

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою АВП
к.т.н., доцент
_____ О.К. Дідик
« ____ » _____ 2023 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:

«Система підігріву поверхневого шару відкритої ділянки ґрунту»

«The system of heating the surface layer of an open area of the soil»

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ЕС-19
спеціальності 141 «Енергетика та автоматика
аграрного комплексу»
_____ С.О. Дятлов
« ____ » _____ 2023 р.

Керівник роботи
доц, канд.техн.наук
_____ І.А. Березюк
« ____ » _____ 2023 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Призначення та область застосування системи регулювання температури поверхневого шару відкритої земельної ділянки.....	6
1.1 Формування вимог користувача до системи регулювання температури поверхневого шару відкритої земельної ділянки.....	6
1.2 Призначення системи регулювання температури поверхневого шару відкритої земельної ділянки.....	6
1.3 Розробка концепції системи регулювання температури поверхневого шару відкритої земельної ділянки.....	8
2 Огляд існуючих рішень та обґрунтування прийнятого принципу побудови виробу.....	10
2.1 Вплив температури в моделі штучного підігріву ґрунту.....	10
2.2 Дослідження впливу взаємодії ФАР і крапельного поливу на приріст зеленої маси.....	14
2.3 Огляд засобів підтримування температури ґрунту.....	17
2.4 Обґрунтування вибору мікроконтролера.....	27
2.5 Обґрунтування вибору засобів індикації.....	31
2.6 Опис котельної установки.....	31
3 Опис та обґрунтування обраних проектних рішень автоматизації процесу регулювання температури газону футбольного поля.....	34
3.1 Опис функцій, які виконує система регулювання температури поверхневого шару відкритої земельної ділянки.....	34
3.2 Вибір варіанта структури системи регулювання температури поверхневого шару відкритої земельної ділянки.....	34
3.3 Вибір закону регулювання температури.....	35
3.3.1 Регулювання типу "Ввімкнено-вимкнено".....	36
3.3.2 Пропорційний регулятор.....	37

3.3.3 Пропорційно-інтегральний регулятор.....	39
3.3.4 Пропорціонально-інтегрально-диференціальний регулятор.....	40
3.3.5 Нечітка логіка.....	41
3.4 Розробка схем електричних принципів реалізації системи регулювання температури поверхневого шару відкритої земельної ділянки.....	42
4 Розрахунки та експериментальні матеріали, що підтверджують працездатність виробу.....	44
4.1 Рівняння елементів системи.....	44
4.2 Будова, принцип регулювання та принцип дії САР.....	45
4.3 Функціональна схема САР.....	46
4.4. Структурна схема САР.....	46
4.5 Визначення передаточних функцій розімкнутої та замкнутої систем та характеристичного рівняння.....	48
4.6 Побудова АФЧХ, ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкнутої системи.....	48
4.6.1 Побудова АФЧХ розімкнутої системи.....	48
4.6.2 Побудова ЛАЧХ розімкнутої системи.....	49
4.6.3 Побудова ЛФЧХ розімкнутої системи.....	50
4.7 Побудова дійсної частотної характеристики замкнутої системи.....	51
4.8 Визначення стійкості замкнутої системи і запасів стійкості. Побудова області стійкості.....	52
4.8.1 Дослідження системи на стійкість та визначення запасів стійкості за модулем і фазою за допомогою частотного критерію Найквіста-Михайлова.....	52
4.8.2 Дослідження системи на стійкість та визначення області стійкості за методом D-розбиття в площині одного параметра.....	53
4.9 Оцінка якості регулювання замкнутої САР по ЛАЧХ розімкнутої системи.....	54

4.10 Побудова перехідного процесу замкнутої системи.....	55
4.11 Визначення прямих показників якості САР.....	56
4.12 Побудова бажаної ЛАЧХ розімкнутої оптимальної за швидкодією системи по вимогам, які пред'явлені до неї.....	56
4.13 Синтез коректуючого пристрою САР за логарифмічними частотними характеристиками.....	59
4.14 Побудова кривої перехідного процесу синтезованої САР.....	60
4.15 Визначення прямих показників якості синтезованої САР.....	61
5 Опис організації робіт, що пов'язані із застосуванням системи регулювання температури поверхневого шару відкритої земельної ділянки.....	62
5.1 Загальні вимоги при монтажі.....	62
5.2 Монтаж кабельних трас.....	63
5.3 Монтаж трубних трас.....	64
5.4 Налагоджування системи автоматичного регулювання температури газону.....	65
Висновки.....	66
Перелік скорочень, символів та спеціальних термінів.....	68
Список літератури.....	69

ВСТУП

З кожним роком на стадіонах все більша увага приділяється якісному підтримуванню стану газону, який залежить від мікроклімату ґрунту. Правильно вибрана технологія підтримки мікроклімату - одна з найважливіших складових, що дозволяють підвищити якість газону. А ефективне використання енергоресурсів – додаткова можливість істотно зменшити економічні витрати стадіону.

В даний час ведеться активна модернізація стадіонів, пов'язана з підвищенням кількості виконавчих систем: модернізація і установка систем зашторювання, поділ контурів підігріву, установка систем освітлювання. І чим більше виконавчих систем має стадіонне господарство, тим важливіше для нього вибір критерію, що визначає стратегію підтримки мікроклімату. Одним з найбільш популярних критеріїв управління є економія теплоресурсів. У даному випадку доцільніше активно використовувати нижні контури обігріву, тому що вони менше всього віддають тепла зовнішньому середовищу. Інший підхід до вибору критерію передбачає підтримку температури у точках росту вище, ніж біля коріння рослин газону і передбачає активне використання верхніх контурів обігріву. Ще один критерій управління ґрунтується на тому, що нижній контур повинен підтримувати в кореневій зоні постійну температуру, оптимум, і лише при вичерпаних ресурсах інших виконавчих систем відхилятися від нього.

Однією з основних характеристик системи управління є її надійність. Тому в якості апаратно-технічної бази системи, яку необхідно розробити, слід вибрати контролер, який містить сучасні засоби захисту від збоїв: копію основних параметрів роботи системи в незалежній пам'яті, засіб захисту від зависань і т.д. Крім контролера автоматизована система управління підігріву газону стадіону повинна включати в себе набір датчиків для вимірювання температури ґрунту. Для передачі керуючих впливів на виконавчі механізми система повинна включати в себе блок релейного комутації з можливістю ручного управління.

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ВІДКРИТОЇ ЗЕМЕЛЬНОЇ ДІЛЯНКИ

1.1 Формування вимог користувача до системи регулювання температури поверхневого шару відкритої земельної ділянки

Система повинна відповідати таким основним вимогам:

- мати зрозумілий алгоритм керування, що не вимагає особливих знань і навичок обслуговуючого персоналу стадіону;
- не повинна пред'являти особливих вимог до конструкції дренажу газону і максимально від неї не залежати;
- повинна бути максимально простою і недорогою;
- мати можливість переналаштовування мікроклімату під ту чи іншу вирощувану культуру;
- забезпечувати надійну і стійку роботу всіх елементів системи.

1.2 Призначення системи регулювання температури поверхневого шару відкритої земельної ділянки

Розроблювана система повинна забезпечувати контроль температури газону поля. В системі рідинного підігріву розміщення труб під газоном визначається видом газону (натуральний або штучний) і умовами їх прокладки. Глибина закладення під газон і відстань між трубами розраховується по конструктивних схемах і характеристикам шарів поля. Прокладка труб підігріву на діючому натуральному футбольному полі виробляється шляхом прорізування лучки та їх протягання спеціальним самохідним пристроєм.

Необхідно передбачити можливість модернізації системи з метою розширення її функцій, зокрема можливості введення функції контролю вологості ґрунту. В системі необхідно забезпечити зручне управління мікрокліматом ґрунту

та можливість встановлювати різні типи мікроклімату ґрунту для вирощування різних видів культур насаджень газону.

Система створюється з метою забезпечення точного дотримання умов вирощування культур насаджень газону для підвищення якості покриття. Впровадження такої системи дозволить автоматизувати операцію підігріву, що не вимагає безпосередньої участі людини у забезпеченні необхідної температури ґрунту, а також забезпечить стеження за зміною мікроклімату для захисту насаджень від несприятливих факторів (різка зміна температур, посуха).

При включенні системи здійснюється аналіз поточних кліматичних показників. В режимі установки параметрів роботи вибирається тип вирощуваного насаджень покриття газону, в режимі підігріву газону формується керуючий вплив на нагрівальний елемент, коли температура шару ґрунту нижче рекомендованої. Також в системі має бути забезпечений режим індикації температури.

В процесі роботи системи використовується наступна інформація: значення фактичної температури ґрунту, значення фактичної вологості ґрунту, встановлені значення температури для обраного покриття газону, встановлені значення вологості для обраного режиму роботи, сигнали індикації температури газону. В результаті опрацювання вказаної інформації система повинна сформувати сигнали на виконавчі пристрої для нагріву.

При експлуатації система повинна задовольняти ряду вимог, зокрема:

- вимоги по електроживленню - живлення системи має здійснюватися від мережі 220 В;
- система не повинна споживати багато енергії;
- бажано було б передбачити роботу елементів системи в «сплячому» режимі;
- елементи системи повинні бути захищені від агресивних кліматичних впливів середовища.

Система повинна задовольняти наступні вимоги до метрологічного забезпечення:

- діапазон вимірюваних температур: від 0 ° C до +50 ° C;
- точність індикації: ± 1 ° C;
- похибка вимірювань: ± 1 ° C;
- вимірювання здійснювати неперервно

Крім того необхідно передбачити можливість вбудовування системи в будь-яких умовах розташування стадіону, забезпечити централізований принцип управління, простоту і зручність у використанні. При реалізації необхідно забезпечити використання сучасної елементної бази.

1.3 Розробка концепції системи регулювання температури поверхневого шару відкритої земельної ділянки

Після першого включення системи проводиться вибір вирощуваного покриття насадження. Далі зчитується температура, виводиться на індикатор, аналізується. У разі необхідності – здійснюється її коригування (включення нагрівача), а у випадку розширення функціональних можливостей системи зчитується вологість, аналізується і приймається рішення про необхідність поливу.

Кожен режим характеризується своїми параметрами, представленими в табл. 1.1 [1].

