Рисунок 4.6 Перехідна характеристика системи для подавального холодоагента по каналу «завдання – вихід»

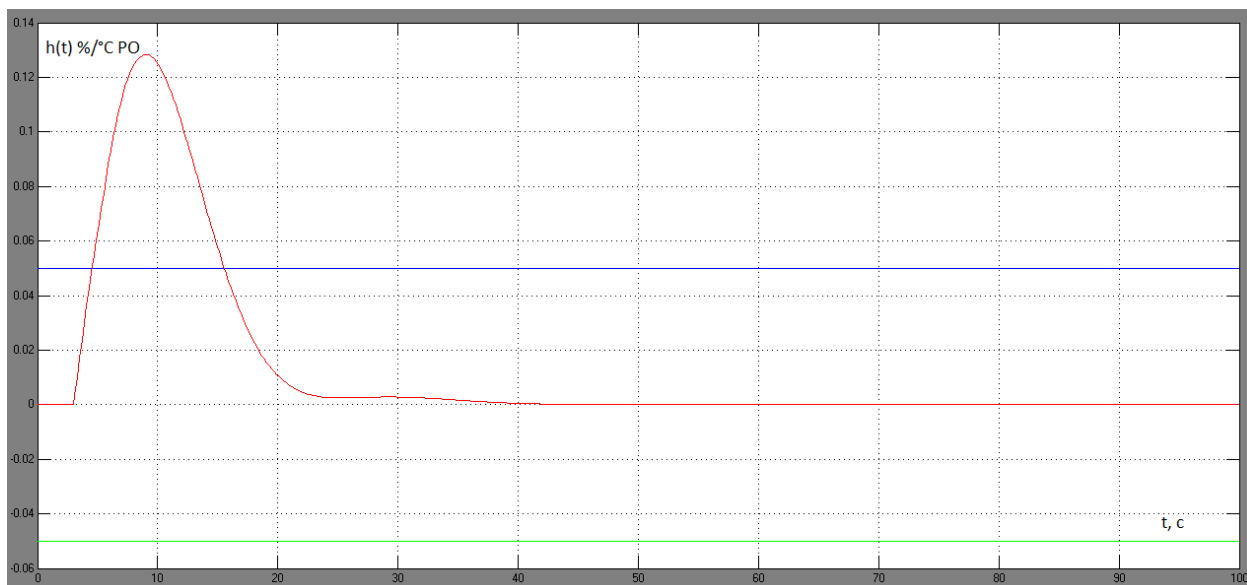


Рисунок 4.7 Перехідна характеристика системи для подавального холодоагента по каналу «збурення – вихід»

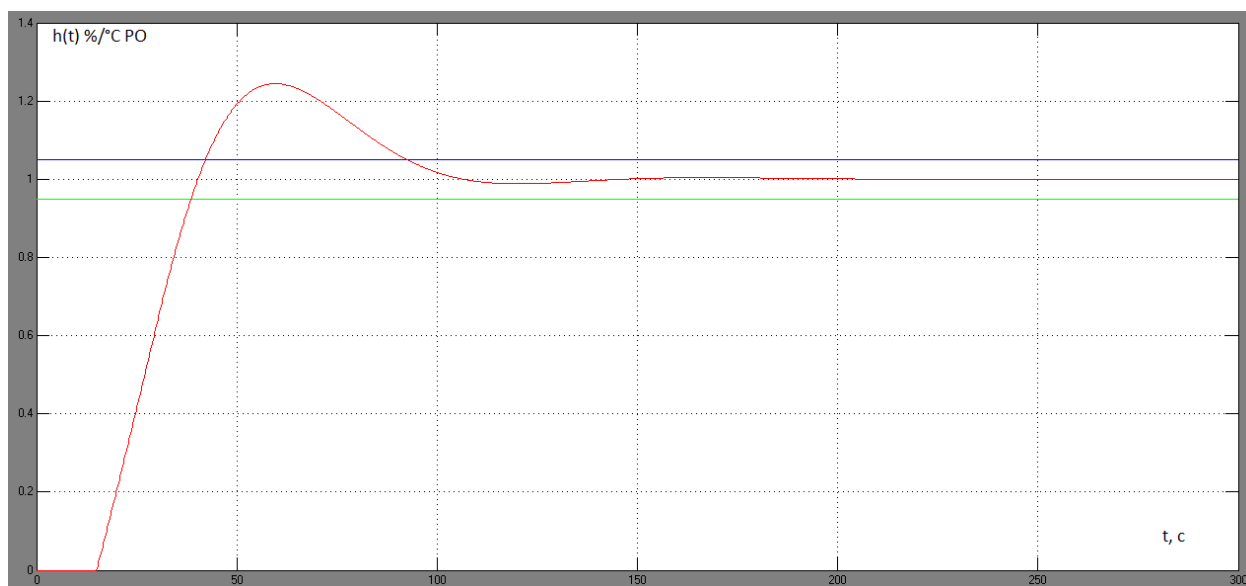


Рисунок 4.8 Перехідна характеристика системи для зворотного холодоагента по каналу «завдання – вихід»

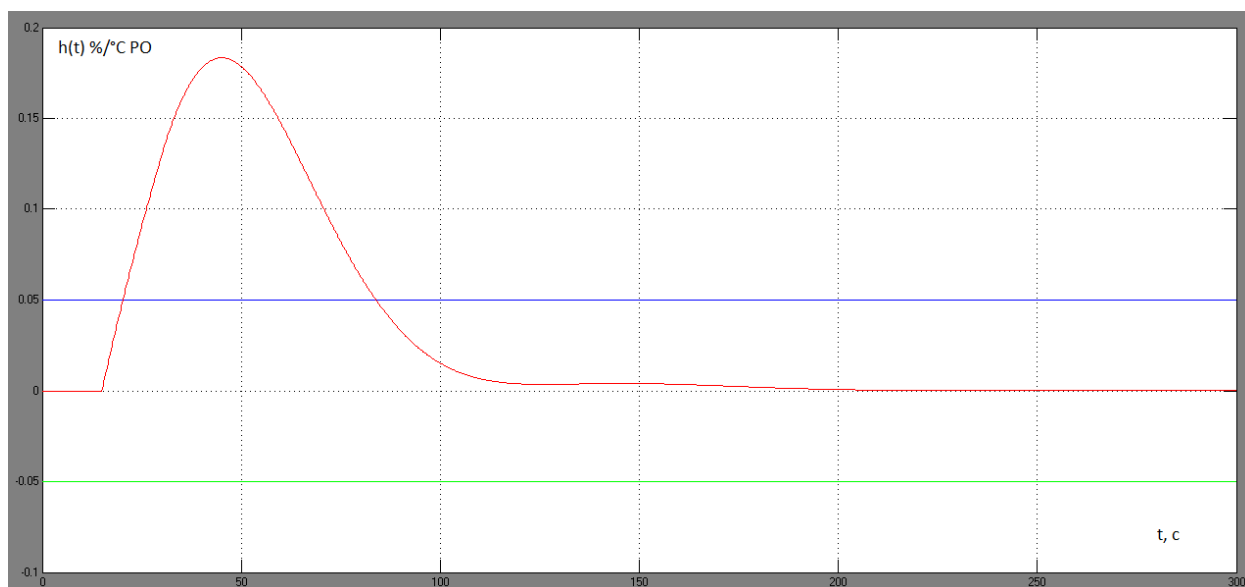


Рисунок 4.9 Перехідна характеристика системи для зворотного холодоагента по каналу «збурення – вихід»

Проаналізуємо отримані прями показники якості:

Таблиця 4.1 Прямі показники якості для методу CRH

Показник якості	Подавальний ХА		Зворотний ХА	
	«Завдання – вихід»	«Збурення – вихід»	«Завдання – вихід»	«Збурення – вихід»
Статична похибка				
Динамічна похибка				
Час перехідного процесу, с				
Степінь затухання				
Перерегулювання, %				

Порівнюючи отримані результати із заданими обмеженнями ДБН, слід зауважити, що розрахована система не задовольняє поставленим умовам.

4.2.2 Метод РАФХ

Для виправлення ситуації, що склалась спробуємо розрахувати систему методом РАФХ. Так як процес є вимогливим до показника перегулювання, то необхідно мінімізувати динамічну похибку (тобто, величину першого стрибка при регулюванні).

Нехай $m=0,7$, знайдемо налаштування регулятора для температури подавального холодоагента за допомогою метода РАФХ. Для цього побудуємо криву заданого ступеня коливальності (Рисунок 4.10).

Текст сценарію:

```

m=0.7;
w=0:0.00001:0.389;
Wop=(0.35.*exp(-3.*(-m.*w+i.*w)))/(10.*(-m.*w+i.*w)+1);
Re=real(Wop);
Im=imag(Wop);
Kp=- (m*Im+Re)/(Im.^2+Re.^2);
Ki=-w*(m.^2+1).*Im/(Im.^2+Re.^2);
plot(Kp,Ki,'-k');
ylabel('Kp/Tu');
xlabel('Kp');
grid;

```

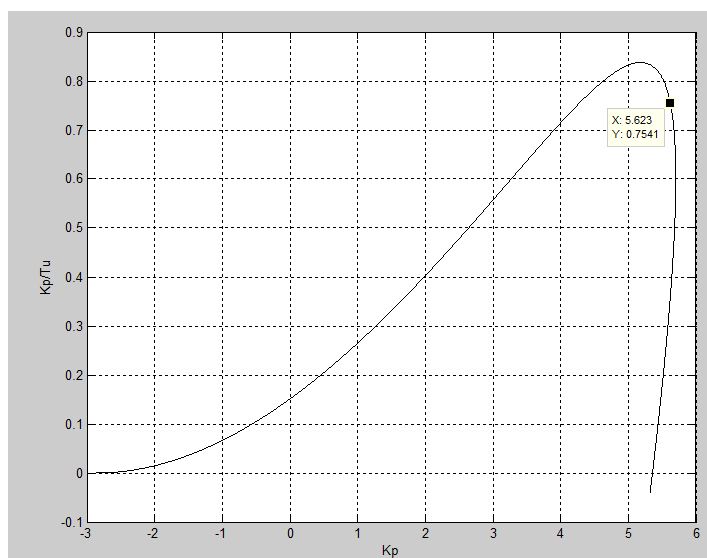


Рисунок 4.10 Крива ступеня коливальності $m=0.7$ для температури подавального холодоагента

Так як регулятор ПІ, то налаштування знаходимо як K_p у точці $K_i=0.9\max(K_i)$, а $T_i=K_p/K_i$.

$$K_p=5.623, K_i=0.754, T_i=7.456 \quad (4.9)$$

Побудуємо РАФХ розімкненої системи з отриманим ПІ-регулятором (Рисунок 4.11).

Текст сценарію:

```
m=0.7;
w=0.03:0.00001:0.6;
Wop=(0.35.*exp(-3.*(-m.*w+i.*w)))/(10.*(-m.*w+i.*w)+1);
Wr=5.623.*(1+(1./(7.456.*(-m.*w+i.*w))));
Wres=Wr.*Wop;
Re=real(Wres);
Im=imag(Wres);
plot(Re,Im,'-k');
ylabel('Im');
xlabel('Re');
grid;
```

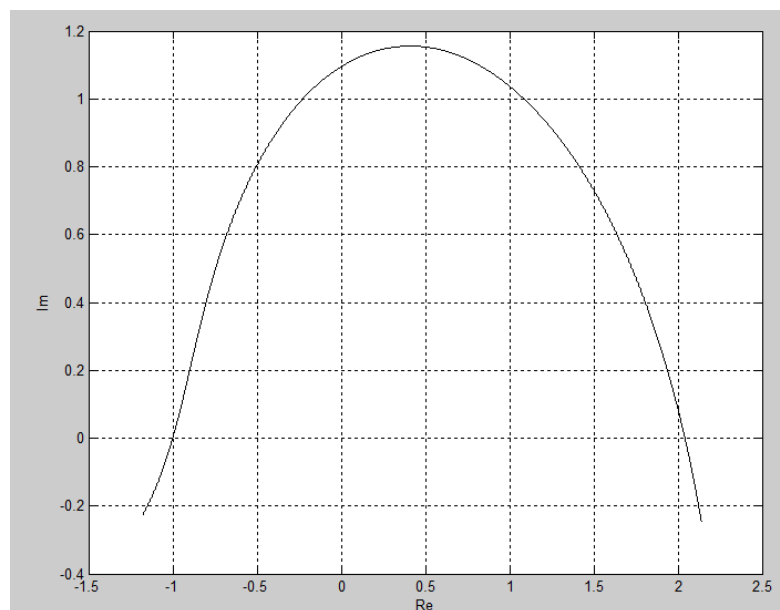


Рисунок 4.11 РАФХ розімкненої системи для температури подавального холодоагента з отриманим регулятором

Як бачимо, РАФХ проходить через $(-1;j0)$. Це означає, що отримана система повинна мати такий самий показник коливальності m , яким ми задавалися ($m=0.7$)

Аналогічно, порахуємо регулятор для контуру зворотного холодоагента.

Текст сценарію:

```
m=0.7;
w=0:0.00001:0.389;
Wop=(0.5.*exp(-15.*(-m.*w+i.*w)))/(50.*(-m.*w+i.*w)+1);
Re=real(Wop);
Im=imag(Wop);
Kp=-(m*Im+Re)/(Im.^2+Re.^2);
Ki=-w*(m.^2+1).*Im./(Im.^2+Re.^2);
plot(Kp,Ki,'-k');
ylabel('Kp/Tu');
xlabel('Kp');
grid;
```

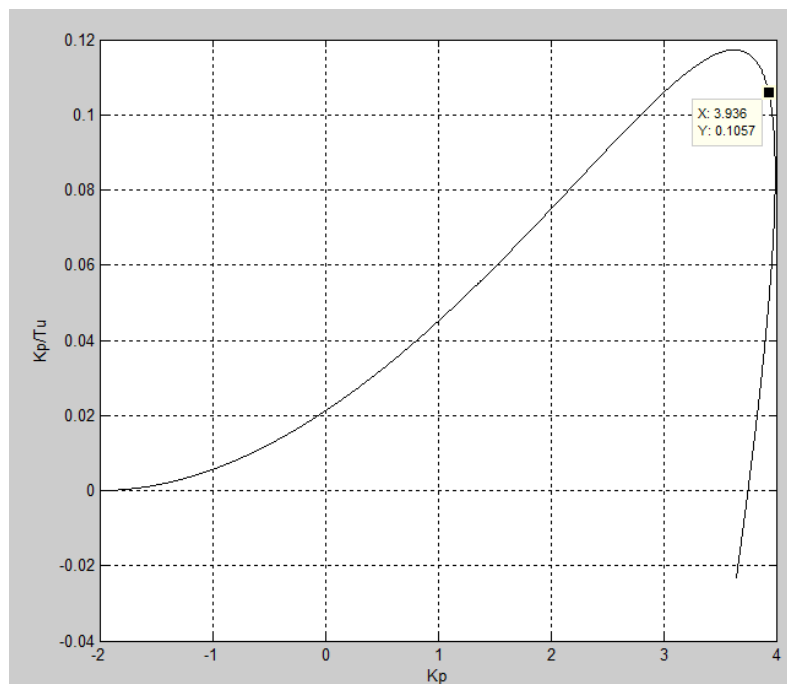


Рисунок 4.12 Крива ступеня коливальності $m=0.7$ для температури зворотного холодоагента

Так як регулятор ПІ, то налаштування знаходимо як K_p у точці $K_i=0.9\max(K_i)$, а $T_i=K_p/K_i$.

$$K_p=3.936, K_i=0.1057, T_i=37.237 \quad (4.10)$$

Побудуємо РАФХ розімкненої системи з отриманим ПІ-регулятором (Рисунок 4.14).