Таблиця 1.1 Характеристики трав для насаджень газонів стадіону

Назва трав	Швидкість укорінення	Густина травостою	Зимостійкість	Опірність до спеки	Опірність до витолочення	Витривалість до низької стрижки	Оптимальні температури ґрунту, °С
Райграс	5	3	2	1	5	2	15-17,2
Мятлик	1	4	5	4	4	3	12,7-22,7
Мятлик повзучий «Спартак»	3	5	4	3	5	5	6,8-17,2
Овсяниця червона	3	4	4	3	3	4	12,7-22
Овсяниця тросникоподібна	2	3	3	5	4	2	12,7-20
Полевиця	1	5	5	4	2	5	26-28

При перерві між спортивними змаганнями (серіями матчів) більше 14 днів, режим роботи теплообмінників встановлюють на "економний". Температура теплоносія (розчину, гліколю) на виході з теплових труб не повинна опускатися нижче +3°C. Управління обігрівом спортивного газону оператор здійснює як вручну, змінюючи роботу, узгоджуючи з календарем проведення змагань, так і автоматично при встановленні додаткових датчиків і приладів. Перепад температури теплоносія (водного розчину гліколю) призводить до лінійного розширення або стиснення теплових труб на довжині спортивного газону (довжина, кожної теплової труби становить 112 м). У цьому випадку залежно від точки заземлення теплової труби, ділянки труб або подовжуються, або коротшають. Різницю лінійних подовжень теплових труб компенсують або зменшенням діаметра D компенсатора на кінцях труб, або збільшенням (зменшенням) довжини криволінійних дуг. Постановка, компенсаторів на кінцях теплових труб, а також послідовне з'єднання кінців паралельних суміжних теплових труб з розподільними трубопроводами і складальними трубопроводами забезпечує збільшення їх терміну експлуатації до 50 років.

2 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТОГО ПРИНЦИПУ ПОБУДОВИ ВИРОБУ

2.1 Вплив температури в моделі штучного підігріву ґрунту

Одним із найбільш важливих факторів, які впливають на урожайність рослин являється температура повітря і ґрунту. Як і овочеві, газонні культури в різні періоди свого зростання вимагають не однакових температурних умов для розвитку. У зв'язку з слабкою кореневою системою молоді рослини вимагають меншу температуру і більшу опроміненість, так як інтенсивність дихання із підвищенням температури підвищується. Диференціація нічних температур має також велике значення при підвищенні врожайності і приросту зеленої маси. Для нормального розвитку рослин різниця нічних і денних температур повинна складати не більше 3-8 градусів.

Дуже важливим являється також необхідність вірно підтримувати температуру ґрунту. Підвищення температури ґрунту підсилює приріст зеленої маси. Це може мати як позитивний так і негативний ефект. Якщо ґрунт підігрівається при вирощуванні ранніх культур, то при недостатній освітленості ріст рослин підвищується і порушується рівновага між величиною стебла рослини і її квітками. В такому випадку отримують сильну підземну частину рослини – кореневу систему і досить ранній розвиток плодів, але загальний врожай знижується (для овочевих).

Підвищена сонячна радіація підвищує температуру за межі оптимуму, що призводить до втрати життєстійкості пилку рослин, опіки плодів і листя та змінює їх колір.

Дослідження взаємного впливу мікроклімату ґрунту газону і інтенсивності фізіологічно-активної радіації проводилося як в експериментальному так і в теоретичному напрямках. Для того, щоб прогнозувати і робити розрахунки найбільш оптимального співвідношення між ними, звичайно, в параметрах отриманих теоретичних функціональних залежностей враховують результати експериментальних і виробничих досліджень.

Дослідження штучного опромінення рослин, що були виконані за останні роки дають достатню кількість експериментальних даних для аналізу температурної залежності швидкості фотосинтезу. В результаті такого аналізу можна вважати, що ця залежність має екстремальний характер, а її оптимум підвищується із збільшенням до насичуючих значень опроміненості. Апроксимація таких експериментальних досліджень показує, що залежність оптимальної температури від опроміненості має хоча і лінійну але трьохчленну функціональну залежність.

Для практичного використання така лінійна залежність являється досить складною і трудозатратною. Подальший аналіз зв'язку температури ґрунту і інтенсивності опромінення в межах до насичуючих значень опроміненості як апроксимуючу функцію можна використати і показникову.

На рис. 2.1 представлена залежність швидкості фотосинтезу в початковий період розвитку рослин (1) від температури повітря і фітоопроміненості (E), яка була отримана Свентіцьким І.І., а на рис. 2.2 показані точки її максимальних значень та графік апроксимуючої функції.

Вважаючи, що залежність швидкості фотосинтезу (1) від опроміненості показникова, можна записати

$$dM/dt = C \cdot E^a, \quad (2.1)$$

де dM – елементарна фітомаса, яка утворена за проміжок часу;

C – коефіцієнт пропорційності;

E – опроміненість;

a – показник ступеню.

Після інтегрування виразу (2.1) отримаємо вираз для накопиченої фітомаси

$$M = C \cdot E \cdot at. \quad (2.2)$$

Відсутність показника ступеня при t означає, що в такому випадку для усіх варіантів при однаковому часі вирощування та оптимальній температурі M залежить тільки від опроміненості E

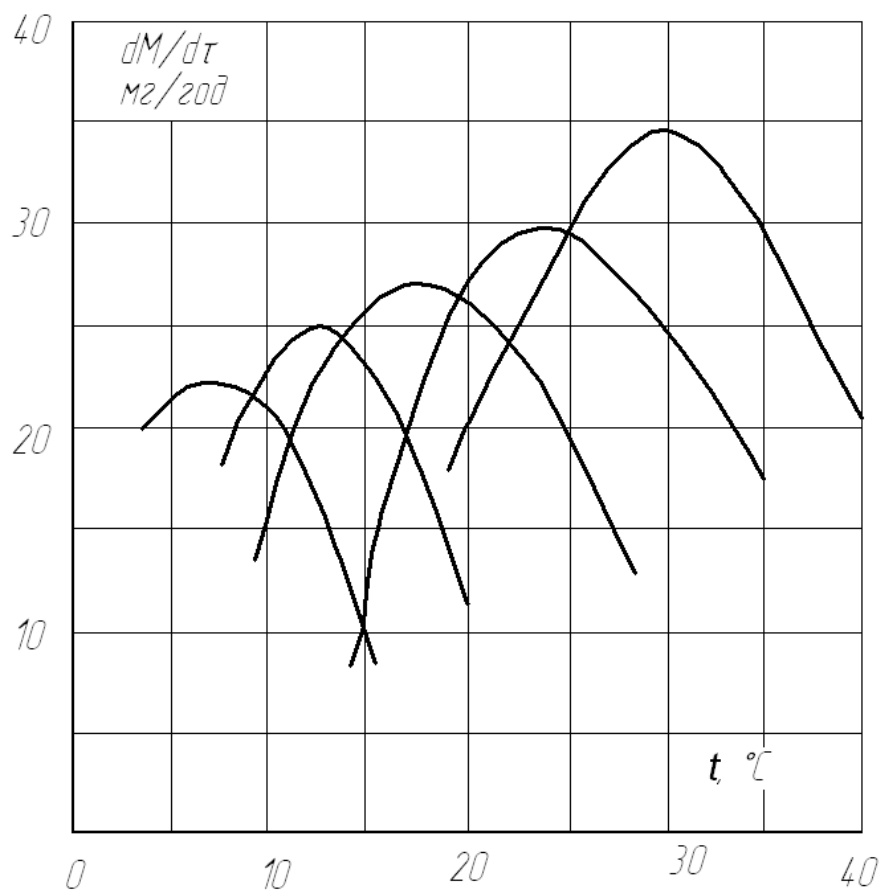


Рисунок 2.1 – Залежність швидкості фотосинтеза від температури і фітоопроміненості E :
 1 – 4 $\text{фг}/\text{м}^2$; 2 – 8 $\text{фг}/\text{м}^2$; 3 – 12 $\text{фг}/\text{м}^2$; 4 – 18 $\text{фг}/\text{м}^2$; 5 – 25 $\text{фг}/\text{м}^2$

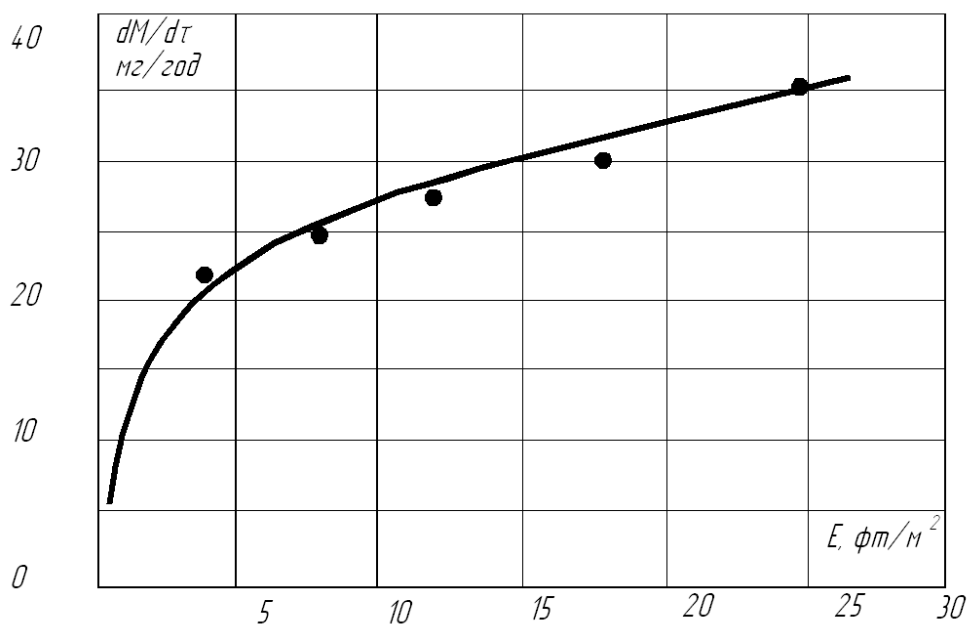


Рисунок 2.2 – Апроксимація ступеневої функції залежності швидкості фотосинтезу від опроміненості

$$M = A \cdot E \cdot a, \quad (2.3)$$

де $A = CT$ – коефіцієнт пропорційності.

Методика визначення показника ступеня «а» за допомогою логарифмування зміни фітомаси (або швидкості фотосинтезу) і опроміненості по результатам експериментальних досліджень розвитку рослин розглянута в літературі. Результати розрахунків показника ступеня «а» по результатам експериментальних даних приведені в табл. 2.1. Середнє, значення $a_{cp} = 0,276$ і може бути використане для розрахунку і побудови апроксимуючої функції (1), яка представлена на рис .2.2 при $C = 14,396$ і швидкості фотосинтезу 35 мг/год.

Як відмічається в розглянутій літературі, така оптимізація температури у зв'язку із зміною ФАР призводить до ще більшого енергетичного ефекту. Так, при зниженні опроміненості на 50 % затрати енергії зменшуються на 47,3 %, а термін зростання збільшується всього на 5,5 %. По відношенню до вирощуванню розсади це складає всього два додаткових дні.

Таблиця 2.1 – Результати розрахунків показника ступеня «а»

dM/dt , мг/ч	35; 30	30; 27,5	27,5; 25	25; 22
E , фт/м ²	25; 18	18; 12	12; 8	8; 4
a	0,469	0,2145	0,235	0,184
a_{cp}	0,276			

Таблиця 2.2 – Розрахунок апроксимуючої функції

E , фт/м ² (експеримент)	25	18	12	8	4
dM/dt , мг/ч (експеримент)	35,0	30,0	27,5	25,0	22,0
dM/dt , мг/ч (расчет)	35,0	31,96	28,58	25,55	21,10
Погрешность расчета, %	0,0	+6,55	+3,93	+2,22	-4,06

Таким чином, запропонована математична модель енергетики опромінення рослин в початковий період вирощування дозволяє встановити, що зниження штучної опроміненості, тобто потужності опромінювальних установок, не просто доцільно, а енергетично вигідно при оптимізації температури в зоні вирощування рослин.

2.2 Дослідження впливу взаємодії ФАР і крапельного поливу на приріст зеленої маси

Для найкращого розвитку рослин регулюють параметри мікроклімату і фізіологічно активного опромінення (ФАО). Особливе значення при цьому має доза ФАР та забезпечення рослин вологою та поживними речовинами.

Для з'ясування шляхів до їх оптимізації розглянемо як відбувається нарощування зеленої маси рослини в залежності від цих факторів. Так, прийнято вважати, що всі біологічні об'єкти розвиваються по «S» подібній залежності, відомій в біології як крива Сакса. Академік В.П. Горячкін називав таку криву інтегральною, так як вона по формі подібна до інтегралу, а по суті її можна отримати інтегруванням основної залежності.

По кривій Сакса можна розраховувати максимально можливий врожай з урахуванням основних обмежуючих показників: розміщення в просторі основного листового апарату і створення для нього оптимальних умов для фотосинтезу; підтримання оптимальних значень вологості і кількості речовин живлення в ґрунті; швидкості приросту біомаси та інше.

Такий підхід дозволяє визначити не тільки щоденну, але і на увесь сезон вирощування рослин необхідну кількість води, елементів живлення, вуглекислоти, дози ФАР і ін. для формування біомаси і отримання запрограмованого врожаю.

В агрономічній практиці використовують поняття потенціального, біологічного і стандартного врожаїв. Під потенціальним врожаєм (ПВ) визначають такий, який теоретично можна отримати при достатній кількості вологи, тепла, дози УФ і ФАР та інших факторів.

Потенціальний врожай (кг/м²):

$$Y_{\text{ПВ}} = \eta_{\text{ФАР}} K_{\text{м}} \frac{\sum Q_{\text{ФАР}}}{q}, \quad (2.4)$$

де $\eta_{\text{ФАР}}$ – ККД фотосинтетично активної радіації для заданої культури при найкращих умовах опромінення;

K_M – коефіцієнт господарської ефективності врожаю або доля основної продукції в загальній біомасі;

$\sum Q_{\text{ФАР}}$ – сумарна доза ФАР за період вегетації, кДж/м²;

q – енергетична врожайність, тобто кількість теплоти, що виділяється при спалюванні 1 кг абсолютно сухої біомаси (чим вищий вміст білків в ній, тим вищий цей показник), кДж/кг.

Теоретичний ККД фотосинтезу (максимальний) досягає всього 6...8 %. В дійсності він набагато менший в зв'язку з тим, що для рослин неможливо створити оптимальне сполучення усіх агрономічних параметрів (вологи, температури, освітленості і ін.). Тому фактичний ККД ФАР менше, і визначається він за формулою

$$\eta_{\text{ФАР}} = \frac{Y_B q}{\sum Q_{\text{ФАР}}}, \quad (2.5)$$

де Y_B – біологічний урожай,

$$Y_B = \frac{Q_A}{q}, \quad (2.6)$$

де Q_A – фактично акумульована доза ФАР, кДж/м²;

q – енергетична врожайність, кДж/кг.

Таким чином

$$\eta_{\text{ФАР}} = \frac{Q_A}{\sum Q_{\text{ФАР}}} \quad (2.7)$$

Коефіцієнт господарської ефективності врожаю:

$$K_M = \frac{Ч_T}{\sum a}, \quad (2.8)$$

де $Ч_T$ – доля товарної продукції в загальній біомасі (приймають рівною 1);

$\sum a$ – сума частин основної і побічної продукції.

Звичайно K_M приймають рівним 0,387 для біомаси при стандартній вологості 14 % [4].

Сумарна доза ФАР (кДж/см²) за період вегетації визначають по емпіричній формулі

$$\sum Q_{\text{ФАР}} = 0,42 \sum S + 0,58 \sum D, \quad (2.9)$$

де $\sum S$ – сума значень прямої радіації;

$\sum D$ – сума значень розсіяної радіації

З урахуванням всього вище приведеного потенційний врожай буде

$$Y_{\text{ПУ}} = \eta_{\text{ФАР}} K_{\text{м}} \frac{\sum Q_{\text{ФАР}}}{q} = \frac{C_{\text{T}} Q_{\text{А}}}{q \sum a} \quad (2.10)$$

Таким чином, потенційний врожай прямо пропорційний фактично отриманій і акумульованій рослинами дозі ФАР.

Стандартний врожай біомаси (при стандартній вологості) буде

$$Y_{\text{СТ}} = \frac{Y_{\text{В}}}{1 - W_{\text{СТ}}}, \quad (2.11)$$

де $W_{\text{СТ}}$ – відносна стандартна вологість.

При нестандартній вологості залежність (2.11) показує фактичний врожай

$$Y = \frac{Y_{\text{В}}}{1 - W_{\text{СТ}}} \quad (2.12)$$

З урахуванням формул (2.6), (2.7), (2.12) після ряду перетворень отримаємо залежність вологості ґрунту від дози ФАР, фактично акумульованої рослиною

$$W = 1 - \frac{\eta_{\text{ФАР}} \sum Q_{\text{ФАР}}}{q Y_{\text{СТ}}} = 1 - \frac{\eta_{\text{ФАР}}}{q Y_{\text{СТ}}} \sum Q_{\text{ФАР}}. \quad (2.13)$$

Будемо вважати, що ККД ФАР, Y і $Y_{\text{СТ}}$ залишаються постійними.

Тоді основна задача проведених досліджень – встановити зв'язок між інтенсивністю крапельного поливу (W) і $\sum Q_{\text{ФАР}}$ для ефективної автоматизації цього процесу вирішена.

Таким чином, відносна вологість має зворотну залежність від сумарної ФАР, а потенційний врожай (2.10) прямо пропорційний сумарній ФАР. Тоді підвищувати врожайність стає можливим при постійній вологості збільшенням дози ФАР, а при постійній опроміненості – збільшенням відносної вологості. Це відкриває більш широкі можливості впливу на врожайність завдяки дії двох параметрів.

Досліди, що були проведені в тепличному комбінаті агролабораторією в 2010 – 2011 роках і в 2012 за участю автора магістерської роботи при вирощуванні огірків показали відчутний вплив підвищення дози ФАР (D_1/D_2) на прибавку зеленої маси рослин і особливо в початкові дні їх вирощування. Досліди

проводилися на спеціально відведених ділянках де змінювалися параметри відносної вологості в межах 10...20 % і потужність опромінення ФАР від 5 до 8 клк.

Одна із реалізацій дослідження показана на графіках рис. 2.3., на яких приведена залежність інтенсивності приросту зеленої маси рослин при стандартній вологості (14 %) і двох дозах ФАР впродовж 15 днів: Д1 = 8 клк і Д2 = 6 клк.

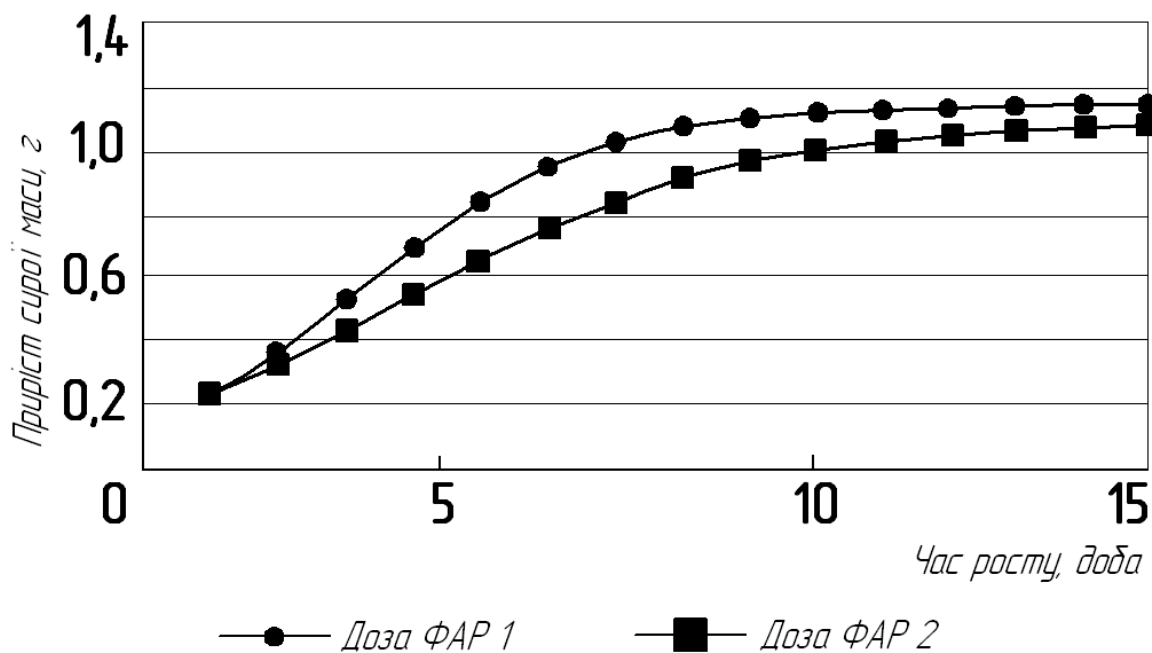


Рисунок 2.3 – Приріст зеленої маси в залежності від дози опромінення

В результаті проведених досліджень стає очевидним, що збільшення приросту зеленої маси і економії енергетичних витрат можна досягти за рахунок оптимізації параметрів температури, крапельного поливу і інтенсивності опромінення ФАР.

2.3 Огляд засобів підтримування температури ґрунту

Спортивні газони на відміну від декоративних галявин і інших типів газонів мають свої особливості. Трав'яний покрив футбольного поля частками бути абсолютно рівним, низьким, пружним, здатним переносити часті стрижки, володіти стійкістю не тільки до несприятливих умов погоди (морозу, посухи і т.д.), але і до витоптування. За даними кінозйомки, на 1 м² поверхні поля за один

футбольний матч припадає 130 - 180 ударних імпульсів, причому навантажив на 1 см² поверхні поля досягають 200 - 250 кгс.

Трав'яний покрив, виростаючи в земляному покриві, своєю кореневою системою утворює дерен. Дерн повинен бути зв'язаний і щільний з настільки розвиненою кореневою системою, щоб після пошкодження трав'яного покриву ногами і бутсами, трава могла відрости.