Текст сценарію:

```
m=0.7;
```

```
w=0.03:0.00001:0.6;
```

```
Wop==(0.5.*exp(-15.*(-m.*w+i.*w)))/(50.*(-m.*w+i.*w)+1);
```

```
Wr=3.936.*(1+(1./(37.237.*(-m.*w+i.*w))));
```

```
Wres=Wr.*Wop;
```

```
Re=real(Wres);
```

```
Im=imag(Wres);
```

```
plot(Re,Im,'-k');
```

```
ylabel('Im');
```

```
xlabel('Re');
```

```
grid;
```

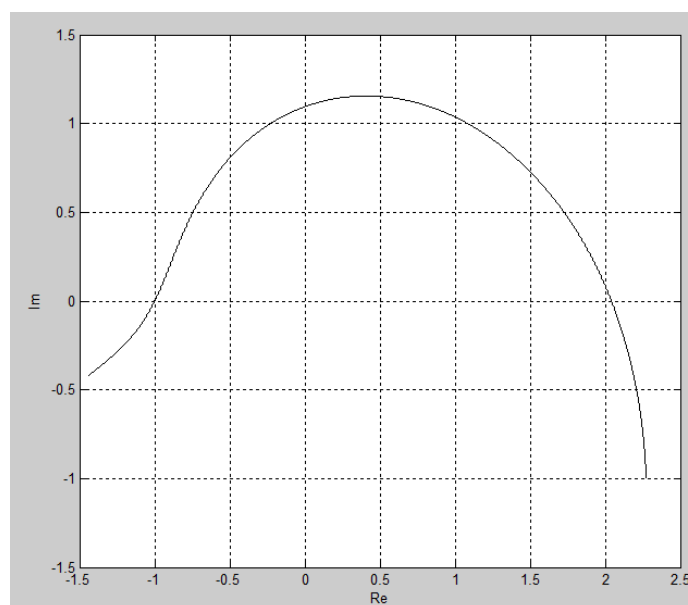


Рисунок 4.13 РАФХ розімкненої системи для температури зворотного холодоагента з отриманим регулятором

Як бачимо, РАФХ проходить через $(-1; j0)$. Це означає, що отримана система повинна мати такий самий показник коливальності m , яким ми задавалися ($m=0.7$).

Промодельюємо контури з отриманими налаштуваннями регулятора за каналами «завдання-вихід» (Рисунок 4.14, Рисунок 4.16) та «збурення-вихід» (Рисунок 4.15, Рисунок 4.17).

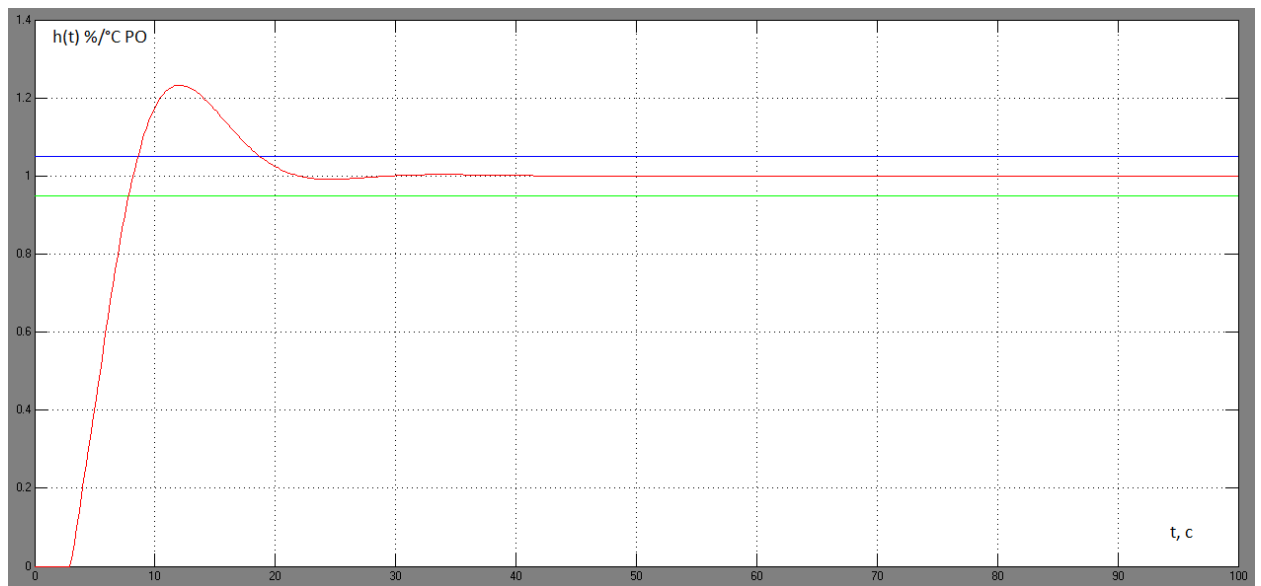


Рисунок 4.14 Перехідна характеристика системи регулювання подавального ХА по каналу «завдання-вихід»

Аналогічно зробимо і для каналу «збурення – вихід» (Рисунок 4.15).

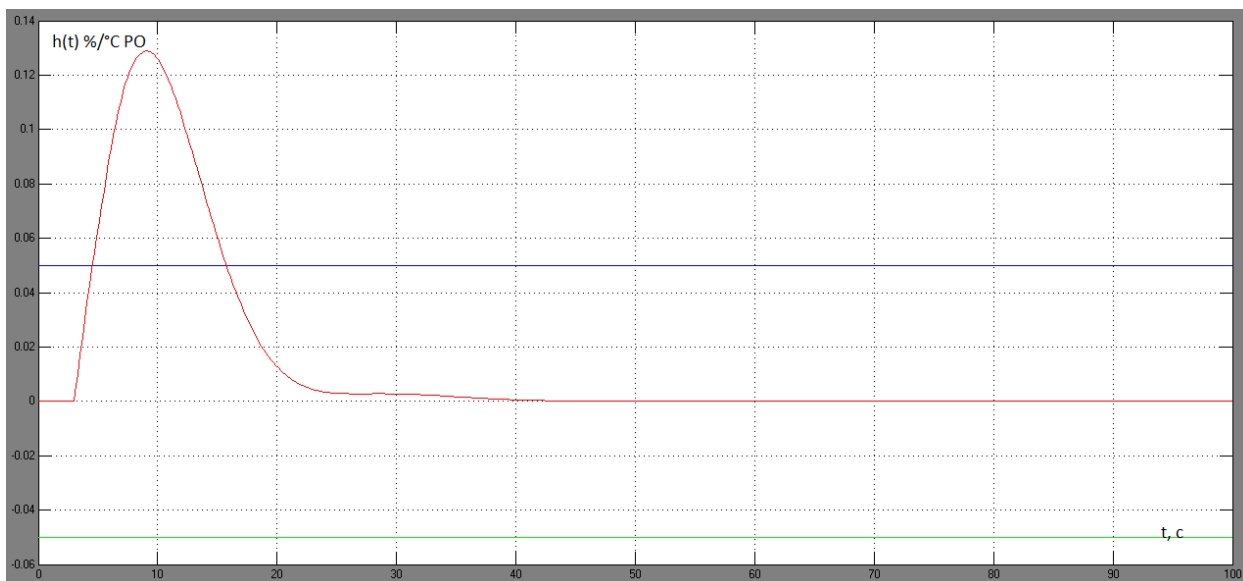


Рисунок 4.15 Перехідна характеристика системи регулювання подавального ХА по каналу «збурення – вихід»

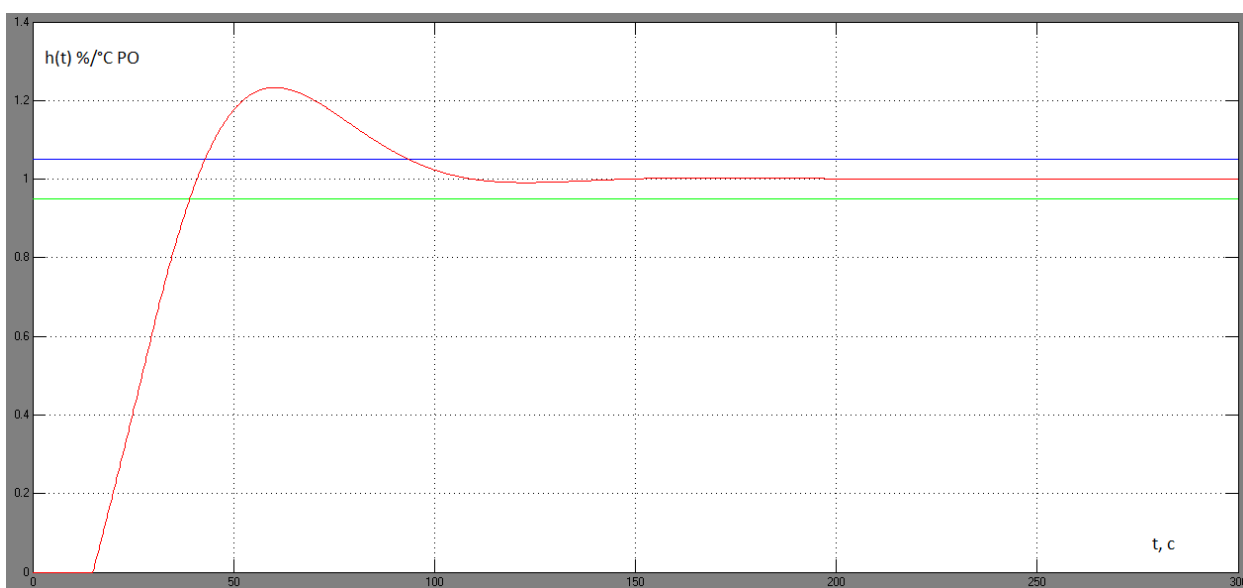


Рисунок 4.16 Перехідна характеристика системи регулювання зворотного ХА по каналу «завдання-вихід»

Аналогічно зробимо і для каналу «збурення – вихід» (Рисунок 4.17).

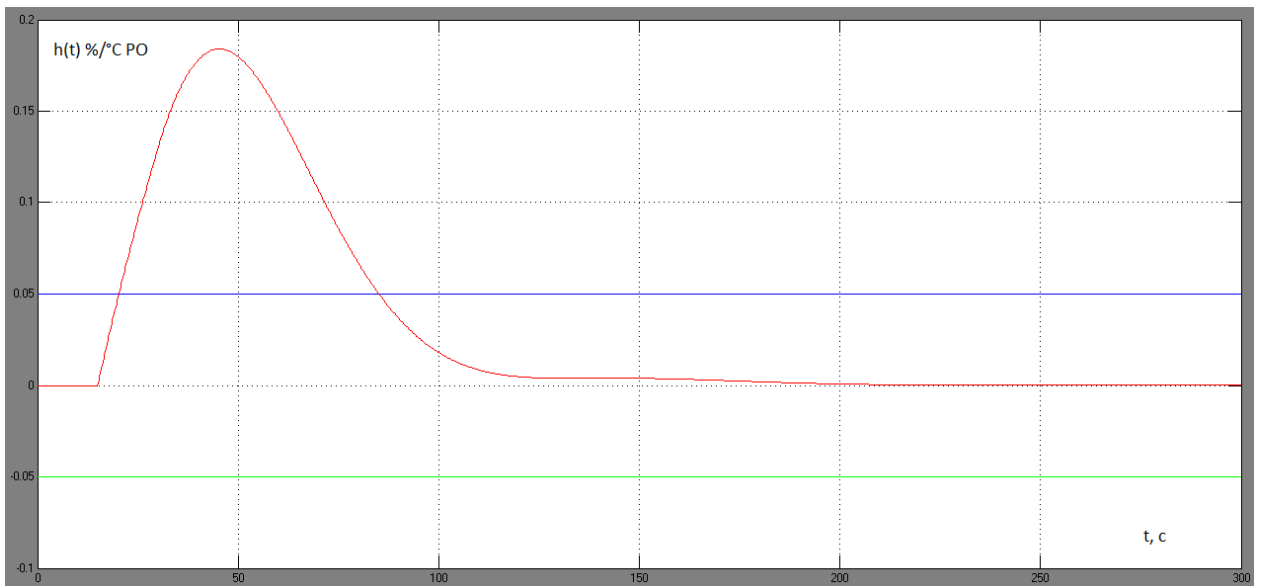


Рисунок 4.17 Перехідна характеристика системи регулювання зворотного ХА по каналу «збурення – вихід»

Як бачимо, для методу РАФХ з показником коливальності 0.7 система має перехідний процес з перегулюванням, яке перевищує дозволене значення (5%) . Для приведення налаштувань регулятора до таких, які забезпечать процес з необхідними показниками якості, проведемо розрахунок методом РАФХ для іншого показника коливальності.

Виконавши декілька ітерацій розрахунку методом РАФХ, було отримано перехідний процес, який задовольняє поставлені вимоги для значення $m=5$. Отримані параметри регулятора наведено нижче:

- для температури подавального холодоагента:

$$K_p=3.816, T_i=8.8 \quad (4.11)$$

- для температури зворотного холодоагента:

$$K_p=2.647, T_i=44.15 \quad (4.12)$$

Перехідні процеси для систем регулювання температури подавального та зворотного холодоагентів наведено на Рисунках 4.18-4.21.

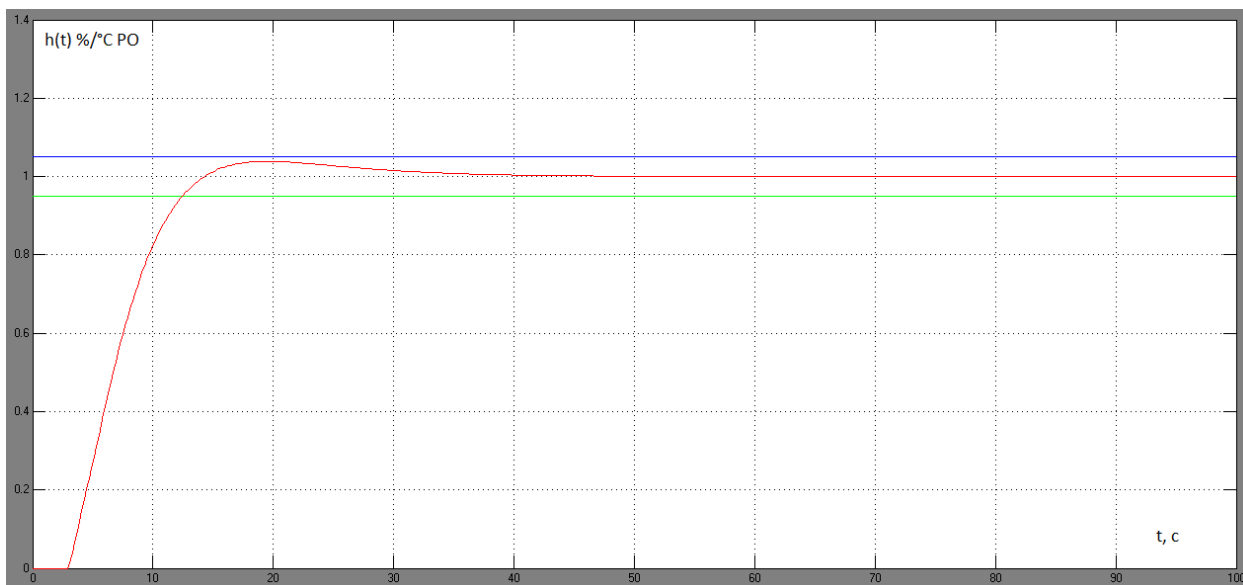


Рисунок 4.18 Перехідна характеристика системи по каналу «завдання-вихід»