Для того, щоб поверхня футбольного поля відповідала всім необхідним вимогам, необхідно, з одного боку, в основному підібрати ґрунт із сприятливим механічним складом, а якщо такого ґрунту немає в природному вигляді, створити штучно, шляхом оструктуровування різними фракціями і добавками. З іншого боку, слід підібрати трави з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов зони. Рослинний шар землі на всьому полі повинен бути однорідним і однакової товщини. Ґрунт має добре вбирати воду і пропускати повітря, володіти деякою вологоутримуючою здатністю, необхідною для постачання коренів рослин вологою.

Ґрунти структурні, водотривкі, що не запливають під час дощів, штучних поливів і не утворюють кірку при висиханні, тоді як безструктурні ґрунти при зволоженні перетворюються на суцільну в'язку масу. Внаслідок цього фільтруюча здатність верхнього рослинного шару ґрунту різко знижується. Ці властивості ґрунту мають першорядне значення для спортивних газонів. Краща суміш землі для спортивних газонів вважається така, в якій вміст піщаних, пілуватих і глинистих часток знаходиться в певному співвідношенні.

У силу технологічних обставин шар ґрунту газонів є електропровідним, а в такому разі склад цього шару не може бути внесений в якості компоненти в верхній ґрунтовий шар футбольного поля і тим самим використовувати електрообігрів газонів.

Відома також система електропідігріву трав'яного газону футбольного поля, яка включає нагрівальні кабелі, розміщені під газоном на заданій глибині, температурні датчики і електрощитову установку [2].

Описана система підігріву газону футбольного поля створює можливість проведення футбольних матчів впродовж року в умовах, практично наближених до літніх. Ця система має дренажно-осушувальні якості. Вона сприяє швидкому відновленню газону після інтенсивної експлуатації, зяжних дощів, рясних снігопадів і сильних морозів. Крім цього, над усією поверхнею футбольного поля на значній висоті від поверхні створюється мікроклімат, сприятливо впливає на організм спортсменів, це сприяє видовищності та привабливості змагань у пізньоосінні та зимові періоди.

Система управління електропідігрівом забезпечує багатоступеневе (автоматичне або ручне) регулювання температури на поверхні нагрівального кабелю по всьому газону або окремим його зонам. Пропонована система забезпечує нормальну роботу при 10 - 65°C. Час підігріву газону при глибині промерзання до 1 м - менше 3 діб. Енергоємність з урахуванням кліматичних умов та режиму роботи досягає до 400 кВт. Коефіцієнт корисної дії системи 0,95. Однак епізодичні включення системи управління електропідігрівом призводять до того, що коренева система рослинного покриття при прискореному прогріву ґрунту зі стану анабіозу не встигає увійти в нормальний режим і вона виснажується. Ослаблені рослини при багаторазових переходах від від'ємних температур до додатних гинуть, про це свідчать "жовті" зони на поверхні зеленого газону футбольного поля.

Електропідігрів не враховує специфіку теплопровідності верхнього шару футбольного поля і розподілу корневих систем рослинного покриття. Ґрунт (родючий верхній шар), вживаний для виростання звичайних газонів, вимагає значного поліпшення механічного складу: він пилюватий, безструктурний, в результаті цього посіви газонів сильно переущільнюються при зрошенні штучними опадами (дощуванням) або поливом напуском при подальшій експлуатації.

Конструкції відомих у світовій практиці футбольних полів будують за наступною технологією. Перед укладанням спеціальних шарів поверхню поля ретельно вирівнюють за проектними ухилам і ущільнюють важкими котками. Точність нівелювання повинна бути виконана в межах ± 2 см. На підготовлену

основу укладається вологоутримувальний шар з торфу (лігніну) товщиною 3 – 5 см. Шар торфу ущільнюють важким котком масою не менше 1,5 т. Укладання торфу здійснюють в зволоженому стані і утримують в такому стані до укладання наступного зверху шару. На шар торфу (лігніну) укладається шар підгрунтя товщиною 16 см у два заходи по 8 см згідно проектних ухилів. Нівелювання здійснюють по квадратах 2 х 2 м. Ущільнення кожного шару слід проводити котками масою 100 – 150 кг.

Верхній шар формують зі спеціальної суміші наступного складу: земля родюча, знята з верхнього родючого шару паші – 48 %, торф – 27 %, перепрілий гній (2-річний) – 5 %, гравелистий кварцовий пісок з діаметром зерен 5 - 6 мм – 5 %, крупнозернистий кварцовий пісок з діаметром зерен 2 – 3 мм – 15 %. Цю суміш перемішують в бетономішалці або вручну. Після укладання шару товщиною 16 см, вводять рівномірно по всьому полю наступні добрива: азотна крихта (подрібнена кістка) діаметром 2 см, суха кров – 250 кг, суперфосфат – 200 кг, калій хлористий - 120 кг, сульфат амонію – 170 кг, аміачна селітра – 200 кг, мідний купорос – 20 кг, залізний купорос – 20. Всі ці матеріали рівномірно і ретельно розподіляють по поверхні футбольного поля і ретельно закладають зубовими граблями в шар на глибину до 3 – 5 см. Поверхню спеціального шару остаточно вирівнюють котком масою 300 кг у двох взаємно перпендикулярних напрямках.

Після укладання спеціального шару (підгрунтя потужністю шару в 16 см) приступають до укладання верхнього кореневого шару завтовшки 4 см. Склад суміші для верхнього шару формують з таких компонентів: земля рослинна – 48 %, торф – 16 %, органіка (перегнилий гній) – 16 %, пісок крупнозернистий, кварцовий діаметром 2 – 3 мм – 15 %, пісок гравелистий, кварцовий діаметром 5 – 6 мм – 5 %. Верхній кореневий шар роблять за нівелювальними відмітками в центрі квадрата 2 х 2 м. Шар ущільнюють котком масою 100 – 150 кг. У цей шар вносять наступні добрива: суперфосфат – 200 кг, хлористий калій – 10 кг, селітра аміачна – 150 кг.

Відома штучна крижана доріжка, що включає плити для крижаного покриття з системою труб, підстава та рухомі опори, в якій, з метою підвищення надійності роботи опор і покращання умов їх обслуговування, під опори встановлені стовпчасті фундаменти, а кожна опора виконана з пластиною, коефіцієнт теплопровідності якої знаходиться в межах від 0,21 до 0,1 ккал/(см·с·°C), встановленою на нижній поверхні плити для крижаного покриття, і опорним елементом з коефіцієнтом тертя 0,05 - 0,03, причому опорний елемент закріплений на стовпчатому фундаменті [3].

Недоліком конструкції крижаної доріжки є недосконалість системи труб для подачі холодагента. Це призводить до того, що товщина крижаного покриття варіює в межах від 20 до 85 % від номінальної товщини. У даній спортивній споруді система труб під бетонними підставами закріплена вільно, а самі підстави з крижаним і теплоізоляційними покриттями переміщуються щодо стовпчастих фундаментів через лінійне стиснення при зниженні температури. Описана система труб не може бути запозиченою для підігріву спортивних газонів.

Відома також автомобільна дорога, що включає незамерзаюче бетонне покриття проїзної частини і замкнуту систему циркуляції теплоносія у вигляді герметичних Г-подібних труб, полки яких розміщені під бетонним покриттям, а стійки спрямовані в глиб основи дороги і з'єднані з джерелом тепла, розташованим нижче межі промерзання ґрунту, пористий матеріал, що покриває внутрішню поверхню замкнутих труб, в якій, з метою підвищення ізоtermічності при нагріванні бетонного покриття і зменшення капітальних витрат при його влаштуванні на небезпечних ділянках дороги в межах міських вулиць з системою підземних комунікацій, система циркуляції забезпечена пластиною і додатковими трубами, спрямованими вздовж поздовжніх крайок покриття і які з'єднують розміщені під покриттям труби, причому пластина прикріплена до петлеподібних труб зверху, а джерело тепла з'єднане з трубою для стічних вод системи міських підземних комунікацій, в яку заглиблені стійки герметичних труб, що мають у заглибленій частині відгини, спрямовані назустріч потоку стічних вод і виконані з дискретно розміщеними потовщеннями, при цьому система циркуляції має

теплоізоляцію, яка покриває герметичні труби, розташовані поза трубою для стічних вод, герметичні труби розміщені з гідравлічним ухилом 0,03 - 0,05; периметральні потовщення на відгинах герметичних труб розміщені з відносним кроком $t = (l/h)_{\text{опт}} = 10 \dots 15$, де l - відстань між периметральної потовщеннями; h - висота потовщень; відстань між окремими петлями, розміщеними під покриттям герметичних труб, прийнято рівним ширині петлі [4]. До недоліків конструкції автомобільної дороги слід віднести складність конструкції системи циркуляції теплоносія і труднощі заправки теплоносія в систему труб.

Відоме обладнання для підтримання технологічного режиму культурного шару ґрунту в теплицях, що містить похило розміщені під ним дренажні труби, пристрій для обігрівання, що включає насос і водопідігрівач, який подає теплоносії у нагрівальні канали, в якому, з метою скорочення витрат на будівництво систем дренажу, та обігріву, останні виконані суміщеними і нагрівальними каналами є дренажні труби, перфоровані по верхній стороні, на входах яких встановлені регулюючі колодязі, а на виходах - відстійні колодязі, з'єднані між собою безнапірним трубопроводом, на якому змонтовані насос і водопідігрівач [5]. Це обладнання має низьку ефективність і працездатне лише при температурах культурного шару ґрунту вище 11 - 12°C. При від'ємних температурах в ґрунті система, непрацездатна.

Відомий пристрій для обігріву, захищеного ґрунту, що містить теплообмінник, у якому, з метою виключення різких перепадів температури в теплиці, теплообмінник виконаний у вигляді плоскої тонкостінної гнучкої непрозорої оболонки з гуми або полімерного матеріалу з каналами для теплоносія і отворами для рослин [6]. У канали теплообмінників подають рідкий теплоносії з температурою 25 - 45°C. Тиск рідкого теплоносія в теплообміннику не перевищує 0,1 м вод. ст. Малий температурний перепад між теплоносієм, що циркулює в оболонках, і ґрунтом вимагає, щоб у теплиці було приховано 50 – 100 % поверхні ґрунту. Ця обставина не дозволяє використовувати описаний пристрій для обігріву спортивних газонів, зокрема на поверхні футбольного покриття. Посів насіння травосумішей здійснюють в культурному шарі на глибину 0,5 - 1,0 см з

обов'язковою присипкою (землювання) структурною агрономічно цінною фракцією ґрунту шаром 2 см. Після посіву шар ґрунту накочують легкими циліндричними катками з питомим тиском 1,2-1,8 кг/см².

Відомий спосіб обігріву ґрунту при поливі, що включає підігрів і подачу її в зрошувальну мережу з пористими зволожувачами, в якому, з метою рівномірного обігріву ґрунту і підтримки в ґрунті оптимальних вологості і температури, здійснюють підігрів води після видачі заданої поливної норми і знижують тиск в мережі до 1,0 - 0,5 м вод. стовпа [7]. Описаний спосіб здійснює зрошувальна мережа, яка включає насос, розподільний трубопровід з манометром, мікропористі зволожувачі типу "Віафло", відвідний трубопровід з вентилем, ємність з підігрівачем і водопровідну лінію з поплавковим замикаючим клапаном. Мікропористі зволожувачі розкладають при висадці рослин і прибирають після збирання врожаю. Глибина закладки зволожувачів складає 7 – 10 см, а відстань між ними – 30 см. Це забезпечує більш рівномірний обігрів саме верхнього 20 см шару, де розташовується основна маса коренів рослин.

Істотний недолік зрошувальної мережі полягає в тому, що посів можна здійснювати лише вузькими смугами. Для суцільного посіву сумішей з насіння трав, вказаних вище, описаний спосіб обігріву неприйнятний.

Відомий пристрій для дренажування та обігріву ґрунту в теплицях, що включає трубу обігріву, розміщену всередині дренажної труби, в якому, з метою скорочення втрат тепла і зменшення відтавання ґрунту, труба обігріву розташована у верхній частині дренажної труби і сполучена з нею своєю поверхнею [8]. На футбольних полях в ході матчу інтенсивність навантаження на 1 м² поверхні газону в 10³ - 10⁴ разів перевищує навантаження, ніж на поверхні ґрунту в теплицях. Тому укладання труби обігріву в дренажній трубі під рослинним покривом в культурному шарі ґрунту футбольного поля призведе до локальних знижень, які перевищують величину агродопуска, (± 2 см на довжині 2 м).

Відомий пристрій для обігріву ґрунту, що містить водяний генератор тепла, замкнутий контур теплоносія і систему автоматичного управління температурою ґрунту з регулятором, датчиком температури ґрунту і датчиком

температури прямого теплоносія, причому водяний генератор тепла виконаний на водяному підігрівачі, замкнутий контур теплоносія включає встановлений на зворотному трубопроводі циркуляційний насос і встановлений на прямому трубопроводі перший триходовий перепускний клапан з керуючим елементом, а система автоматичного управління температурою ґрунту виконана за блок-схемою послідовно з'єднаних зі зворотним зв'язком першого елемента порівняння інформації від датчика температури ґрунту по задатчику перетворювача з підсилювачем і регулятора температури ґрунту [9]. Недоліком цього пристрою є невисока точність регулювання температури ґрунту.

Відомий пристрій для обігріву ґрунту, що містить водяний генератор тепла, замкнутий контур теплоносія і систему автоматичного управління температури ґрунту з регулятором, датчиком температури ґрунту і датчиком температури прямого теплоносія, причому водяний генератор тепла виконаний на водяному підігрівачі, замкнутий контур теплоносія включає встановлений на зворотному трубопроводі циркуляційний насос і встановлений на прямому трубопроводі перший триходовий перепускний клапан з керуючим елементом, а система автоматичного управління температурою ґрунту виконана за блок-схемою послідовно з'єднаних зі зворотним зв'язком першого елемента порівняння інформації від датчика температури ґрунту по задатчику, перетворювача з підсилювачем і регулятора температури ґрунту, в якому, з метою підвищення точності регулювання температури ґрунту, система автоматичного управління температурою ґрунту обладнана датчиком температури зворотного теплоносія, датчиком температури поверхні труб водяної системи обігріву ґрунту і датчиком рівня сонячної радіації, а водяний генератор тепла забезпечений регулятором витрати теплоносія і другим триходовим перепускним клапаном з керуючим елементом, який встановлений на прямому трубопроводі входу водяного підігрівача, при цьому задатчик забезпечений обчислювальним блоком, вхід якого з'єднаний з датчиком температури зворотного теплоносія, датчиком температури поверхні труб водяної системи обігріву ґрунту, датчиком температури прямого теплоносія і датчиком рівня сонячної радіації, а вихід - з перетворювачем і першим елементом порівняння, перетворювач

забезпечений інтегратором, блоком корекції, суматором, другим елементом порівняння, причому вхід інтегратора з'єднаний з обчислювальним блоком, а вхід блоку корекції - з першим елементом порівняння, виходи інтегратора і блоку корекції підключені до суматора, послідовно сполученого з другим елементом порівняння, регулятор температури ґрунту виконаний двоканалним, при цьому один вихідний канал послідовно підключений до керуючого елементу другого триходового перепускного клапана, а другий вихідний канал забезпечений третім елементом порівняння, вхід якого з'єднаний з датчиком температури теплоносія на подавальному трубопроводі замкнутого контуру теплоносія, при цьому вихід третього елемента порівняння підключений до керуючого елементу першого триходового перепускного клапана [10]. Недоліком цього пристрою є складність конструкції і низька технічна надійність датчика рівня сонячної радіації, що приводить до збою роботи всієї системи автоматичного управління.

Найбільш близьким пристроєм того ж призначення до пропонованого об'єкту за сукупністю ознак є пристрій для обігріву спортивного газону, що містить первинну систему теплообміну, з'єднану з центральним опаленням міської мережі і за допомогою теплообмінника - з вторинною автономною замкнутою системою циркуляції теплоносія - води та/або розчину води з гліколем у вигляді герметичних теплових труб з структурного поліетилену, встановлених з заданим кроком в культурному шарі під рослинним покривом спортивного газону і гідравлічно з'єднаними водопровідними розподільним і складальним трубопроводами змінного діаметру, з висококонденсованого поліетилену з теплообмінником первинної системи, подвійним перекачуючим насосом, розширювальним посудиною з клапанами заповнення та продування, клапанами регулювання проходу рідини, термостатом і пристроєм управління в ручному та автоматичному режимах роботи, і похило розміщеними під тепловими трубами нижче культурного шару ґрунту газону дренажними трубами. (Рекламний проспект акціонерного товариства фірми "WIRSBO Linig-System". Motomatic AG fur Fussballfeld).

Теплові труби укладені в культурному шарі ґрунту на відстані 250 мм один від одного на глибині 200 - 250 мм. Теплові труби можуть бути прокладені паралельно або перпендикулярно напрямку футбольного поля. У кінці поля теплові труби з'єднані з водопідвідною і розподільною трубою і складальною відвідною трубою водопровідної системи. Теплові труби діаметром 3/4" укладені групами у вигляді трьох ниток з U-подібними колінами на протилежному кінці футбольного поля. Відвідні і підвідні труби виконані конічними із зовнішнім діаметром 160 мм на вході і 110 мм на виході на довжині 72 м.

До причин, що перешкоджають досягненню необхідного технічного результату при використанні відомого пристрою, відносяться нерівномірне прогрівання родючого шару ґрунту на площі футбольного поля і великий перепад температури теплоносія на виході з підвідної труби в порівнянні з температурою теплоносія на вході в відвідну трубу. U-образні коліна на протилежному кінці футбольного поля не забезпечують компенсацію для робочої довжини теплових труб через лінійне розширення при зміні температурного режиму теплоносія при перекладі системи управління з економного режиму (між тривалими перервами спортивних змагань чи футбольних матчів у спортивному календарі - перерва 14 днів) на нормальний режим і навпаки з нормального режиму роботи в режим спокою. Під час зимової перерви система автоматичного регулювання перемикає систему підігріву теплоносія на низьку температуру, при якій рідке середовище в трубах знаходиться вище точки замерзання при температурі близько $+6^{\circ}\text{C}$. Рідке середовище постійно перебуває в стані циркуляції. Температура на виході постійно змінюється на протязі кожної доби. При падінні температури до $+3^{\circ}\text{C}$ система відразу змінює температуру теплоносія. З цієї причини теплові труби завжди знаходяться в тепловому режимі навантаження, а U-образні коліна на одному кінці не забезпечують нормальну експлуатацію теплових труб.

Описаний обігрів спортивного газону забезпечує проведення спортивних змагань будь-якого гонгу протягом усього календарного року. Підземна система зрошення з дренажною мережею гарантують збереження рослинного покриву протягом 8 - 10 років.

Таким чином, вищевикладені відомості свідчать про виконання при використанні описаного підходу наступної сукупності умов: засіб, що втілює даний підхід при його здійсненні, призначений для використання в будівництві спортивних споруд та газонів; для такого підходу підтверджена можливість його здійснення; засіб, що втілює описаний підхід при його здійсненні, здатен забезпечити досягнення технічного результату.

2.4 Обґрунтування вибору мікроконтролера

Мікроконтролер вирішено взяти з сімейства AVR фірми Atmel, оскільки дане сімейство контролерів має високу швидкодію, володіє хорошим показником функціональність/ціна і має безліч моделей різної функціональності [11]. Ці мікроконтролери широко поширені, для них існують зручні середовища розробки, і вони мають масу документації на різних мовах, у тому числі і українською. Корпорація Atmel (США) добре відома як на світовому, так і на українському ринках електронних компонентів і є одним з визнаних світових лідерів у розробці та виробництві складних виробів мікроелектроніки – пристроїв незалежної пам'яті високої швидкодії і мінімального питомого енергоспоживання, мікроконтролерів загального призначення і мікросхем програмованої логіки.

Українські фахівці вже гідно оцінили високу швидкість роботи і потужну систему команд AVR, наявність двох типів незалежної пам'яті на одному кристалі і периферію, що активно розвивається. Важливу роль в цьому відіграє Atmel Corp. в процесі розвитку і поширення різноманітних, доступних засобів підтримки розробок. Це дозволяє розробникам і виробникам електронної техніки сподіватися на збереження повноцінної підтримки для перспективного сімейства мікроконтролерів, закладаючи AVR у свої нові вироби.

Мікроконтролер сімейства AVR фірми Atmel представляє собою восьмирозрядну однокристальну мікро-ЕОМ з спрощеною (скороченою) системою команд - RISC. Більшість команд, що входять в систему команд, вибираються з пам'яті за один такт і виконуються за один такт роботи

мікроконтролера. При виконанні послідовності таких команд вибірка з пам'яті чергової команди поєднується в часі з виконанням раніше обраної команди (2-х ступінчастий конвеєр). При цьому число команд, виконуваних за 1 с, збігається з тактовою частотою роботи мікроконтролера.

Мікроконтролери виготовляються за високоякісної КМОП (CMOS) технології, містять енергонезалежні запам'ятовуючі пристрої для зберігання програми і даних, виконані по Flash і EEPROM технологіям, і відрізняються низьким енергоспоживанням при високій тактовій частоті. Запис програми і вихідних даних у пам'ять може виконуватися після установки мікроконтролера в апаратурі, де йому належить працювати (ISP, In-System Programmable).