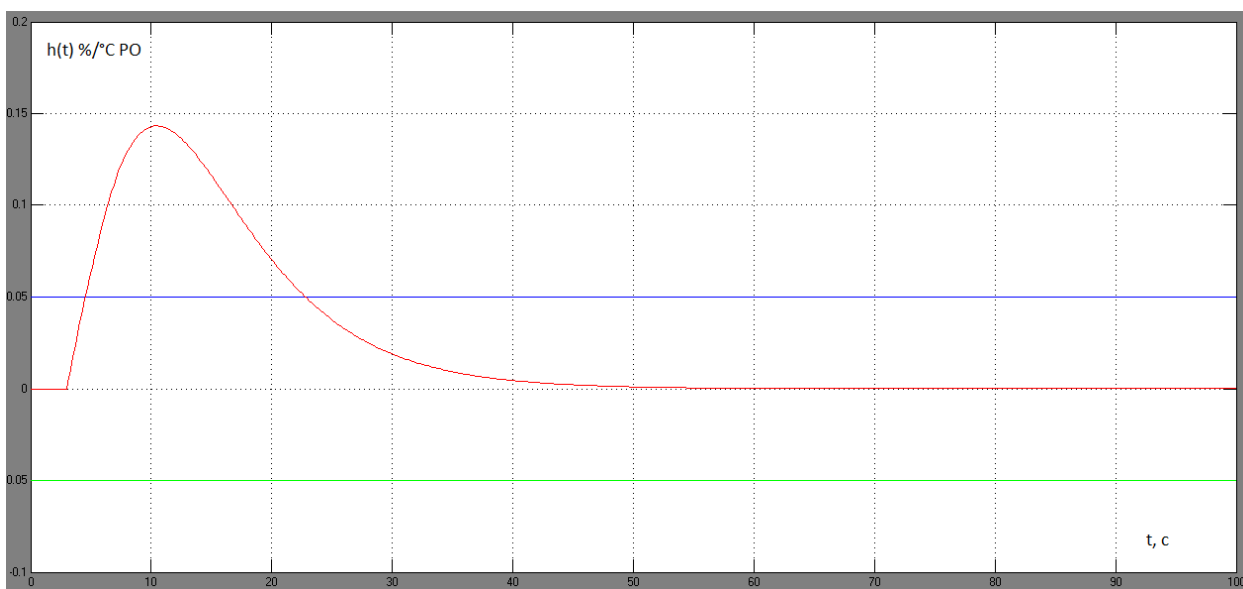


Рисунок 4.19 Перехідна характеристика системи по каналу «збурення – вихід»

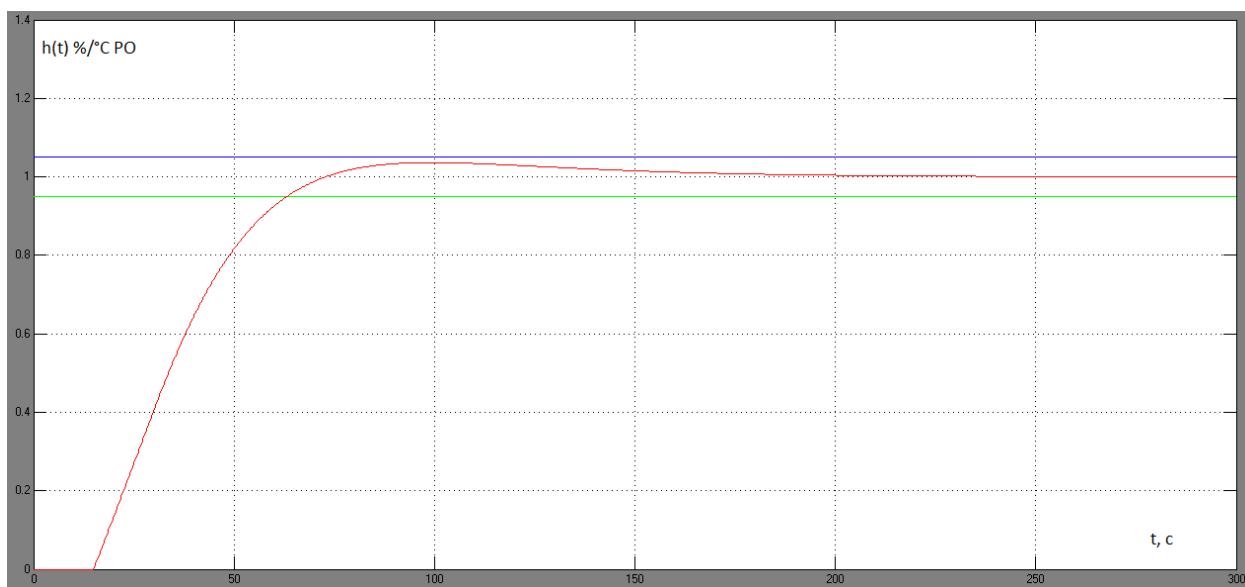


Рисунок 4.20 Перехідна характеристика системи по каналу «завдання-вихід»

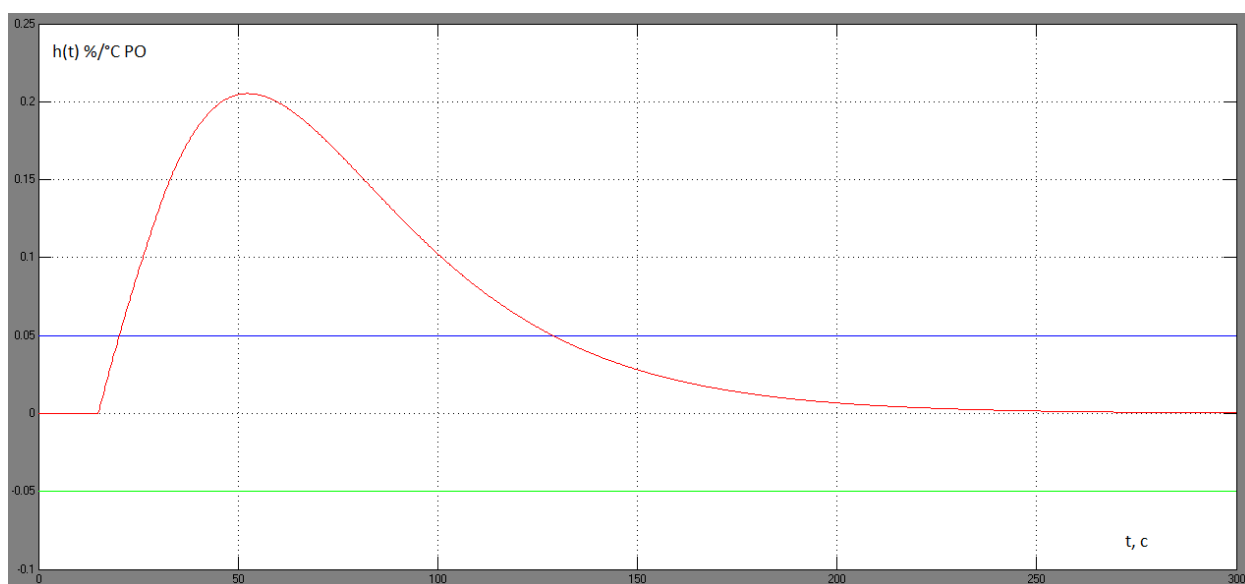


Рисунок 4.21 Перехідна характеристика системи по каналу «збурення – вихід»

Визначимо прямі показники якості по обом каналам для обох контурів регулювання – контуру подавального ХА, та контуру зворотного ХА:

Таблиця 4.2 Прямі показники якості для методу РАФХ

Показник якості	Подавальний ХА		Зворотний ХА	
	«Завдання – вихід»	«Збурення – вихід»	«Завдання – вихід»	«Збурення – вихід»

Статична похибка				
Динамічна похибка				
Час перехідного процесу, с				
Степінь затухання				
Перерегулювання, %				

4.2.3 Розрахунок системи зв'язаного регулювання двомірним об'єктом

Вищевказані способи регулювання описують лише одноконтурне регулювання технологічного параметру. Тобто, при такому підході вважається, що процес регулювання температури подавального холодоагента не впливає на регулювання зворотного, а регулювання зворотного не впливає на регулювання подавального.

Однак, на реальних об'єктах процеси регулювання цих двох параметрів є взаємопов'язаними.

Температура подавального холодоагента регулюється зміною односідільного триходового клапана, який в необхідній пропорції проводить змішування холодоагента, що прийшов з цеху водопідготовки та зворотного холодоагента з системи охолодження. Так як зміною положення клапану неявно змінюється й витрата перед насосами, керуючий вплив з регулятора даного контура має вплив і на контур зворотного холодоагента.

Аналогічно, процес регулювання температури зворотного холодоагента впливає на регулювання подавального. Дане явище виникає внаслідок того факту, що зворотній холодоагент подається на контур регулювання температури подавального холодоагента для підігріву води, що надійшла з цеху водопідготовки.

Таким чином об'єкт керування неможливо розділити на окремі контури і його потрібно розглядати як єдиний в даній системі. Тоді об'єкт матиме наступний вигляд (Рисунок 4.22).

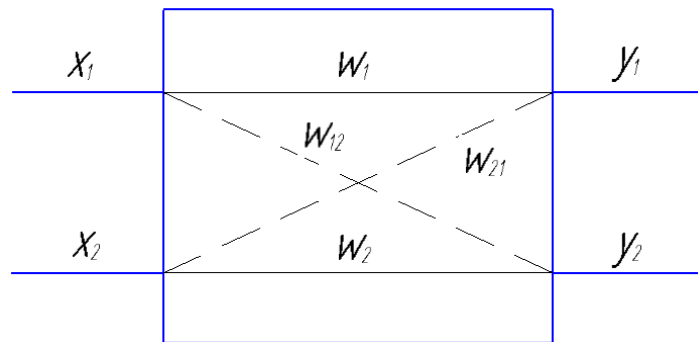


Рисунок 4.22 Схема об'єкта управління з двома вхідними та двома вихідними змінними

де x_1, x_2 – керуючі впливи; y_1, y_2 – керовані параметри; W_1, W_2 – прямі зв'язки; W_{12}, W_{21} – перехресні зв'язки.

Основою побудови систем зв'язного регулювання являється принцип автономності. Поняття, що застосовується до об'єкта з двома виходами та входами означає взаємну незалежність вихідних координат y_1 та y_2 при роботі двох замкнутих систем регулювання.

По суті, умова автономності складається з двох умов інваріантності: інваріантності першого виходу y_1 по відношенню до сигналу другого регулятора x_2 та інваріантності другого виходу y_2 по відношенню до першого регулятора x_1 .

При цьому сигнал x_1 можна розглядати як збурення для y_2 , а сигнал x_2 – як збурення для y_1 . Тоді перехресні канали грають роль каналів збурень. Для компенсації цих збурень вводять динамічні пристрої з передатковими функціями W_{21}^k та W_{12}^k , сигнали від яких поступають на відповідні канали регулювання або на входи регуляторів.

Проведемо декомпозицію завдання з урахуванням тих моментів, що окремі контури регулювання можуть розглядатись як комбіновані системи із компенсацією збурення.

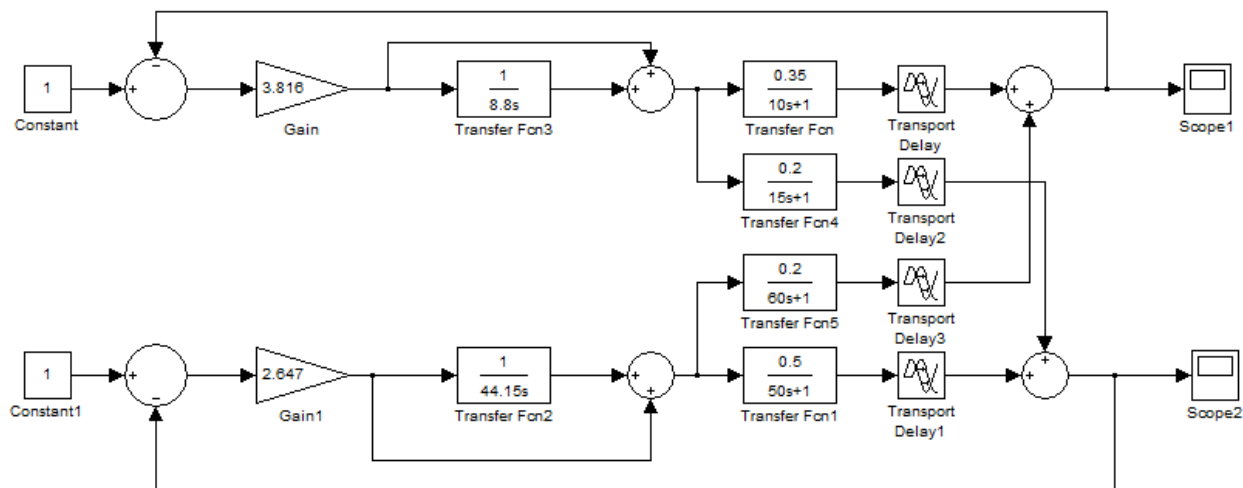


Рисунок 4.23 Система регулювання для об'єкта управління з двома вхідними та двома вихідними змінними

Побудуємо перехідні процеси в даній системі:

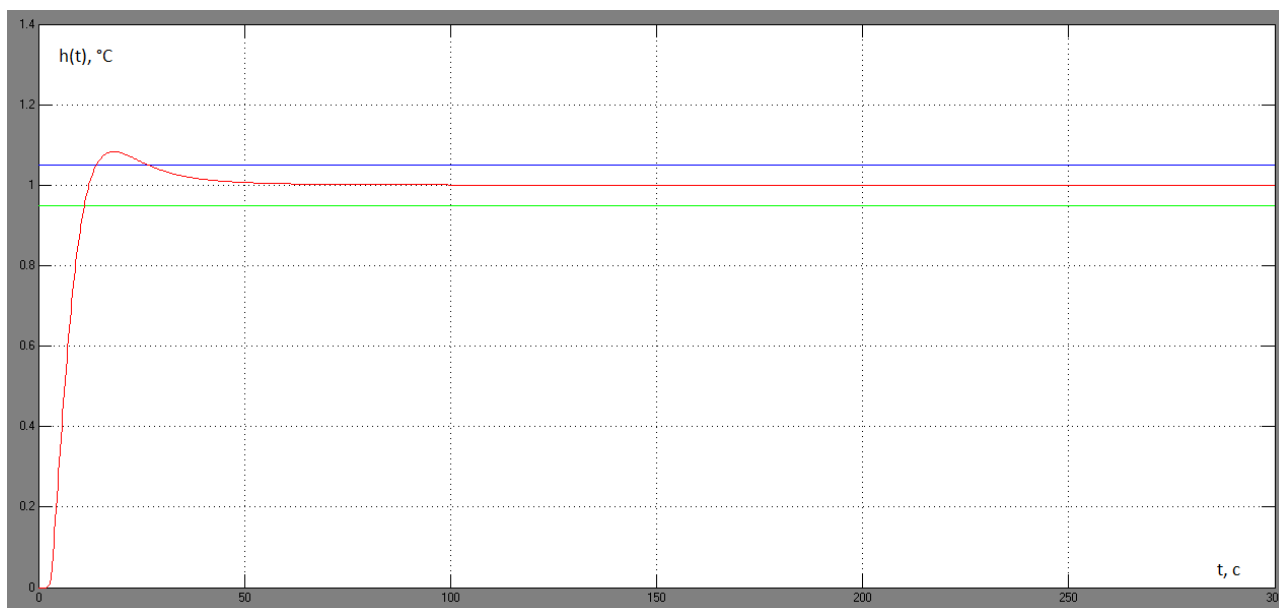


Рисунок 4.24 Перехідний процес регулювання температури подавального холодоагента по каналу «завдання-вихід»