До складу сімейства AVR входять мікроконтролери трьох серій - AT90 («classic»), ATtiny («tiny»), ATmega («mega»). У кожену серію входять мікроконтролери декількох типів. Мікроконтролери серії AT90 за своїми структурними характеристиками (об'єм пам'яті, склад периферійних пристроїв) близькі до мікроконтролерів сімейств AT89 фірми Atmel і MCS-51 фірми Intel. За своїми обчислювальними можливостями вони займають середнє положення між мікроконтроллерами серій ATtiny і ATmega. Мікроконтролери серії ATtiny мають найменші, а мікроконтролери серії ATmega - найбільші обчислювальні можливості в сімействі AVR.

Мікроконтролери одного типу випускаються в декількох варіантах, що розрізняються діапазоном допустимих значень напруги живлення, максимальним допустимим значенням тактової частоти, типом корпусу і діапазоном допустимих значень температури навколишнього середовища. Фірма Atmel випускає програмні та апаратні засоби підтримки розробок на базі мікроконтролерів сімейства AVR.

Робота РДТ заснована на властивості металів до зміни свого електричного опору при зміні температури. Відомо, що всі метали змінюють свій опір при зміні температури. Цей факт і визначив появу РДТ.

Опір відрізка проводу прямо пропорційний його довжині і обернено пропорційний площі поперечного перерізу:

$$R = \rho L / A \quad (2.16)$$

де ρ – питомий опір матеріалу.

Кожен метал має визначений і унікальний питомий опір, що може бути визначено експериментально. РДТ виготовляють з металів, опір яких росте з температурою. У межах обмеженого температурного діапазону питомий опір лінійно росте з ростом температури:

$$\rho_t = \rho_0 \alpha [1 + (t - t_0)] \quad (2.17)$$

де ρ_t – питомий опір при температурі t , ρ_0 – питомий опір при стандартній температурі t_0 , α – температурний коефіцієнт опору ($^{\circ}\text{C}^{-1}$).

Теоретично, будь-який метал може бути використаний як датчик температури, однак ідеальний метал повинен мати специфічні характеристики:

- високу точку плавлення;
- стійкість до корозії;
- мати лінійну характеристику $R = F(t)$;
- бути довговічним.

Платиновий провід тендітний, але матеріал високостійкий до забруднення і володіє тільки злегка нелінійною характеристикою d/dt , тому платина і була обрана для застосування в РДТ. До її позитивних характеристик варто віднести хімічну стабільність, можливість досить легкого одержання матеріалу в хімічно чистій формі, а також електричні властивості, що мають високу повторюваність.

РДТ виготовляють зі сплаву IEC/DIN (американський стандарт) чи з хімічно чистої платини (європейський стандарт). Відмінність – у ступені чистоти. Якщо стандарт IEC/DIN визначає, що датчик виготовляється з платини, що навмисно забруднена іншими металами платинової групи, то платина, застосовувана в датчиках, що виготовляються по європейському стандарті, має ступінь чистоти не менш 99,99%. Якщо датчики, зроблені з різних матеріалів, будуть мати опір 100 Ом при 0 $^{\circ}\text{C}$, то при 100 $^{\circ}\text{C}$ датчик, виготовлений зі сплаву IEC/DIN, буде мати опір 138,5 Ом, а датчик, виготовлений по європейському стандарту – 139,02 Ом.

Міжнародними комітетами були встановлені стандартні криві для РДТ. Вони визначили середній температурний коефіцієнт α , що визначає нахил функції $R = F(t)$ у діапазоні температур між 0 і 100 °C.

Датчики виготовляють двох видів: дровові чи тонкоплівкові. Дровові датчики намотують дуже тонким платиновим проводом на котушку до одержання опору в 100 Ом. Потім котушка вставляється в керамічне оправлення для запобігання замикань на корпус і забезпечення вібростійкості. Цей процес дуже трудомісткий, а вся робота виконується вручну під мікроскопом.

Тонкоплівкові датчики виготовляються методом осадження тонкого шару платини чи її сплаву на керамічну підставу із наступною підгонкою опору резистора до необхідного значення. Після цього елементи датчика для забезпечення вологостійкості покриваються склом чи епоксидною смолою. Перевагою тонкоплівкових датчиків у порівнянні з дрововими є те, що по цій технології можна одержати більш високоомні датчики при значно менших габаритах.

Використовуються двох-, чи чотирьохпровідні схеми підключення датчика до вимірювального пристрою. Вони добре відомі і тому не будуть детально описуватися. Але все-таки коротко розглянемо основні аспекти їхнього застосування. Двухпроводна схема підключення використовується там, що де підводять проводи є дуже короткими і може бути допущена деяка помилка виміру. При трипроводному підключенні є три провідники замість двох, що дозволяє до деякої міри зменшити помилки виміру, внесені протіканням струму через проводи. чотирипроводна конфігурація може бути рекомендована для одержання найкращих результатів виміру.

Струм збудження датчика проходить через одну пару проводів, а вимір опору здійснюється через іншу пару. Це виключає помилку, викликану різним опором проводів. Цей спосіб більш дорогий, чим трипроводні конфігурації (особливо при довгих лініях зв'язку), але це кращий спосіб забезпечення високої точності виміру.

2.5 Обґрунтування вибору засобів індикації

В системі нам необхідно візуально відображати поточну температуру шару ґрунту і вибраний режим роботи. Для цього необхідно використовувати семисегментні індикатори. Можна припустити, що виникне така ситуація, коли шар ґрунту буде мати від'ємну температуру, тому для візуалізації поточної температури необхідно вибрати щонайменше трирозрядний семисегментний індикатор.

2.6 Опис котельної установки

Сучасна котельня установка являє собою складне технічне спорудження. Вона складається з котельного агрегату (в даному випадку пропонується використовувати агрегат ДКВР-20-13) та котельного допоміжного устаткування. Продукцією котельного цеху є насичений водяний пар необхідних параметрів, використовуваний на технологічні потреби та гаряча вода.

До складу котельного агрегату входять: паровий котел, топка, водяний економайзер, обмурівка, а також арматура.

Котел типу ДКВР-20-13 являє собою вертикально-водотрубний двохбарабанный паровий котел з природною циркуляцією. Котел має два однакових за довжиною і діаметром барабана. Камера згоряння повністю екранована трубами. Для підвищення економічності роботи котел постачають чавунним водяним економайзером, який дозволяє знизити температуру відхідних газів.

До допоміжного котельного устаткування відносяться тягодуттьові і живильні пристрої, обладнання водопідготовки, паливоподачі, системи шлакозоловидалення і золоуловлювання, а також контрольно-вимірювальні прилади та засоби автоматизації. В якості основного палива на виробництві використовується попутний нафтовий газ, в якості резервного палива мазут.

Насичений водяна пара використовується на технологічні потреби інших основних цехів, гаряча господарсько-питна вода надходить у систему

господарсько-питного водопостачання і використовується на господарсько-побутові потреби.

Процес отримання пари протікає в наступному порядку (слайд 01.00). Відцентровими насосами живильна вода безперервно подається в барабан котла. Її тиск становить 14 кгс/см^2 , це вище ніж тиску виробляємої пари. Перш ніж потрапити в барабан котла, живильна вода з витратою 15-25 т/год залежно від навантаження проходить через економайзер позиція 3, підігріваячись до температури приблизно на 40°C нижче, ніж температура насиченої пари в котлі приблизно 190°C . Барабан котла позиція 6 служить розподільником котлової води і збірником що утворює пари. За допомогою опускних труб вода з барабана надходить у нижні колектори (збірники або розподільники), до яких приєднуються труби екранів, вертикально встановлені по внутрішніх стінках топкової камери. Іншим кінцем екранні труби приєднуються до барабана котла. Як говорилося, екранні труби представляють поверхню нагріву котла і призначені для отримання пари, крім того, вони захищають стінки камери згоряння від температури. У результаті променевого нагріву екранних труб вода, що знаходиться в них закипає, утворені бульбашки пари прагнуть вгору, захоплюючи за собою ще киплячу воду. В напрямку до барабана котла в трубах екрану утворюється потік пароводяної суміші. Так як гідростатичний тиск пароводяної суміші (емульсії) в екранних трубах менше, ніж вага стовпа води в опускних трубах, то в замкнутій гідравлічній системі (барабан котла-опускні труби-нижні колектори-екранні труби-барабан котла) утворюється стійкий рух (природна циркуляція).

Продукти згоряння спочатку охолоджуються в котельній камері котла ДКВР 20-13 позиція 5, віддаючи тепло екранним трубам, потім охолоджуються за рахунок конвекції, проходячи через економайзер позиція 3. Димові гази (продукти згорання) з топки з температурою 360°C і розрядженням $-0,94 \text{ кПа}$, відсмоктуються димососом позиція 4, проходять через водяний економайзер позиція 3, на виході температура встановлюється 200°C викидаються через

димову трубу в атмосферу. Для забезпечення нормального режиму горіння палива в топку вентилятором позиція 1 подається повітря.

Таким чином в топку котла подаються паливо з температурою $+5^{\circ}\text{C}$, з витратою $1500\text{ м}^3/\text{год}$, тиском газу до заслінки $3,8\text{ кПа}$, тиск газу після заслінки $3,7\text{ кПа}$ і тиск повітря $1,9\text{ кПа}$. У барабан котла подається живильна вода, а відбирається водяна насичена пара, витрата якої складає $10\text{--}20\text{ т/год}$. Регулювання процесів горіння і живлення парових котлів зводиться до управління подачею палива, повітря, тяги і води. Спосіб регулювання процесу горіння визначається в першу чергу способом спалювання палива та конструкцією топкового пристрою.

Подача води в барабан котла регулюється таким чином, щоб рівень води в барабані, залишався на середини барабана. Таким чином, пароутворення виходить максимальним, що підвищує продуктивність котла.

Отже, провівши аналіз відомих засобів підтримування температури шару ґрунту, засобів вимірювання температури та нагрівання води, приходимо до висновку, що найбільш близьким пристроєм того ж призначення до запропонованого об'єкту за сукупністю ознак є пристрій для обігріву спортивного газону, що містить первинну систему теплообміну, з'єднану з центральним опаленням міської мережі і за допомогою теплообмінника - з вторинною автономною замкнутою системою циркуляції теплоносія - води та/або розчину води з гліколем у вигляді герметичних теплових труб з структурного поліетилену, встановлених з заданим кроком в культурному шарі під рослинним покривом спортивного газону і гідравлічно з'єднаними водопровідними розподільним і складальним трубопроводами змінного діаметру, з висококонденсованого поліетилену з теплообмінником первинної системи, подвійним перекачуючим насосом, розширювальним посудиною з клапанами заповнення та продування, клапанами регулювання проходу рідини, термостатом і пристроєм управління в ручному та автоматичному режимах роботи, і похило розміщеними під тепловими трубами нижче культурного шару ґрунту газону дренажними трубами.