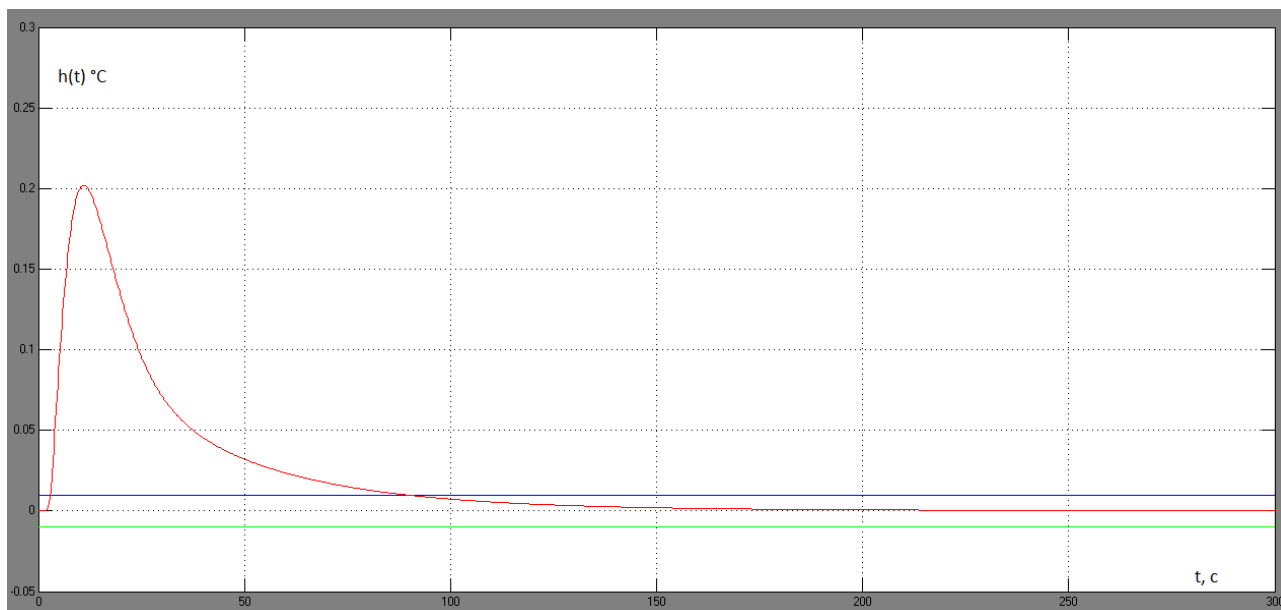


Рисунок 4.25 Перехідний процес регулювання температури подавального холодоагента по каналу «збурення-вихід»

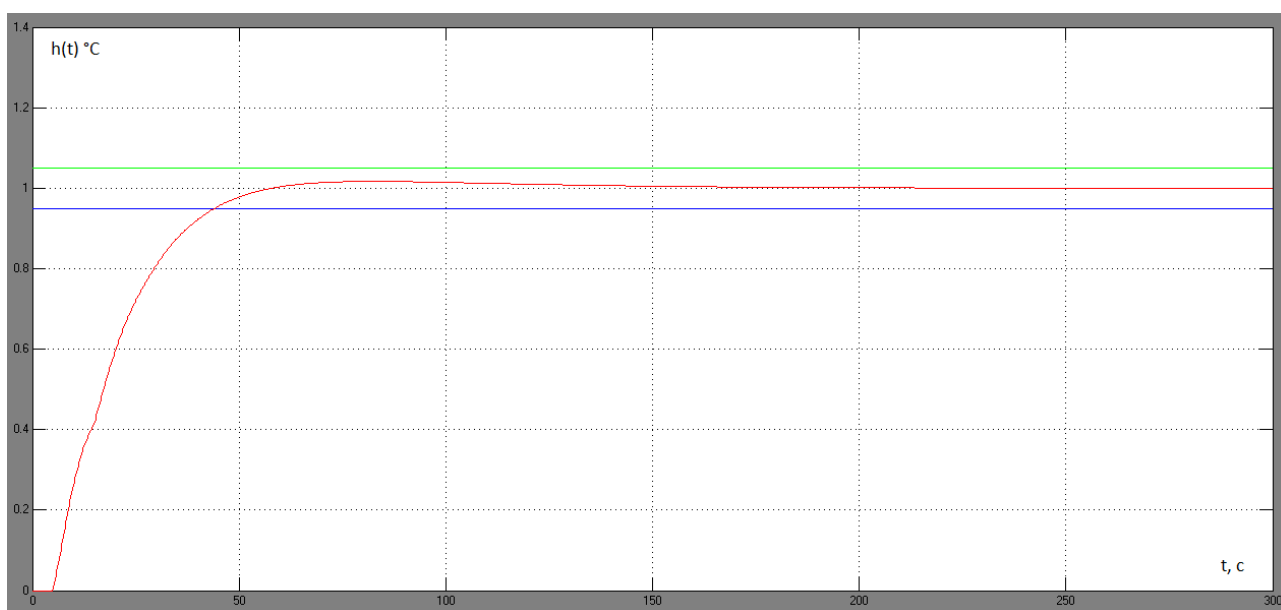


Рисунок 4.26 Перехідний процес регулювання температури зворотного холодоагента по каналу «завдання-вихід»

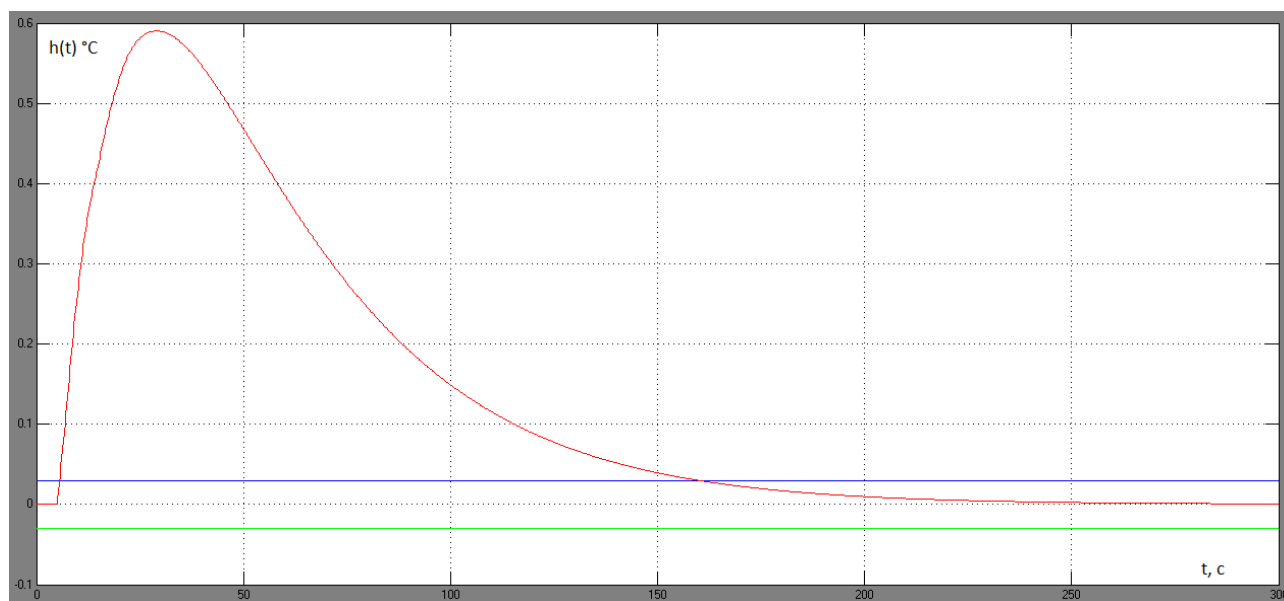


Рисунок 4.27 Перехідний процес регулювання температури зворотного холодоагента по каналу «збурення-вихід»

Визначимо прямі показники якості для вказаних перехідних процесів:

Таблиця 4.3 Прямі показники якості для перехідних процесів двомірного об'єкта без компенсаторів

Показник якості	Подавальний ХА		Зворотний ХА	
	«Завдання – вихід»	«Збурення – вихід»	«Завдання – вихід»	«Збурення – вихід»
Статична похибка				
Динамічна похибка				
Час перехідного процесу, с				
Степінь згасання				
Перерегулювання, %				

З графіків перехідних процесів видно, що температура подавального холодоагента чутливо реагує на збурюючі впливи, які надходять з контура зворотного холодоагента.

Однак температура зворотного холодоагента майже не реагує на зовнішні збурення з контуру подавального холодоагента.

Розглянемо комбіновані схеми регулювання з введеними збуреннями, які являються внутрішніми зв'язками у двомірному об'єкті.

Проведемо синтез комбінованої системи з компенсацією зовнішнього збурення. Для початку побудуємо годограф ідеального компенсатора для налаштувань регулятора, отриманих в пункті 4.2.2 методом РАФХ:

$$K_p=3.816, T_i=8.8 \quad (4.13)$$

$$W_K(p) = \frac{W_B(p)}{W_P(p) \cdot W_{OB}(p)}, \quad (4.14)$$

$$\text{де } W_B(s) = \frac{0,2 e^{-2p}}{(60p+1)} \quad (4.15)$$

Код сценарію в середовищі Matlab наведено нижче:

```
w=0.00:0.000001:0.5;
p=i*w;
Wo=(0.35*exp(-3.*p))./(10*p+1);
Wp=3.816.*(1+1./(8.8.*p));
Wv=(0.2*exp(-2.*p))./(60*p+1);
W=(Wv)./(Wo.*Wp);
Re=real(W);
Im=imag(W);
p=i*0.13;
Wos=(0.35*exp(-3.*p))./(10*p+1);
```

```

Wps=3.816.*(1+1./(8.8.*p));
Wvs=(0.2*exp(-2.*p))./(60*p+1);
Wws=(Wvs)./(Wos.*Wps);
Rep=real(Wws);
Imp=imag(Wws);
plot(Re,Im,'k-',Rep,Imp,'rp');
hold on;
xlabel('Re');
ylabel('Im');
grid on;

```

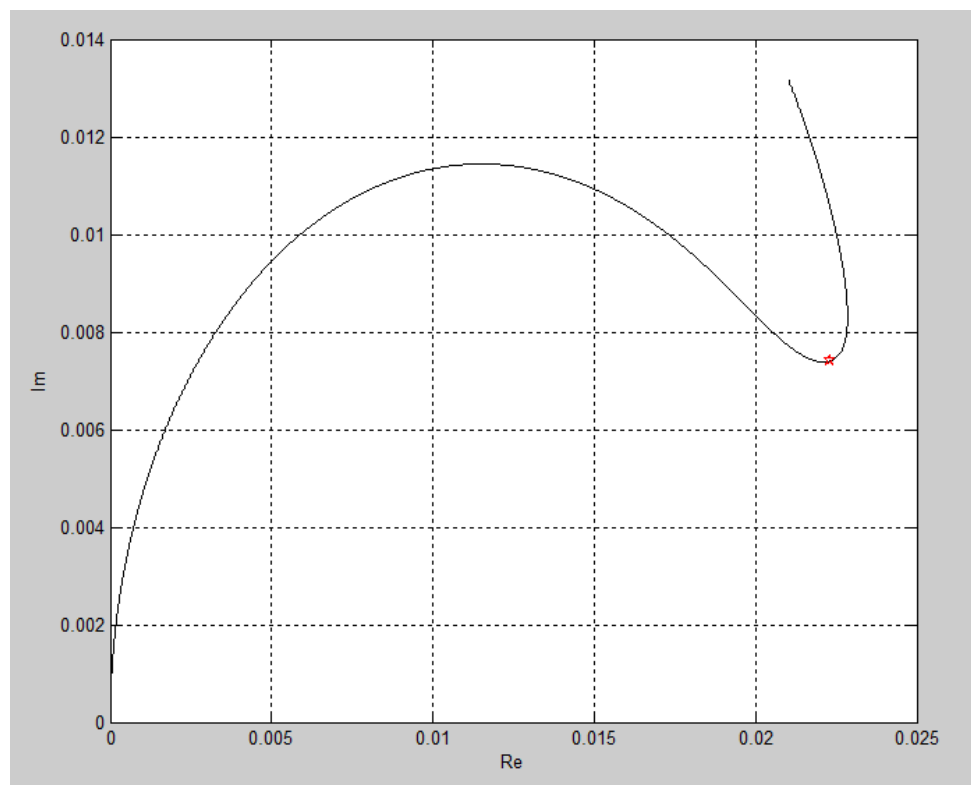


Рисунок 4.28 Годограф АФХ ідеального компенсатора з точкою на обраній частоті

Точка годографа при обраній частоті знаходиться в першій чверті. Зробимо розрахунок реального компенсатора у разі, коли компенсатор є реально-диференціюючою ланкою. Для цього необхідно побудувати коло з центром осі, яке проходить через точки $\omega = 0$, $\omega_{обр} = 0.13$.

Код сценарію в середовищі Matlab наведено нижче:

```
w=0:0.00001:0.5;

p=i*w;

Wo=(0.35*exp(-3.*p))./(10*p+1);

Wp=3.816.*(1+1./(8.8.*p));

Wv=(0.2*exp(-2.*p))./(60*p+1);

W=(Wv)./(Wo.*Wp);

Re=real(W);

Im=imag(W);

p=i*0.13;

Wos=(0.35*exp(-3.*p))./(10*p+1);

Wps=3.816.*(1+1./(8.8.*p));

Wvs=(0.2*exp(-2.*p))./(60*p+1);

Wws=(Wvs)./(Wos.*Wps);

Rep=real(Wws);

Imp=imag(Wws);

hold on;

xlabel('Re');

ylabel('Im');

grid on;

R=0.0125;
```

```

t=0:0.01:3.3
x=R*cos(t)+R
y=abs(R*sin(t));
plot(x,y,Re,Im,Rep,Imp,'r*');
xlabel('Re');
ylabel('Im');
grid on;

```

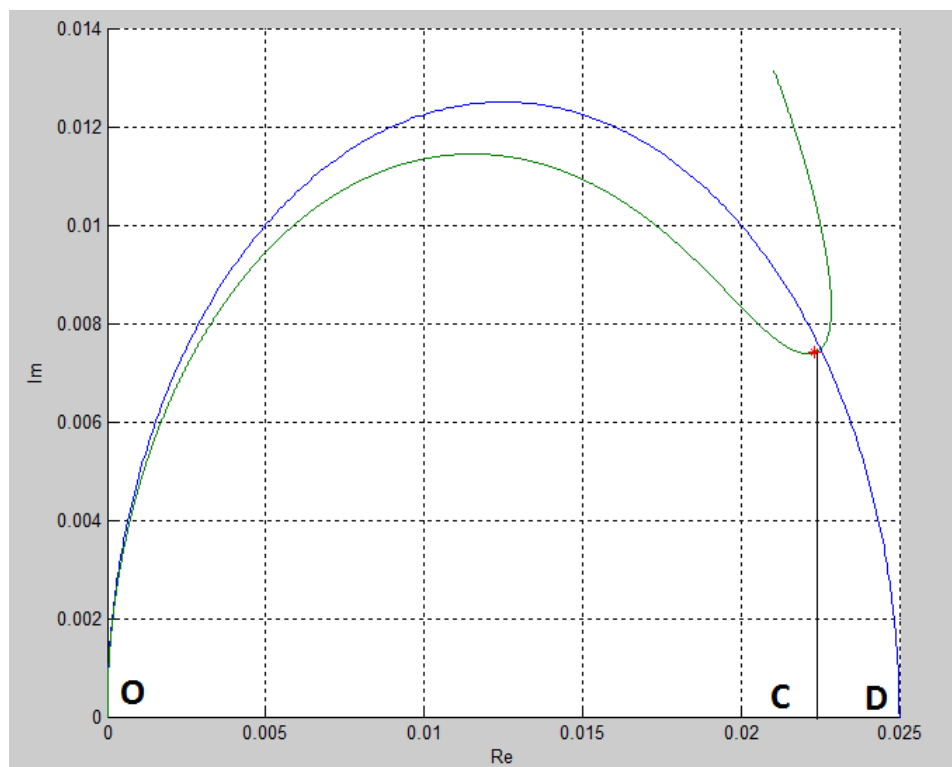


Рисунок 4.29 Годографи ідеального та РД компенсаторів

$$K=|OD|=0,025$$

(4.16)

$$T = \frac{1}{\omega_{\text{обп}}} \sqrt{\frac{|OC|}{|CD|}} \quad |OC| = 0,02251 \quad |CD| = 0,00249$$

(4.17)

$$T = \frac{1}{0,13} \sqrt{\frac{0,02251}{0,00249}} = 23,07 \quad (4.18)$$

Параметри РД-ланки:

$$K = 0,025 \quad (4.19)$$

$$T = 23,07 \quad (4.20)$$

$$W_K^{\text{РД}} = 0,025 \frac{23,07p}{23,07p+1} \quad (4.21)$$

Побудуємо систему з введенням компенсатора в контур подавального ХА:

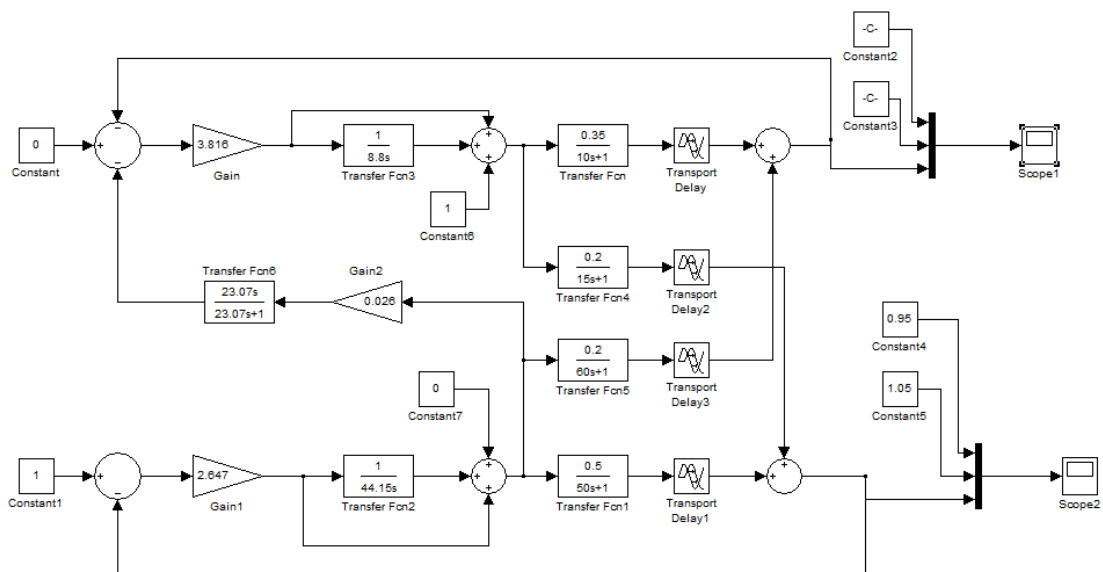


Рисунок 4.30 Система регулювання для двомірного об'єкта системи охолодження з компенсатором в контурі подавального ХА

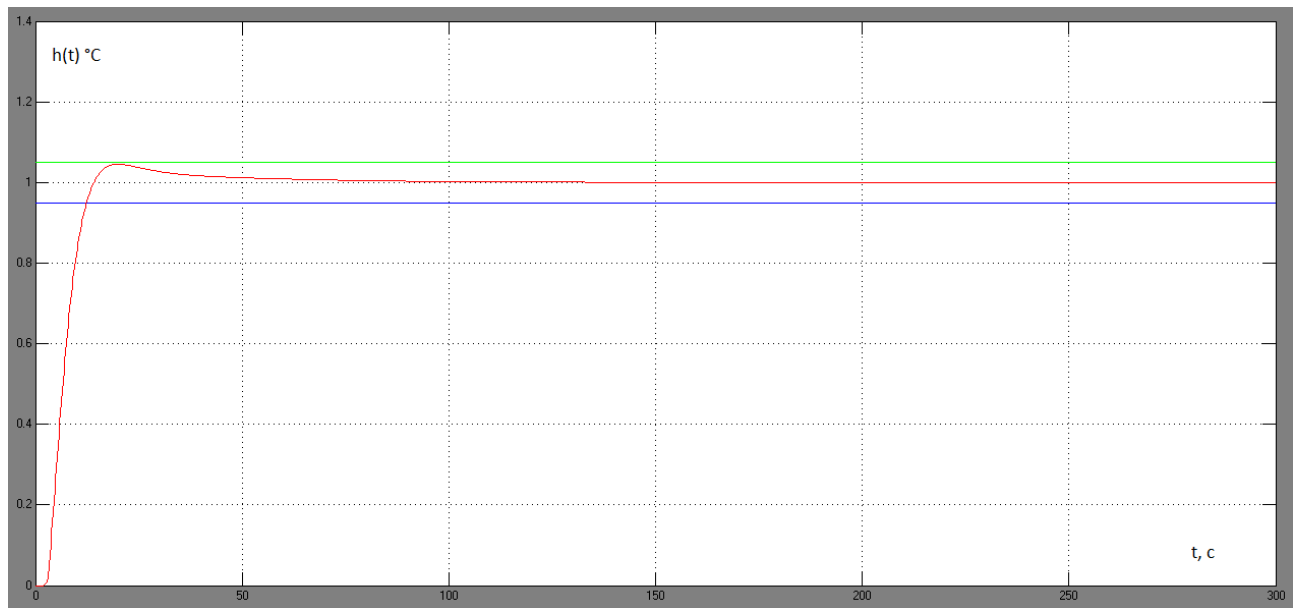


Рисунок 4.31 Перехідний процес в контурі подавального ХА по каналу «завдання-вихід» (з РДЛ компенсатором)

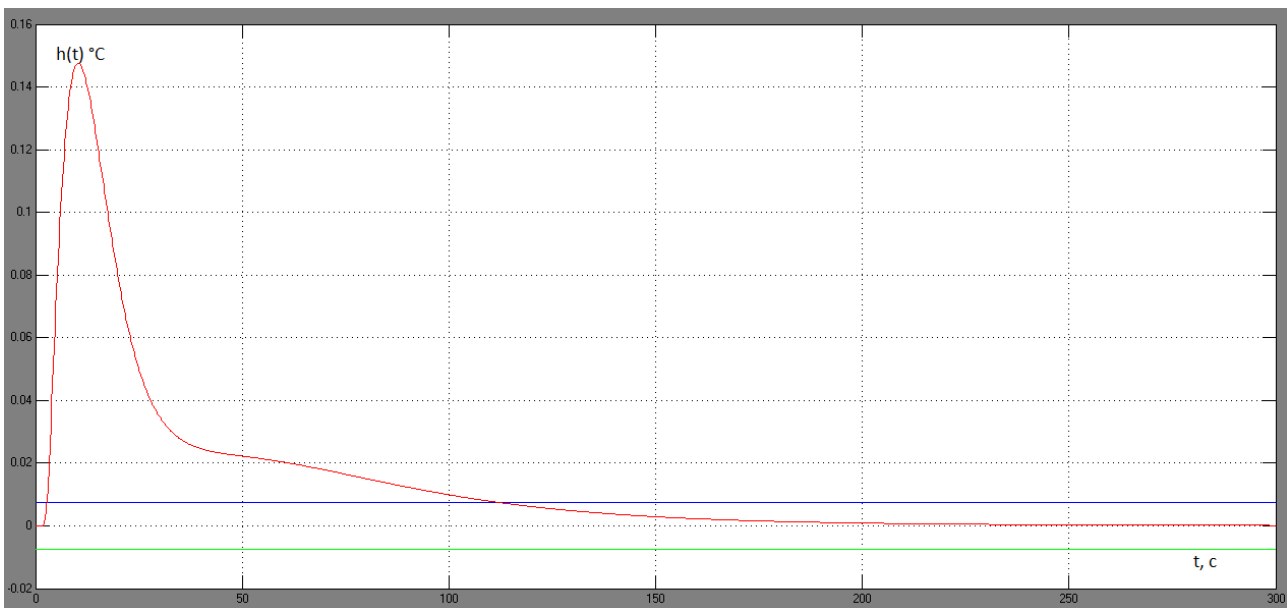


Рисунок 4.32 Перехідний процес в контурі зворотного ХА по каналу «збурення-вихід» (з РДЛ компенсатором)

Визначимо прямі показники якості для вищевказаних процесів:

Таблиця 4.4 Прямі показники якості для перехідних процесів двомірного об'єкта в контурі зворотного ХА з компенсатором

Показник якості	«Завдання – вихід»	«Збурення – вихід»
Статична похибка		
Динамічна похибка		
Час перехідного процесу, с		
Степінь затухання		
Перерегулювання, %		

Оцінивши отримані результати, можна дійти висновку, що введення РДЛ компенсатора приводить до покращення якості перехідного процесу по обом каналам. Застосуємо даний компенсатор в контурі зворотного.

Аналогічно проведемо розрахунок комбінованої системи в контурі зворотного ХА, щоб мати можливість оцінити перехідний процес з введенням компенсатора.

Для початку побудуємо годограф ідеального компенсатора для налаштувань регулятора, отриманих в пункті 4.2.2 методом РАФХ:

$$K_p=2,647, T_i=44,15 \quad (4.22)$$

$$W_K(p) = \frac{W_B(p)}{W_P(p) \cdot W_{OB}(p)}, \quad (4.23)$$

$$\text{де } W_B(s) = \frac{0,2 e^{-5p}}{(15p+1)} \quad (4.24)$$

Код сценарію в середовищі Matlab наведено нижче:

```
w=0.00:0.000001:0.08;
p=i*w;
Wo=(0.5*exp(-15.*p))./(50*p+1);
Wp=2.647.*(1+1./(44.15.*p));
Wv=(0.2*exp(-5.*p))./(15*p+1);
W=(Wv)./(Wo.*Wp);
Re=real(W);
Im=imag(W);
p=i*0.01322;
Wos=(0.5*exp(-15.*p))./(50*p+1);
Wps=2.647.*(1+1./(44.15.*p));
Wvs=(0.2*exp(-5.*p))./(15*p+1);
Wws=(Wvs)./(Wos.*Wps);
Rep=real(Wws);
Imp=imag(Wws);
plot(Re,Im,'k-',Rep,Imp,'rp');
hold on;
xlabel('Re');
ylabel('Im');
grid on;
```

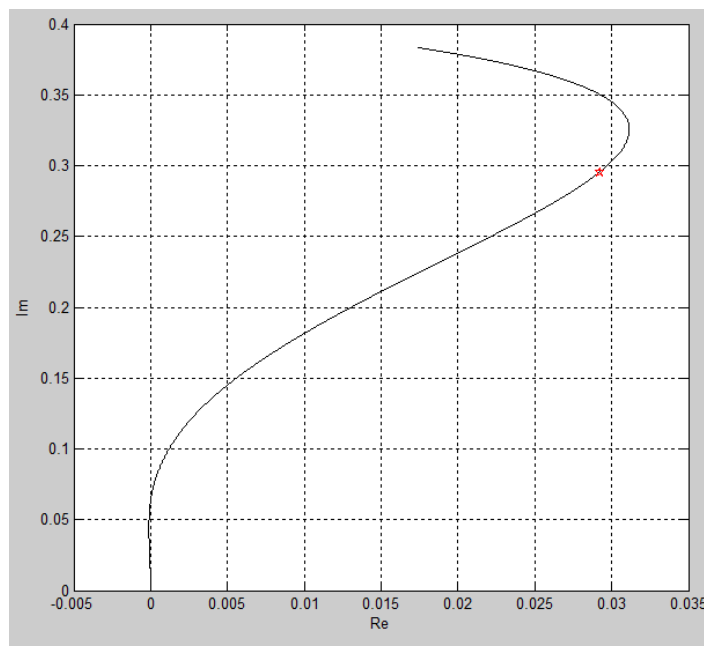


Рисунок 4.33 Годограф АФХ ідеального компенсатора з точкою на обраній частоті

Точка годографа при обраній частоті знаходиться в першій чверті. Зробимо розрахунок реального компенсатора у разі, коли компенсатор є реально-диференціюючою ланкою. Для цього необхідно побудувати коло з центром осі, яке проходить через точки $\omega = 0$, $\omega_{обр} = 0.05$.

Код сценарію в середовищі Matlab наведено нижче:

```
w=0:0.00001:0.2;
p=i*w;
Wo=(0.5*exp(-15.*p))./(50*p+1);
Wp=2.647.*(1+1./(44.15.*p));
Wv=(0.2*exp(-5.*p))./(15*p+1);
W=(Wv)./(Wo.*Wp);
Re=real(W);
Im=imag(W);
```

```
p=i*0.01322;  
Wos=(0.5*exp(-15.*p))./(50*p+1);  
Wps=2.647.*(1+1./(44.15.*p));  
Wvs=(0.2*exp(-5.*p))./(15*p+1);  
Wws=(Wvs)./(Wos.*Wps);  
Rep=real(Wws);  
Imp=imag(Wws);  
hold on;  
xlabel('Re');  
ylabel('Im');  
grid on;  
R=1.5;  
t=0:0.01:3.3  
x=R*cos(t)+R  
y=abs(R*sin(t));  
plot(x,y,Re,Im,Rep,Imp,'r*');  
xlabel('Re');  
ylabel('Im');  
grid on;
```

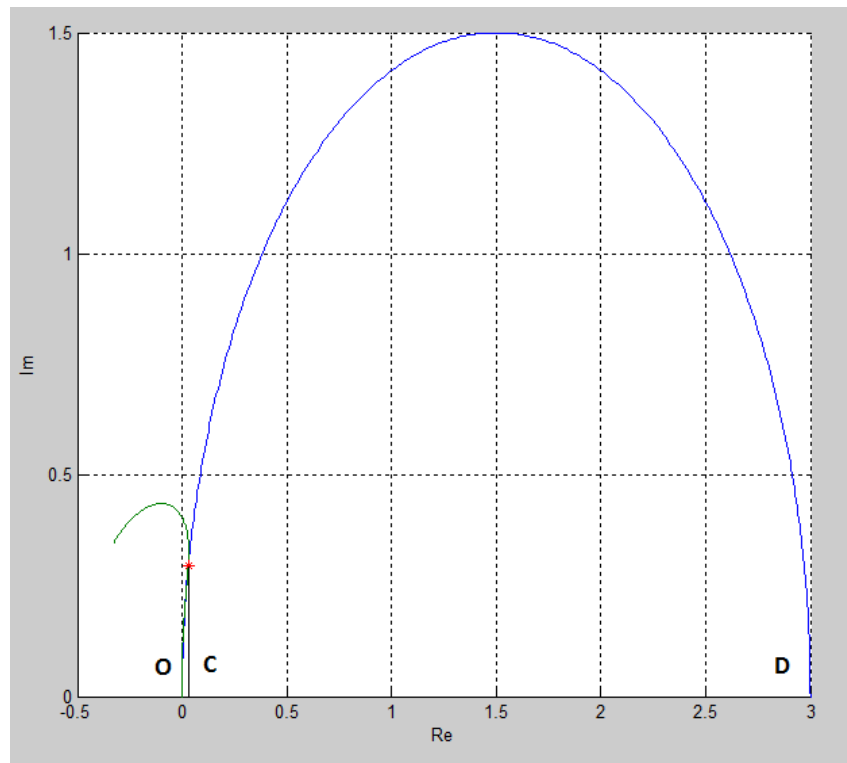


Рисунок 4.34 Годографи ідеального та РД компенсаторів

$$K = |OD| = 3 \quad (4.25)$$

$$T = \frac{1}{\omega_{обр}} \sqrt{\frac{|OC|}{|CD|}} \quad |OC| = 0,0292 \quad |CD| = 2,9708 \quad (4.26)$$

$$T = \frac{1}{0,05} \sqrt{\frac{0,0292}{2,9708}} = 1,983 \quad (4.27)$$

Параметри РД-ланки:

$$K = 3 \quad (4.28)$$

$$T = 1,983 \quad (4.29)$$

$$W_K^{РД} = 3 \frac{1,983 p}{1,983 + 1} \quad (4.30)$$

Побудуємо систему з введенням компенсатора в контур температури зворотного ХА:

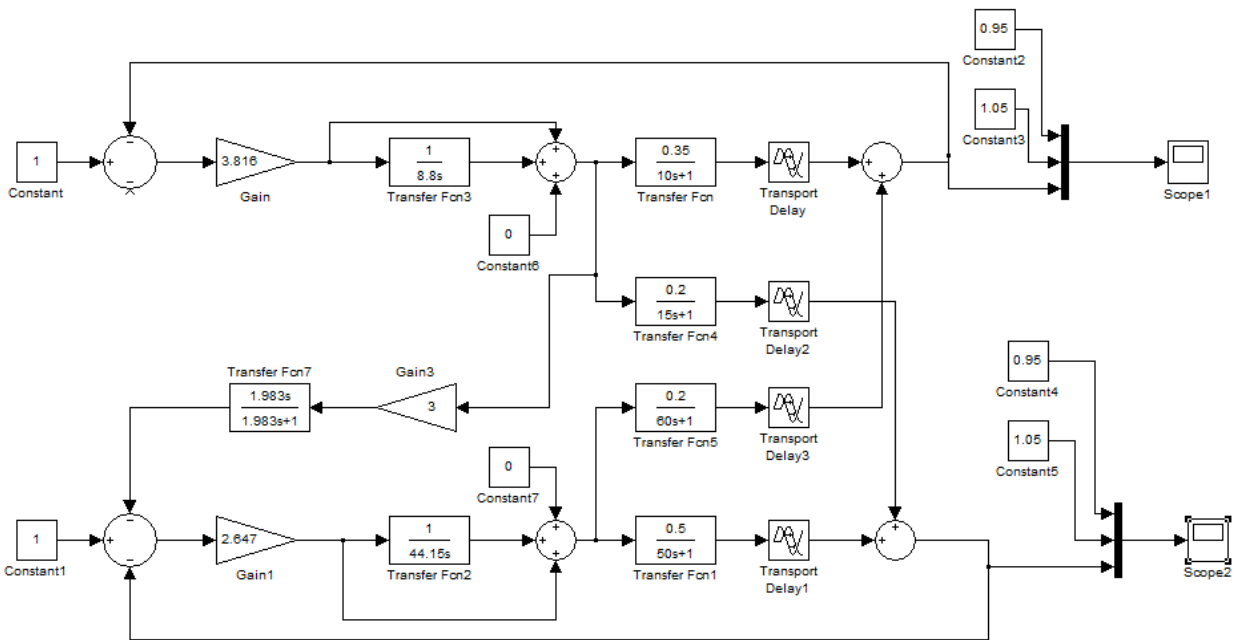


Рисунок 4.35 Система регулювання для двомірної системи охолодження з компенсатором в контурі зворотного ХА

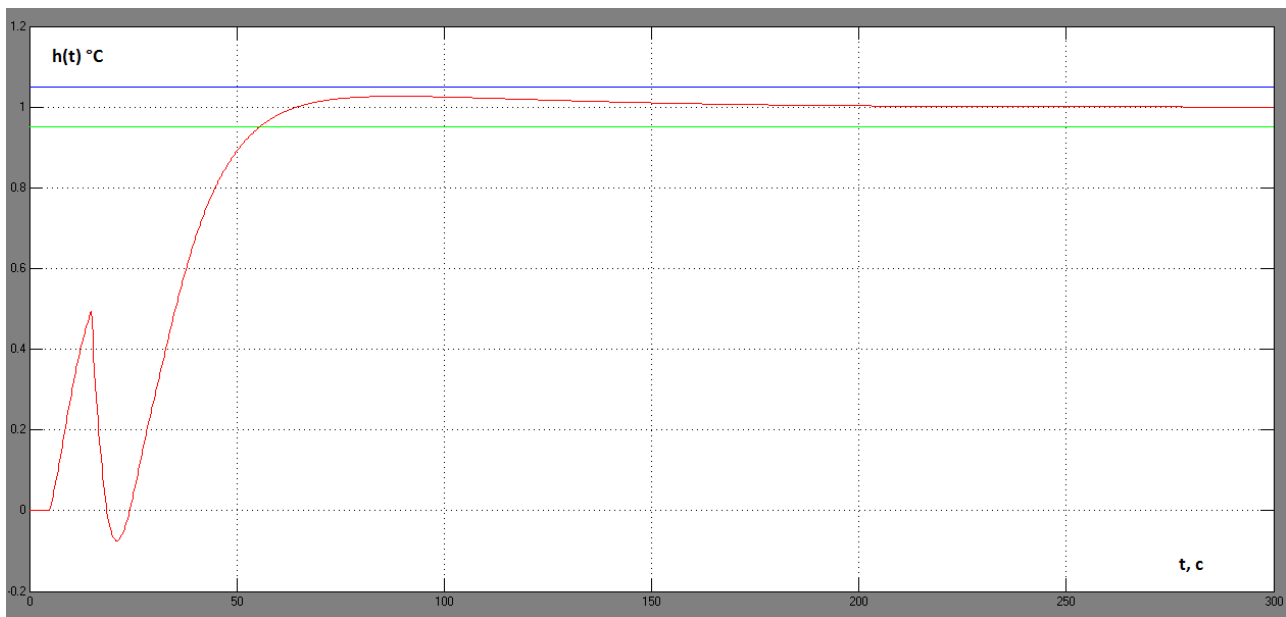


Рисунок 4.36 Перехідний процес в контурі зворотного ХА по каналу «завдання-вихід» (з РДЛ компенсатором)

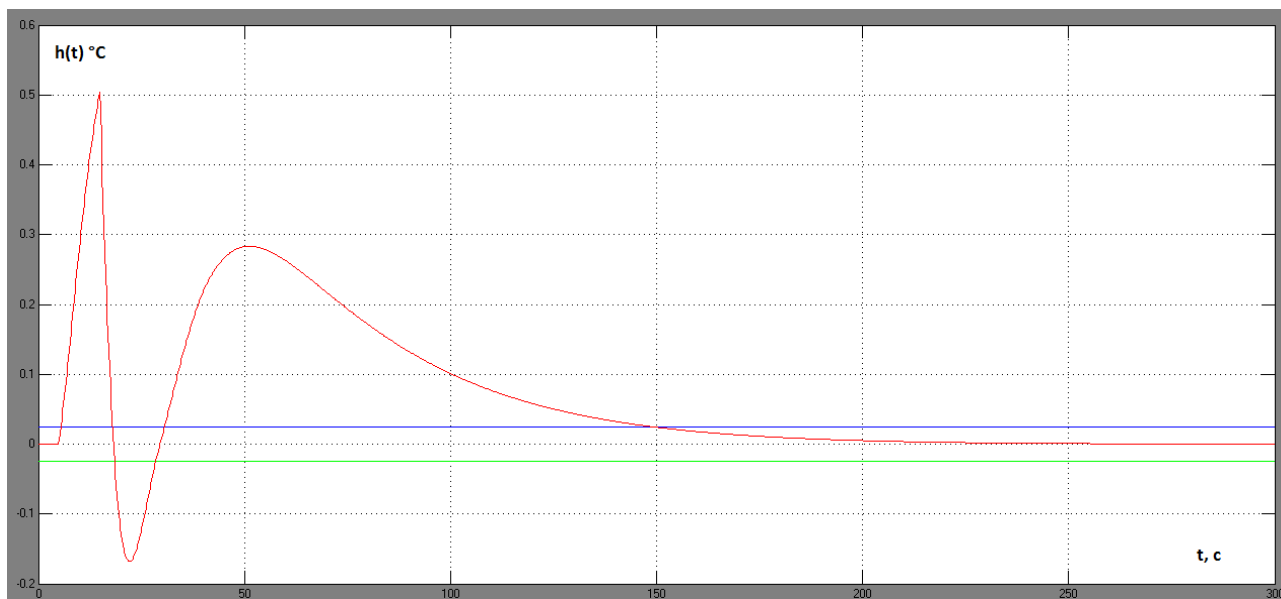


Рисунок 4.37 Перехідний процес в контурі зворотного ХА по каналу «збурення-вихід» (з РДЛ компенсатором)

Визначимо прямі показники якості для вищевказаних процесів:

Таблиця 4.5 Прямі показники якості для перехідних процесів двомірного об'єкта в контурі зворотного ХА з компенсатором

Показник якості	«Завдання – вихід»	«Збурення – вихід»
Статична похибка		
Динамічна похибка		
Час перехідного процесу, с		
Степінь затухання		
Перерегулювання, %		

4.3 Висновки до розрахункової частини

Зведемо дані до одного вигляду, щоб можна було легко проаналізувати результати розрахунків:

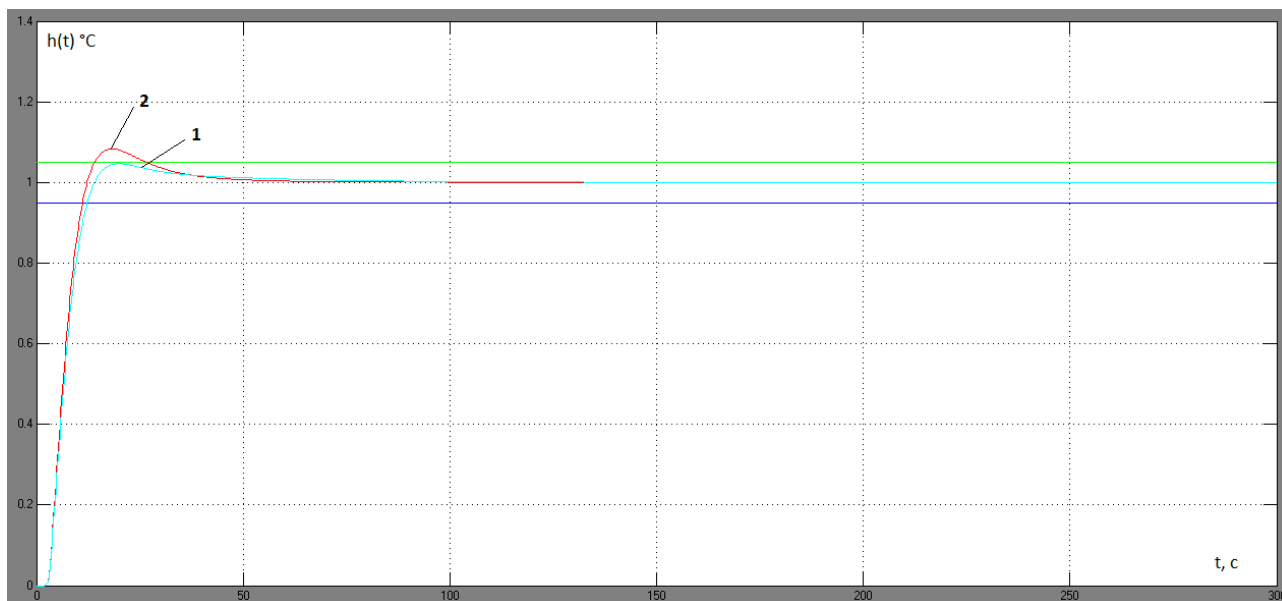


Рисунок 4.38 Перехідні процес в контурі подавального ХА по каналу «завдання-вихід»

де 1 – з РДЛ компенсатором, 2 – без компенсатора

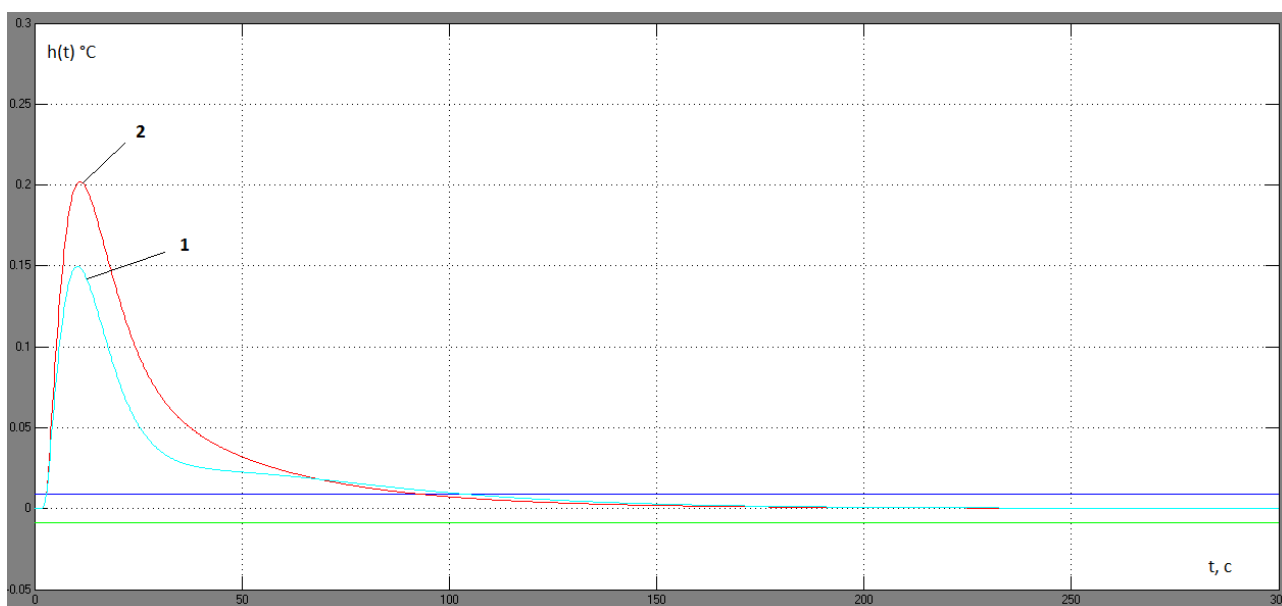


Рисунок 4.39 Перехідний процес в контурі подавального ХА по каналу «збурення-вихід»

де 1 – з РДЛ компенсатором, 2 – без компенсатора

Таблиця 4.6 Прямі показники якості для контура подавального ХА

Показник якості	З РДЛ компенсатором		Без компенсатора	
	«Завдання – вихід»	«Збурення – вихід»	«Завдання – вихід»	«Збурення – вихід»
Статична похибка				
Динамічна похибка				
Час перехідного процесу, с				
Степінь згасання				
Перерегулювання, %				

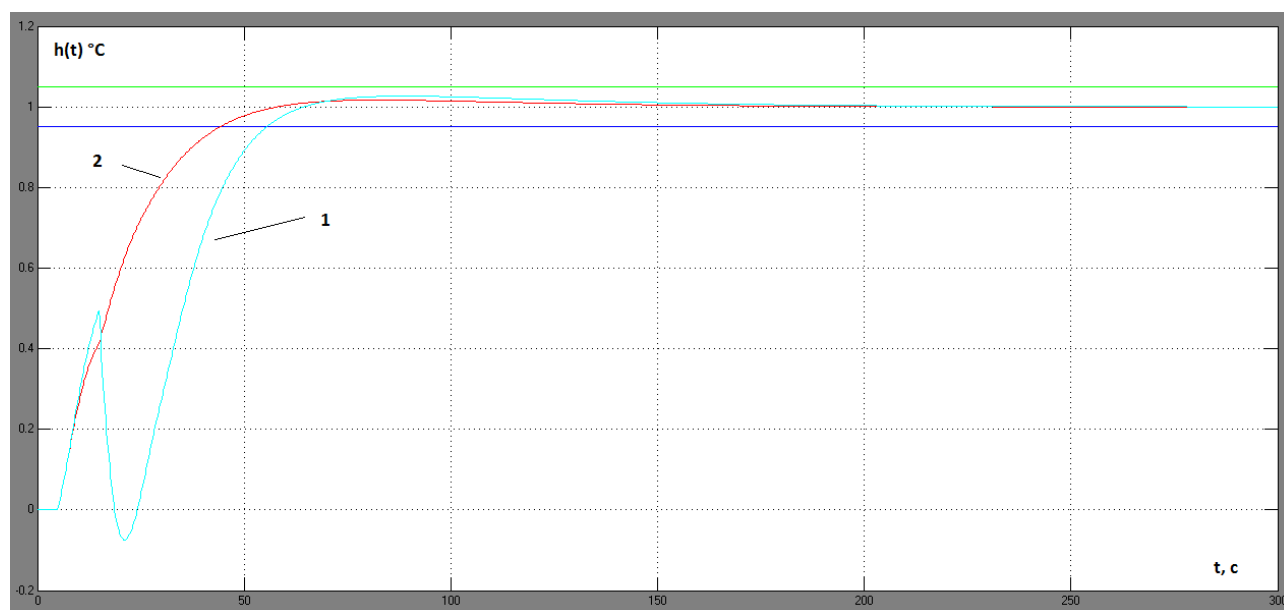


Рисунок 4.40 Перехідні процес в контурі зворотного ХА по каналу «завдання-вихід»