3 ОПИС ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНИХ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ГАЗОНУ ФУТБОЛЬНОГО ПОЛЯ

3.1 Опис функцій, які виконує система регулювання температури поверхневого шару відкритої земельної ділянки

Для розробки структурної схеми системи регулювання температури газону футбольного поля, коротко опишемо функції, які повинна виконувати розробляється система:

1. Початковий запуск системи.
2. Вибір необхідного режиму регулювання температури.
3. Прийом даних з датчиків і обробка цих даних відповідно до алгоритму.
4. Виведення поточних параметрів температури ґрунту газону.
5. Формування вихідних сигналів для запуску виконавчих пристроїв нагрівання.

3.2 Вибір варіанта структури системи регулювання температури поверхневого шару відкритої земельної ділянки

Виходячи з вимог технічного завдання та функцій, які повинна виконувати розроблювана система, можна виділити основні модулі, з яких вона повинна складатися:

- 1 Датчики є невід'ємною частиною системи, вони використовуються для того, щоб система могла в реальному часі реагувати на зміни зовнішніх параметрів за заздалегідь розробленим алгоритмом. В даний час на ринку представлена велика різноманітність різних типів датчиків, деякі з них є вузькоспеціалізованими. Так як ми проектуємо систему, яка буде використовуватися на стадіонах, тому обмежимося одним типом датчика температури. Однак при виборі пристрою управління слід врахувати можливість

підключення додаткових датчиків з метою уточнення даних або з метою збільшення функціональних можливостей.

2 Пристрій управління є головною частиною системи, він потрібен для збору та обробки інформації, що надходить з датчиків системи, вироблення керуючих сигналів для виконавчих пристроїв, а також виведення інформації на пристрій індикації.

3 Пульти керування і пристрій візуальної індикації необхідні для вибору типу мікроклімату, для візуального виводу поточної температури шару ґрунту газону.

У відповідності з певними вище функціями можна визначити загальну структуру системи. Структура системи регулювання температури поверхневого шару відкритої земельної ділянки представлена на слайді 02.01 графічної частини. Пристрій управління отримує від датчиків температури і задавачів дані, перетворює їх відповідно до алгоритму роботи (слайд 02.02) і видає дані на індикатори для відображення температури, а також при необхідності сигнали на ключові елементи, які дозволяють вмикати/вимикати виконавчі пристрої в тому порядку, в який встановлений в алгоритмі.

3.3 Вибір закону регулювання температури

Спочатку розглянемо загальну схему будь-якої системи регулювання, показану на рис. 3.1.

Почнемо з входу, що представляє задане значення регульованого параметра. З нього віднімемо дійсне виміряне значення цього параметра, щоб отримати сигнал помилки, рівний різниці між тим, що ми маємо і тим, що хочемо отримати. Потім регулятор генерує вихідний сигнал, щоб змінити навантаження до заданого значення – іншими словами, добитися, щоб сигнал помилки дорівнював нулю. А далі розглянемо наявні типи регуляторів температури.

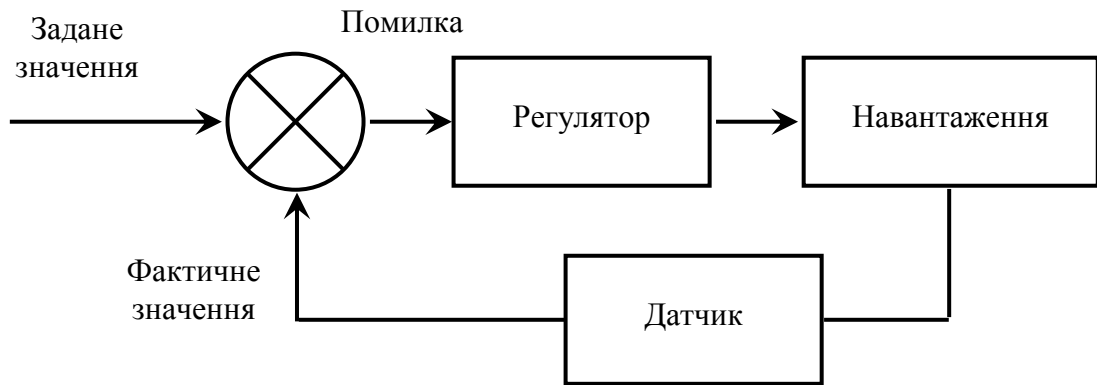


Рисунок 3.1 – Загальна схема системи регулювання

3.3.1 Регулювання типу "Ввімкнено-вимкнено"

Найвідоміший тип регулятора температури, звичайно, двопозиційний регулятор типу "Ввімкнено-вимкнено", використовуваний в системах обігріву, печах, холодильниках і тому подібне.

Є одне задане значення температури, при якому нагрів включається на 100 %, і інше, при якому він повністю відключається. Якщо швидкість зміни фактичної температури невелика в порівнянні з ефектом зміни в системі нагріву-охолодження крива зміни температури виглядатиме, як показано на рис. 3.2, де температура коливається між двох граничних значень з дуже незначними відхиленнями від встановлених величин або взагалі без них.

У шарі ґрунту стадіону, як вже відзначалося, у вимірювальному контурі присутні великі часові затримки, які слід враховувати. Температура буде змінюватись не зовсім так, як на приведеному вище графіку. В даному випадку температура ростиме як і раніше, і нагрівач заданої зони регулювання відключиться, коли покази датчика досягнуть верхньої встановленої межі. Але замість негайного припинення передачі тепла, воно поступатиме ще певний час через наявність перехідного періоду. І температура продовжить підвищуватися за межі нормальної точки відключення регулятора, а це звичайно може привести до негативних наслідків, а, можливо і до загибелі трав'яного покриття газону.

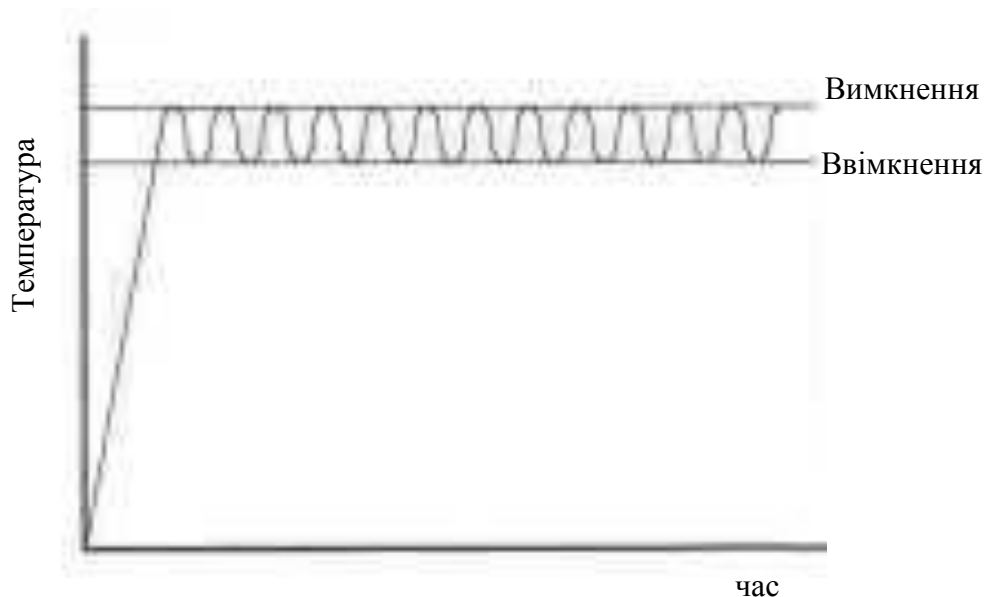


Рисунок 3.2 – Крива зміни температури при двопозиційному регулюванні типу "Ввімкнено-вимкнено" без часової затримки

На нижній межі ситуація аналогічна. Коли температура, вимірювана датчиком, досягне нижньої межі, нагрівач знову включиться, але буде потрібно ще певний час, щоб датчики дізналися про це. В цей час температура продовжуватиме знижуватися нижче за нижню межу ввімкнення нагрівача, під'єданого до зони. Головне, що слід тут відмітити – якість двопозиційного регулювання практично не залежить від якості регулятора, а майже повністю визначається характеристиками навантаження, тобто часовою затримкою між нагрівачем і датчиком.

3.3.2 Пропорційний регулятор

Замість того щоб кожного разу повністю включати або повністю вимикати нагрівач, використовуватимемо його потужність поступово: від нульового значення до повного. Якщо відстань між межами виключення і повної потужності нагріву складає чверть від повної потужності, то говорять, наприклад, що нагрівач включається на 25 %. Якщо відстань складає половину від усього шляху, то на 50% і т. д. Іншими словами вихідний сигнал дорівнює добутку коефіцієнта пропорційності і помилки або різниці між фактичним і заданим значеннями температури.

Для пропорційного регулятора можливий стійкий стан рівноваги, в якому тепло, що подається, в точності дорівнює потребі в ній, тому температура залишатиметься постійною, як показано на рис. 3.3 де використовувана потужність нагрівача постійна і складає 50% від його повної потужності.

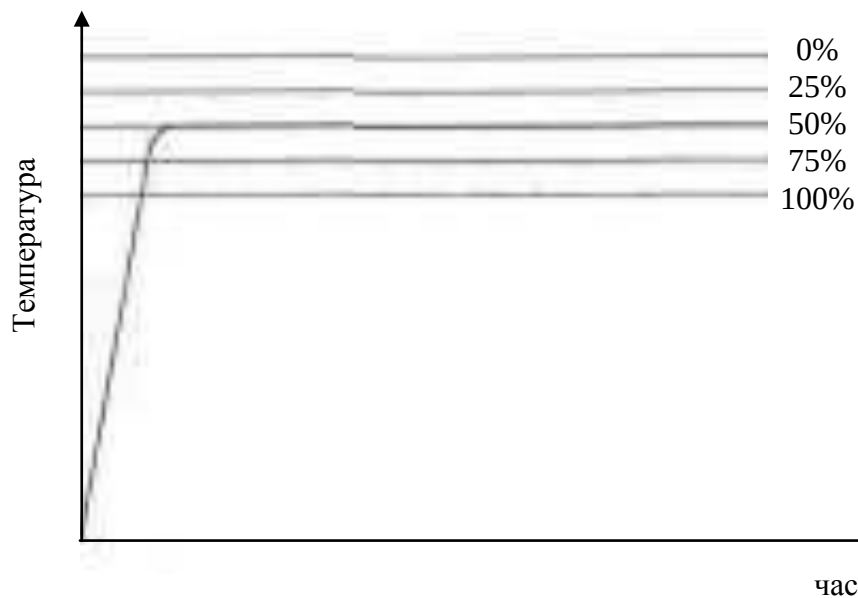


Рисунок 3.3 – Стан стійкої рівноваги для пропорційного регулятора

На жаль, це картина, що занадто ідеалізується, заснована на неявному припущенні, що необхідна потужність регулятора постійна. Але якби це було так, то в регуляторі б взагалі не було необхідності; досить було б простого трансформатора з різними виходами або автотрансформатора. Замість цього відомо, що кількість тепла, потрібного від нагрівача при регулюванні температури ґрунту газона, зазвичай міняється в широких межах. Фактичний графік температури буде швидше схожий на показаний на рис. 3.4.