де 1 – з РДЛ компенсатором, 2 – без компенсатора

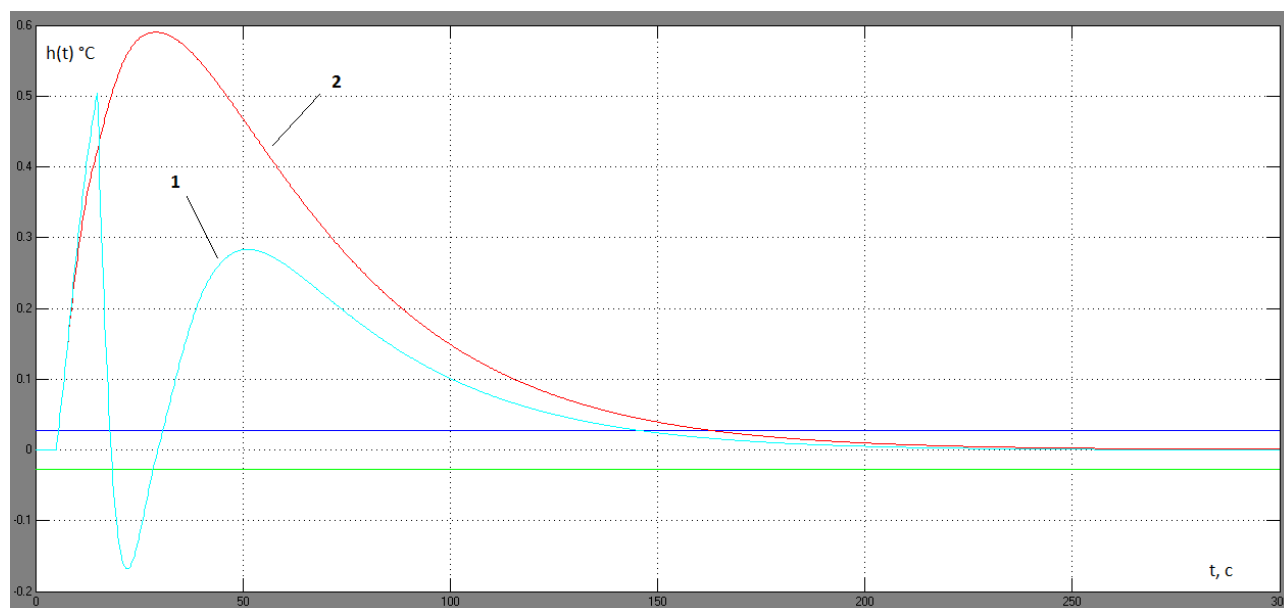


Рисунок 4.41 Перехідний процес в контурі зворотного ХА по каналу «збурення-вихід»

де 1 – з РДЛ компенсатором, 2 – без компенсатора

Таблиця 4.7 Прямі показники якості для контура зворотного ХА

Показник якості	З РДЛ компенсатором		Без компенсатора	
	«Завдання – вихід»	«Збурення – вихід»	«Завдання – вихід»	«Збурення – вихід»
Статична похибка				
Динамічна похибка				
Час перехідного процесу, с				
Степінь затухання				
Перерегулювання, %				

Провівши синтез системи з двомірним об'єктом, були проаналізовані впливи прямих та перехресних зв'язків (Рисунок 4.22). Оцінивши результати моделювання, які не задовольняли поставленим вимогам (перерегулювання не повинно бути більше

5%), було поставлено завдання застосувати нетрадиційні способи автоматичного управління.

В результаті було проведено аналіз існуючих нетрадиційних способів регулювання та було обрано метод розрахунку комбінованої системи з компенсацією зовнішнього збурення.

Після проведення розрахунків та моделювання отриманої структури системи отримано наступні результати. Для контуру подавального ХА після застосування РДЛ компенсатора було отримано перехідний процес, який задовольняє поставленим вимогам (Рисунок 4.38, Рисунок 4.39). Однак, для контуру зворотного ХА після застосування компенсатора було отримано гірший перехідний процес, ніж до розрахунків. Для даного контуру після введення компенсатора з'явилась коливальність при незмінних величинах перерегулювання.

Отже, вихідна структура системи управління двомірним об'єктом буде містити тільки компенсатор в контурі подавального ХА, як показано на Рисунку 4.30.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці – система законодавчих актів і відповідних їм соціально-економічних, технічних, санітарно-гігієнічних і організаційних заходів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я і працездатність людини в процесі праці. Вона містить в собі закон України «Про охорону праці» і різні норми, правила і ДСТУ, спрямована на дотримання санітарно-гігієнічних норм у процесі праці, виробничої санітарії на виробництві, попередження травматизму і нещасних випадків, професійних захворювань, запобігання отруєнь, опромінь, не допущення аварій, пожеж і вибухів.

Об'єктом проектування є автоматична система керування системою охолодження турбогенератора. Тобто об'єктами, що будуть розглядатися в розділі “Охорона праці”, є диспетчерська, де розміщуються робочі місця оператора та інженера АСК, та безпосередньо приміщення блоку, де встановлено турбогенератор з периферійними пристроями.

Експлуатація генераторів електричного струму пов'язана з підвищеною небезпекою для робітників, яка зумовлена наявністю або можливістю виникнення небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що за певних умов можуть негативно вплинути на організм людини. До них відносяться: підвищення температури, падіння з висоти людей, предметів, підвищення температури поверхонь устаткування; відсутність або недолік природного освітлення, недостатня освітленість робочої зони, підвищені рівні шуму, вібрації, небезпека поразки електричним струмом, фізичні та нервово-психічні перенавантаження працюючого персоналу, операторів.

В даному розділі запропоновані технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації технічного обладнання та засобів автоматизації, а також технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії, і розглянуті питання з пожежної безпеки та профілактики.

5.1 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації засобів контролю й автоматизації та технологічного обладнання

Технічними вимогами з охорони праці визначається можливість запобігання нещасних випадків і професійних захворювань. Об'єм виробничого приміщення на кожного робітника повинен складати не менше 15 м³, площа кожного приміщення не менше 4,5 м², а висота виробничого приміщення повинна бути не менше 2,8 метрів (ГОСТ 12.4.026-76).

Особлива увага звернена на розташування кнопок, органів керування, перемикачів. Вони розташовані на визначеній висоті від підлоги так, щоб оператор знаходився в момент виконання операції переключення в зручній для роботи позі. Зусилля, необхідні для включення або відключення вручну, незначні.

Стіни приміщення пофарбовані в неяскравий, малоконтрастний ясно-сірий колір, що не розсіює уваги оператора.

- всі проходи і проїзди, входи і виходи повинні бути освітлені, вільні і безпечні для руху персоналу і транспорту; захарашення проходів та проїздів або використання їх для складування вантажів забороняється;

- проходи, проїзди, переходи, а також сходи, площадки і поручні до них завжди містяться в справному стані і чистоті;

- міжповерхові перекриття, підлога, канали та приямки повинні утримуватися справними; всі отвори в підлозі огорожені; кришки і кромки люків колодязів, камер і приямків, а також перекриття каналів виконані з рифленого заліза врівень з підлогою або землею і надійно закріплені.

Для забезпечення безпечної і зручної експлуатації засобів автоматизації передбачаються наступні рішення:

- 1) передбачені безпечні, зручні по конструкції і розмірам проходи й обладнання для ведення робіт – робочі площадки (ширина вільного проходу площадок, рахуючи від виступаючих частин, що використовуються для обслуговування апаратури, контрольно-вимірювальних приладів, – 0,8 м);

2) аварійні органи керування (кнопки і вимикачі) – червоного кольору, відрізняються від інших формою, мимовільне відключення їх неможливе;

При монтажі щита передбачається спеціальний прохід між стіною і відкритими дверима відстанню не менш 0,8 м, щоб дати можливість його експлуатації.

Вимоги до обладнання [6]:

- фарбування і написи на трубопроводах повинні відповідати вимогам ГОСТ 14202-69 ;

- елементи обладнання, розташовані на висоті більше 1,3 м від рівня підлоги (робочої площадки), слід обслуговувати із стаціонарних площадок з огорожами і сходами;

- сходи і майданчики повинні бути огорожені поручнями висотою не менше 1,0 м з бортовим елементом по низу перил висотою не менше 0,14 м відповідно до ГОСТ 23120-78; відстань від рівня площадки до верхнього перекриття повинна бути не менше 2 м;

- всі пускові пристрої повинні бути пронумеровані і мати написи відповідно до технологічної схеми;

- на штурвалах засувки, вентилів і шиберів має бути вказаний напрямок обертання при відкритті або закритті їх;

- рухомі частини обладнання, до яких можливий доступ працюючих, повинні мати металеві захисні огороження;

- захисні огороження повинні бути відкидні або знімні;

- кожухи напівмуфт повинні бути виконані таким чином, щоб незакрита частина обертового вала з кожного боку була не більше 10 мм;

- обладнання, що має електропривод , повинне бути надійно заземлено.

Прилади, контролери, органи дистанційного керування виконавчими механізмами мають написи-пояснення (на них зазначений регульований чи контрольний параметр, чи який виконавчий механізм дистанційно керується).

Якщо апаратура або прилади, контролери, виконавчі механізми знаходяться в ремонті, вивішуються відповідні таблички, наприклад: «Прилад відключений, на ремонт».

5.2 Електробезпека

Живлення контролера, органів керування здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В, частотою 50 Гц через автоматичний вимикач. Згідно з ГОСТ 12.2.007.0-75 основне обладнання системи автоматизації має 01 клас електрозахисту, а датчики – 03 клас електрозахисту. Живлення підводиться до рейки затискачів і через неї розподіляється до обладнання. Рейка закрита кришкою, яка запобігає контакту людей з струмоведучими частинами. Мережа трифазна. Питання надійності електропостачання вирішується в залежності від категорії відповідальності електроприймачів. Всі прилади що використовуються відносяться до 1 категорії відповідальності, так як порушення електропостачання приводить до виникнення небезпеки для життя людей, а також до порушення складного технологічного процесу.

Для забезпечення електробезпеки впроваджуються наступні системи заходів:

1. Система заходів для запобігання електротравм від контакту з нормально струмопровідними елементами устаткування.

Проектом передбачено розміщення струмопровідних частин електрообладнання в важкодоступних для людини місцях, якщо це неможливо то використовуються захисні огорожі; освітлювальні лампи розміщені на висоті більш ніж 2,5м від підлоги.

Проектом передбачено проведення всіх електромонтажних робіт з використанням захисних засобів. Напруга живлення переносних ламп - 12 В. Передбачені засоби індивідуального захисту (діелектричні рукавиці, гумові килимки, чоботи, штанги тощо).

2. Система заходів для запобігання електротравм при переході напруги на нормально непровідні елементи електроустаткування.

При роботі електрообладнання пробій ізоляції на корпус призводить до того, що торкання до корпусу приладу чи щита розглядається як торкання до фази, що призводить до ураження електричним струмом. Проектом передбачено застосування занулення корпусів, кожухів та інших нормально непровідних частин електроапаратури. Це дозволяє перетворити будь-який пробій фази на корпус у коротке замикання, що призводить до спрацювання струмового захисту.

В диспетчерському приміщенні, проектом передбачено занулення таких електроспоживаючих приладів: металеві корпуси контрольно-вимірювальних приладів; регулюючих пристроїв; реле перепаду тиску, апарати захисту, управління, сигналізації; корпуси електродвигунів виконавчих механізмів та електропривода засувки; металевий щит на якому встановлено електроприлади, апарати та інші засоби автоматизації; металеві оболонки контрольних та силових кабелів; металорукави, сталеві труби електропроводок, протяжні та з'єднувальні коробки; стаціонарні металеві огорожі відкритих струмопровідних частин електроустаткування; електроінструмент (згідно з ГОСТ12.1.019-79).

Для реалізації системи електрозахисних заходів використовуються електрозахисні переносні засоби та перевізні вироби для захисту робітників від дії струму електричної дуги або електромагнітного поля.

Перелік застосованих засобів захисту регламентується [ДНАОП 1.1.10-1.07-01].

Для захисту обслуговуючого персоналу використовуються колективні (попереджувачі плакати та написи), індивідуальні (рукавиці та окуляри), ізолюючі (спеціальний одяг та взуття), огорожувальні (переносні екрани, огорожі) та захисні (каска, пояс, рукавиці) засоби електрозахисту.

5.3 Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії

Виробнича санітарія – один з важливих розділів охорони праці – забезпечує здорові умови праці персоналу, чистоту повітря, робочої зони, зменшення шкідливого впливу виробничих шумів та випромінювань, комфортні умови для повноцінної праці людині. Об'єктом розробки цього проекту є система охолодження, а саме автоматизація її роботи. Це означає, що безпосередньо біля працюючого устаткування немає постійних робочих місць, а керування технологічним процесом відбувається із диспетчерської, де розташоване місце оператора. У зв'язку з цим вимоги з виробничої санітарії розглядаються як для основного виробничого приміщення енергоблоку, так і для приміщень постійного перебування персоналу.

В цьому розділі розглядаються такі основні виробничі фактори:

- мікроклімат робочої зони;

- виробничі випромінювання;
- виробничий шум;
- повітрообмін і вентиляція.

5.3.1 Мікроклімат робочі зони

Відповідно ДСН 3.3.6.042-99 під мікрокліматом виробничих приміщень розуміють клімат їх внутрішнього середовища, який визначається діючими на організм людини температурою, вологістю, швидкістю руху повітря та тепловим випромінюванням.

Для того, щоб досягти та підтримати параметри мікроклімату на оптимальному або допустимому рівні здійснюється природня і штучна вентиляція та опалення приміщень.

Вентиляція енергоблоку – природня, здійснюється за рахунок різниці температур в середині та ззовні приміщення, повітря надходить через віконні прорізи і фрамуги, а видаляється через витяжні труби.

Система вентиляції сприяє асиміляції тепловиділень та розбавленню шкідливостей до граничнодопустимих концентрацій та підтримує у приміщеннях температуру, яка відповідає вимогам ДСН 3.3.6.042-99;

Опалення в приміщенні енергоблоку здійснюється за допомогою тепла, яке виділяється з поверхонь теплогенеруючих установок (котли, парогенератори).

Диспетчерська повинна забезпечуватися оптимальними параметрами мікроклімату. Температура повітря повинна бути в холодний період року від 22 до 24 °С, теплий період року – від 23 до 25 °С. Відносна вологість повітря на постійних робочих місцях повинна становити 40-60%, швидкість руху повітря повинна бути 0,1 м / с. Для підвищення вологості повітря в приміщеннях слід застосовувати зволожувачі повітря.

5.3.2 Виробничі випромінювання

При роботі енергоблоку виникає теплове випромінювання але через невисокі параметри теплоносія та самої установки, цим випромінюванням можна знехтувати і

не застосовувати спеціальних засобів захисту від підвищеного тепловипромінювання.

5.3.3 Виробничий шум

В самому енергоблоці, основними джерелами шуму є сам турбогенератор та циркуляційні насоси. Шум від турбогенератора не є значним, так як сама установка має малі габарити, а циркуляційні насоси, марки Wilo-VeroLine-IPL на сухому роторі, не перевищують 70 дБА, що є допустимим відповідно до ДСН – 3.3.6.037-99.

У виробничих приміщеннях при виконанні основних і допоміжних робіт з використанням ПЕОМ рівень шуму на робочих місцях не повинні перевищувати гранично допустимих значень, встановлених для даних видів робіт відповідно до діючих санітарно-епідеміологічних нормативів.

Друкарське устаткування, що є джерелом шуму, слід встановлювати на спеціальній поверхні автономного робочого місця користувача. Якщо рівні шуму від друкуючого обладнання перевищують нормовані, воно має бути розташоване поза приміщенням з ПК. Приміщення для виконання основної роботи з ПК не повинні бути розташовані поряд (суміжно) з виробничими приміщеннями з підвищеним рівнем шуму (майстерні, виробничі цехи і т.д.).

При виконанні основної роботи на моніторах і ПЕОМ (диспетчерські, операторські, зали обчислювальної техніки і т.д.), де працюють інженерно-технічні працівники, рівень шуму не повинен перевищувати 60 дБА, у

приміщеннях операторів ЕОМ (без дисплеїв) – 65 дБА, на робочих місцях у приміщеннях, де розміщуються гучні агрегати обчислювальних машин - 75 дБА.

5.3.4 Повітрообмін і вентиляція

Завданням промислової вентиляції є створення на виробництві нормальних метеорологічних і гігієнічних умов за рахунок якісного та своєчасного видалення шкідливих газів, пилу, парів, вологи і тепловиділень. За способом переміщення повітря вентиляція буває природною і штучною. Для організації природної вентиляції в енергоблоці передбачені витяжні труби. Щоб посилити природну вентиляцію у виробничих приміщеннях встановлюють витяжні труби з дефлекторами на 1,5-2м вище

гребня даху в зоні ефективної дії вітру. Вітер, що обтікає дефлектор створює знижений порівняно з атмосферним тиск, внаслідок чого по витяжній трубі вгору рухається повітря з приміщення й видаляється у навколишнє середовище.

Для диспетчерської, позитивним показником повітрообміну і вентиляції є іонний склад повітря, який повинен містити наступну кількість негативних і позитивних аероіонів: мінімально необхідний рівень 600 і 400 іонів в 1 см^3 повітря; оптимальний рівень 3000- 5000 і 1 500-3 000 в 1 см^3 повітря; максимально допустимий – 50000 іонів в 1 см^3 повітря.

Проведення контролю аероіонного складу повітря приміщень слід здійснювати безпосередньо на робочих місцях в зонах дихання персоналу. Якщо в результаті контролю аероіонного складу повітря виявляється його невідповідність нормованим показникам, рекомендується здійснення його нормалізації.

5.4 Пожежна безпека та профілактика

На об'єкті передбачається комплекс заходів, які передбачають як профілактику, так і спеціальні системи для знаходження й гасіння пожежі ГОСТ 12.4.026-76.

Протипожежна профілактика забезпечується дотриманням норм і правил пожежної безпеки.

Будівля, в якій розташований енергоблок, має ступінь вогнестійкості – II, так як в ній знаходяться несучі стіни з мінімальною межею вогнестійкості 2 год., поширення вогню по них не допускається.

Кількість вогнегасників відповідає ДСТУ 3675-98, а час евакуації не може перевищувати 20 хв від початку евакуації згідно ДБНВ.1.1-007-2002 та СніП 2.01.02-85. При гасінні пожеж і загорянь застосовуються вогнегасники типу ОХП-10, ОУ-7. До всіх засобів пожежогасіння повинен бути забезпечений вільний доступ. Паління дозволяється тільки у спеціально відведених місцях.

Відповідно до «Інструкції із проектування протипожежного захисту енергетичних підприємств» РД 34.49.101-84 і СніП 2.04.09-84 «Протипожежна автоматика будинків і споруджень» в будівлі передбачений протипожежний водопровід. При гасінні пожеж та загорянь застосовується вода пожежо-господарська, при повному

знятті напруги на діючому обладнанні та електромережі, а також пісок і азботканина. Пісок зберігається в спеціальних ящиках у пожежних щитах. Пожежні щити розташовані на кожній позначці цеху та укомплектовані згідно штатного розкладу.

На підприємстві з робітниками і службовцями проводять обов'язковий протипожежний інструктаж.

В робочий приміщеннях виконані усі вимоги НАПБ А.01.001-2004 «Правила пожежної безпеки».

6 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Вступ

Відповідно до теми магістерської дисертації «Автоматизація системи охолодження турбогенератора ТВФ-125-2У3», в даному розділі буде проведено маркетинговий аналіз технологічних рішень.

Застосування впроваджених технологічних рішень дає можливість збільшення терміну експлуатації турбогенератора та зменшення ролі людини у процесі керування процесом охолодження.

6.1 Опис ідеї проекту

В межах даного пункту буде проведено аналіз:

- змісту ідеї;
- можливих напрямків застосування;
- основні вигоди, що може отримати користувач товару;
- чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників.

Результати аналізу приведені в таблиці 6.1.

Аналіз потенційних переваг за окремими техніко-економічними характеристиками ідеї наведено в таблиці 6.2.

З наведеної вище таблиці можна зробити висновки про конкурентоспроможність ідеї проекту, особливими перевагами якої є низька вартість продукту у порівнянні з конкурентами та високі показники якості.

Таблиця 6.1 Зміст ідеї проекту

Зміст ідеї	Напрями застосування	Вигоди для користувачів
Автоматичне регулювання процесом охолодження газу в турбогенераторах з безпосереднім водневим охолодженням	Впровадження в підприємствах, що спеціалізуються на генерації електричної енергії (ТЕС, ТЕЦ, АЕС, тощо)	Зменшення впливу операторського персоналу в процес експлуатації турбогенератора

Приведення охолоджуючої води до необхідних параметрів перед подачею в систему охолодження		Запобігання виникнення шкідливих умов роботи турбогенератора
---	--	--

Таблиця 6.2 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	Ідея проекту
	Витрати на розробку продукту	Слабка сторона
	Зменшення людських ресурсів	Сильна сторона
	Збільшення терміну експлуатації продукту	Сильна сторона
	Довгий термін розробки продукту	Слабка сторона

6.1.1 Кошторис витрат на модернізацію системи

Кошторис витрат на встановлення додаткового устаткування системи охолодження наведено у таблиці 6.3

Таблиця 6.3 Кошторис витрат на розробку модулю

Стаття витрат	Сума, грн
Капітальні вкладення на реконструкцію	
Вартість будівельно-монтажних робіт	
Вартість устаткування	
Інші витрати	

Повна вартість розробки модулю складає 1475159 гривень.

6.2 Ключові види діяльності проекту

6.2.1 Характер інновації та спрямованість проекту

Завдяки технологічним рішенням система проводить неперервний процес охолодження генераторної установки з можливим ручним керуванням людиною.

Холодоагент з необхідними параметрами, що подається в систему охолодження, дозволяє звести до мінімуму негативний вплив конденсату на елементи газоохолоджувачів турбогенератора.

Таблиця 6.5 Основні бізнес-процеси проекту

Група процесів	Бізнес-процес	Ступінь реалізації бізнес процесу	
		Реалізовано	Буде реалізовано
Розробка продукції	Розробка АСУТП		
Обслуговування споживача	Підтримка споживача за рахунок людино-машинного інтерфейсу		

6.2.2 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Таблиця 6.6 Попередня характеристика потенційного ринку стартап- проекту

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
	Кількість головних гравців	необмежена
	Динаміка ринку (якісна оцінка)	стагнує
	Наявність обмежень для входу	потрібні додаткові сертифікації обладнання перед встановленням
	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	наявні

За результатом аналізу таблиці можна зробити висновок, що даний ринок, за попередньою оцінкою є привабливим для входження.

До потенційної групи клієнтів входять вітчизняні та зарубіжні електростанції. За результатом аналізу таблиці можна зробити висновок, що даний ринок, за попередньою оцінкою є привабливим для входження.

У таблицях 6.7-6.9 проводиться аналіз ринкового середовища: фактори, що сприяють ринковому впровадженню проекту та фактори, що перешкоджають цьому.

Таблиця 6.7 Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози
	Можливі зміни законодавства	Ускладнення процедури розробки звітів з обґрунтування безпеки
	Відмова від теплової енергетики	Зменшення кількості потенційних споживачів

Таблиця 6.8 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Виконання вимог держави щодо підтвердження безпеки експлуатації електростанцій	Вітчизняні електростанції	Приверженість роботи постійними постачальниками	Швидкість виконання роботи; Якість виконання роботи (низька кількість зауважень від регуляторів)
		Західні електростанції	Високий рівень вимог до проведення робіт з оцінки безпеки	

Таблиця 6.9 Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості
	Створення нових об'єктів енергетики	Збільшення кількості споживачів продукту

У таблиці 6.10 подано дані на основі проведеного аналізу пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку.

Таблиця 6.10 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
Тип конкуренції – чиста	Конкуренція на засадах відкритих тендерів	Відповідність пропозиції умовам замовників
Рівень конкурентної	Можливе застосування на всіх електростанціях	Розвиток міжнародної

боротьби – міжнаціональ- ний		співпраці
Галузева ознака – внутріш- ньогалузева	Продукт пропонується лише в межах галузі промисловості	Відсутній
За характером конкурентних переваг – цінова	Переможець тендерів обира- ється за найнижчою ціною	Потреба в скоро- ченнях витрат та отримання можли- вості участі у вели- кій кількості тендерів

Детальніший аналіз умов конкуренції в галузі проводиться за моделлю 5 сил М. Портера наведено в таблиці 6.11.

Таблиця 6.11 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Прямі конкуренти в галузі	КІЕП
Потенційні конкуренти	компанія що займається розробкою систем охолодження турбогенераторів
Постачальники	Наша компанія є єдиним постачальником продукту на ринок
Клієнти	Отримують послуги лише за допомогою тендерів, істотно не впливають на виконавців замовлення
Товари-замінники	Відсутні

Відповідно до наведеного вище аналізу можна зробити висновки, що істотний вплив мають лише прямі конкуренти, через свої матеріальні накопичення.

Відсутній вплив клієнтів та товарів-замінників, поява нових потенційних постачальників подібного продукту малоімовірна.

На основі представленого аналізу конкуренції, характеристик ідеї проекту, вимог споживачів до товару та факторів маркетингового середовища визначаємо перелік факторів конкурентоспроможності у таблиці 6.12.

Таблиця 6.12 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
Ціна	Ціна є вирішальним фактором для перемоги в тендерних закупівлях
Науково-технічний	Науково-технічний рівень підприємства та персоналу дає можливість приймати участь у більш широкому колі тендерів

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) наведено у таблиці 6.13.

Таблиця 6.13 SWOT-аналіз проекту

<p>Сильні сторони (S):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Зменшення впливу людини в технологічному процесі; - Постійне вдосконалення наявних способів регулювання; - Збільшення довготривалості роботи устаткування. 	<p>Слабкі сторони (W):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ціна; - Затрати на реконструкцію системи охолодження; - Затрати на підтримку клієнтів; - Вимоги проходження державних сертифікацій.
<p>Можливості (O):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Перспективи вдосконалення математичних методів в області ТАУ; - Розширення ринку збуту на міжнародний рівень. 	<p>Загрози (T):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Конкуренція на ринку; - Незначний попит на ринку; - Поширення альтернативних систем; - Зменшення кількості об'єктів промисловості; - Можливі зміни законодавства.

6.3 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів наведено у таблиці 6.14.

Таблиця 6.14 Вибір цільових груп потенційних споживачів

Цільова група	Готовність споживачів сприймати продукт	Попит	Інтенсивність конкуренції	Складність входу
Електростанції України	Так	Високий	Низька	Низька
Електростанції інших країн	Ні	Високий	Висока	Висока
Обрано групу: Електростанції України				

Виходячи з даного аналізу цільових груп споживачів обрано групу – Електростанції України (стратегія концентрованого маркетингу).

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку – таблиця 6.15.

Таблиця 6.15 Визначення базової стратегії розвитку

Стратегія охоплення ринку	Мета	Базова стратегія розвитку
Концентрований маркетинг	Задоволення потреб обраного цільового сегменту	Стратегія спеціалізації

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки, який наведений в таблиці 6.16.

Таблиця 6.16 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Так	Забирати існуючих конкурентів	Лише способи охолодження турбогенераторів	Стратегія ліберального витратах

6.3.1 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 6.17 потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 6.17 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода	Переваги
Безпека експлуатації електростанцій	Можливість експлуатації електростанцій	Більш надійна система ніж у конкурентів

Таблиця 6.18 Визначення меж встановлення ціни

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Тендерні закупівлі	Розробка продукту і постачання до клієнту	Відсутня	Відсутня

Беручи до уваги дані приведені в таблицях цього пункту можна сформуванати маркетингову програму продукту:

- продукт задовольняє потребу споживача у підвищенні рівня безпеки на електростанціях;
- цільова група споживачів має достатні доходи для придбання продукту;
- оптимальна система збуту – прямі продажі (продукт купується в системі тендерних закупівель).

Висновки до розділу

На основі проведеного вище аналізу можна зробити узагальнені висновки:

- Ринкова комерціалізація проекту високо ймовірна, але не гарантована через низьку динаміку ринку.
- Наявні дві потенційні групи клієнтів.
- Конкуренція на ринку чиста.
- Подальша імплементація даного проекту є доцільною.

ВИСНОВКИ

В даній магістерській дисертації було поставлено за мету розробити систему автоматичного управління системою охолодження турбогенератора ТВФ-125-2У3. В ході виконання роботи було досліджено технологічний об'єкт управління, знайдено його передаточні функції та досліджено перехідну характеристику.

Було спроектовано АСР температури подавального ХА в ГО системи охолодження, а також температури зворотного ХА з ГО. Функції контролю, індикації, сигналізації та регулювання були реалізовані за допомогою контролера Siemens S7-300. Був проведений розрахунок точності вимірювальних каналів, і за результатами розрахунків спроектовані канали повністю задовольняють поставленим вимогам.

Розрахунки параметрів налаштувань регуляторів, які реалізують ПІ-закон регулювання, було проведено наступним чином: інженерним аперіодичним методом та методом РАФХ розраховувались налаштування регуляторів одноконтурних незалежних систем. Після цього проводились розрахунки для моделі, яка відповідає більш реальним умовам. Модель представляє собою двомірний об'єкт, у якому окрім прямих зв'язків існують перехресні, які впливають на прямі канали в якості зовнішніх збурень. В результаті синтезу системи для даного об'єкта було отримано налаштування компенсаторів збурень, які являлись РД ланкою та проведено якісну оцінку перехідних процесів всередині об'єкта. Налаштування отримані методом РАФХ, так як даний метод дозволяє задаватись ступенем коливальності, що дало змогу отримати аперіодичний перехідний процес. В результаті розрахунків компенсатор в контурі зворотного ХА приводив до погіршення перехідного процесу, а при його відсутності – процес задовольняє вимоги, тому в остаточній системі регулювання двомірним об'єктом компенсатор вводиться тільки для контуру подавального ХА. Для подальшого використання обрано такі налаштування компенсатора:

$$K_{к.р} = 0,025 \frac{^{\circ}C}{\% \text{ ходу } PO}, T_{i.к} = 23,07с$$

Також були розроблені розділи з питань охорони праці та стартап-проект.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Повышение эффективности эксплуатации турбогенераторов. / Ю.И. Азбукин – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 80 с., ил. – (Б-ка электромонтера; Вып. 554).
2. Теория автоматического управления и регулирования. – 2-е изд. / Г.Ф. Зайцев; перераб. и доп. – К.: Выща шк. Головное изд-во. 1989. – 431 с
3. ГОСТ 12.2.003-74 ССБТ. Обладнання виробниче. Загальні вимоги безпеки.
4. СНиП 2.01.02-85. Будівельні норми та правила. Протипожежні норми проектування будинків.
5. СН 245-71. Будівельні норми. Санітарні норми проектування промислових підприємств.
6. ГОСТ 12.1.009-79 ССБТ. Електробезпека.
7. ДБН В.2.5-13-98. Протипожежна автоматика будинків і споруджень.
8. ГОСТ 12.1.005-91 ССБТ. Повітря робочої зони. Загальні санітарно-технічні вимоги.
9. СНиП 2.04.05-86. Опалення, вентиляція та кондиціонування повітря.
10. ДБН В.2.5-22-2006. Природне та штучне освітлення. Норми проектування.
11. Батюк С.Г. Довідковий посібник з комплексного інженерного розрахунку промислових САР в курсовому і дипломному проектуванні.-К.: НТУУ КПІ 2003.
12. Батюк С.Г. Конспект лекцій «Сучасні технології програмування».-К.: НТУУ КПІ 2015-2016.
13. Ковриго Ю.М. «Конспект лекцій з теорії автоматичного управління», 2014-2015.
14. Любицький С.В. Конспект лекцій з ідентифікації об'єктів керування. 2014-2015.