Пропорційний регулятор так само чутливий до часових затримок, як і двопозиційний регулятор. На практиці для забезпечення стабільності смуга пропорційності для цього типу регулятора повинна відповідати ширині смуги коливань температури при двопозиційному регулюванні. При тривалій роботі якість регулювання для забезпечення стійкого стану пропорційного регулятора виявляється не краще, ніж для двопозиційного. Усуваються тільки пульсації - коливання з малим періодом.

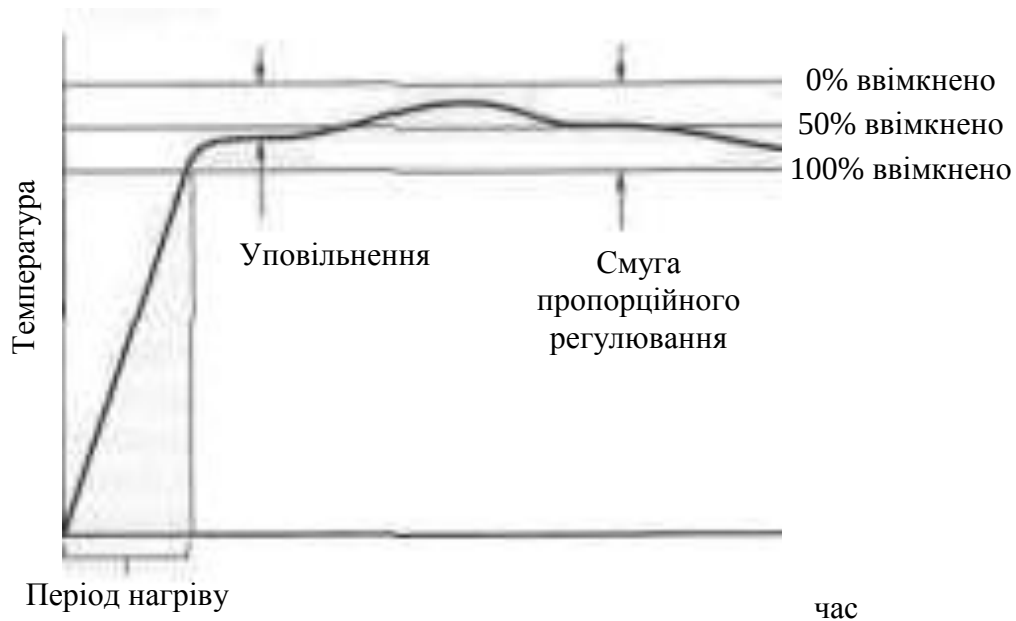


Рисунок 3.4 – Фактичний графік температури для пропорційного регулятора

Таким чином, жоден з двох типів простих регуляторів температури не може забезпечити високі показники якості роботи за наявності великих часових затримок, характерних для устаткування, використовуваного в процесі регулювання температури шару ґрунту газону футбольного поля.

3.3.3 Пропорційно-інтегральний регулятор

Для отримання високих показників роботи за наявності великих часових затримок треба розглянути і так званий пропорційний регулятор з автоматичним поверненням в початкове положення або пропорційно-інтегральний регулятор.

Залежність між вихідним сигналом регулятора $X_{вих}$ і значенням різниці між фактичним і заданим значеннями температури ε визначається виразом:

$$X_{вих} = K_1 \varepsilon + K_2 \int \varepsilon dt \quad (3.1)$$

Фактичне стійке значення температури для правильно налагодженого ПІ-регулятора завжди відповідатиме заданому значенню. Хороший регулятор стійко підтримуватиме значення температури шару ґрунту газону з точністю 1° в усьому діапазоні зміни температури від повного нагріву до повного охолодження незалежно від часових затримок між нагрівачем і датчиком.

3.3.4 Пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор

У практично використовуваних регуляторах до інтегральної складової майже завжди додається диференціальна складова, яка не зачіпає стійкий стан регульованої величини. Це попереджуюча складова, яка примушує регулятор набагато швидше реагувати на зміни (рис. 3.5). Пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор (ПІД-регулятор), незалежно від того, чи поставляється він як окремий пристрій або як частина мікропроцесорної панелі, є найкращим рішенням для усіх типів устаткування регулювання температури шару ґрунту газону, а насправді, для будь-яких завдань, де доводиться мати справу з великими часовими затримками. Тому фактичний вихідний сигнал ПІД-регулятора може бути представлений формулою

$$X_{вих} = K_1 \varepsilon + K_2 \int \varepsilon dt + K_3 \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (3.2)$$

ПІД-регулятор в змозі обробляти великі часові затримки і підтримувати встановлене значення температури. Проте для цього його треба правильно налаштувати. При необхідності оптимальної роботи регулятора смуга пропорційного регулювання, час відновлення до початкового стану і швидкість регулювання слід задати відповідно до конкретного навантаження. Якщо, наприклад, час автоматичного скидання (інтегральна складова) буде занадто великим, то робота регулятора буде у край уповільненою, якщо ж він буде занадто малим, це приведе до сильного коливання температури.

Налаштування значень коефіцієнтів ПІД-регулятора не викликає складнощів, але вимагає розуміння принципу роботи регулятора. Воно може виявитися досить складним для недосвідченого оператора, і навіть у досвідченого може зажадати багато часу. Ідеальний варіант вирішення такої задачі забезпечують сучасні мікропроцесорні регулятори [5]. Вбудована програма аналізує термічний контур навантаження і автоматично налаштовує коефіцієнти на оптимальне значення, звільняючи оператора від цієї тривалої роботи. Новітні системи дозволяють операторові налаштування самої системи, для того, щоб її реакція відповідала конкретним перевагам оператора. Деякі з

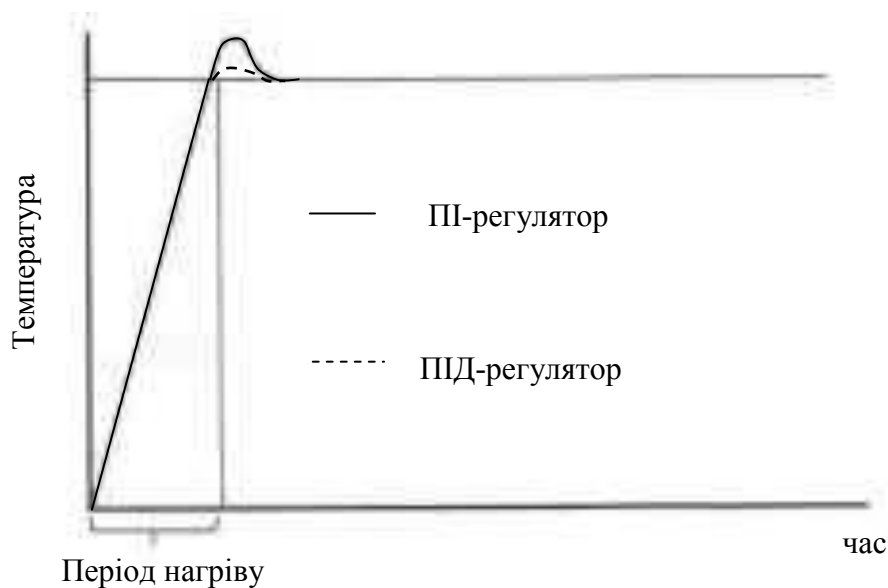


Рисунок 3.5 – Температурні криві для системи нагріву екструдера, що керується ПІ- та ПІД-регулятором

них вважають за краще, щоб система повільно виходила на задане значення і без перерегулювання, інші, навпаки, хочуть, щоб відгук був швидшим, і задане значення температури досягалося якнайшвидше. Після того, як потрібні значення знайдені, змінювати їх доводиться рідко.

3.3.5 Нечітка логіка

Нечітка логіка – дуже продуктивний підхід, використовуваний для систем з багатьма змінними, і, особливо в тих випадках, коли взаємозв'язок причини і наслідку точно невідомий. Дуже сумнівно, що системи з нечіткою логікою можуть працювати краще за ПІД-регулятори в описаних простих контурах регулювання температури. Якщо спостерігається перевага однієї системи перед іншою, то вона полягає не в тому, що вони роблять – обидві роблять абсолютно одне і теж, а в тому, як вони це роблять. У конкретній ситуації певна система може працювати швидше за іншу, але тільки лише це.

Виходячи з викладеного вище матеріалу, можна розробити функціональну схему системи регулювання температури поверхневого шару відкритої земельної ділянки (слайд 03.01).

3.4 Розробка схем електричних принципових реалізації системи регулювання температури поверхневого шару відкритої земельної ділянки

Для побудови мікропроцесорної САР вимогам задовольняє однокристальний мікроконтролер типу AT90S4433, який містить вбудовані ЦАП і АЦП.

В схемі регулювання температури поверхневого шару відкритої земельної ділянки можна виділити дві основні частини: слабкострумову (керуючу) та силову (енергетичну). Реалізація слабкострумової частини на одному мікропроцесорі підвищує надійність і універсальність САК, дозволяє достатньо просто реалізувати необхідні закони зміни керуючих діянь. Оскільки інформація про процес регулювання міститься в самому цифровому сигналі і не пов'язана з його енергією, то вона менш піддана дії перешкод та викривлень.

Слабкострумова частина мікропроцесорної САК повинна вирішувати задачі програмної реалізації цифрового регулятора і формування спеціальних кодових послідовностей для керування силовою частиною з метою отримання сигналу для керування двигуном заслінки.

Принципова схема системи регулювання температури поверхневого шару відкритої земельної ділянки представлена на слайді 06.00. Вона складається із мікроконтролера AT90S4433, який реалізує алгоритм керування, вхідного роз'єму, на який надходить сигнал датчика вологості та сигнал задаючого пристрою, вхідних масштабуючих підсилювачів для приведення вхідних сигналів до уніфікованого рівня, що сприймається мікроконтролером, вихідного роз'єму, сигнали з якого надходять на пристрій керування роботою нагрівального елемента, рідкокристалічного індикатора.

На елементі DD3 (мікросхема AT90S4433) зібраний мікроконтролер з внутрішнім тактовим генератором G1, частота якого визначається зовнішнім кварцовим резонатором 12 МГц. Вхідні масштабуючі підсилювачі, які в масштабі перетворюють вхідні сигнали датчика та задаючого пристрою до рівня, що сприймається мікропроцесорною системою, виконані на елементах DA3 та DA4 (мікросхеми K140УД17 – це операційні підсилювачі, які використовуються для

підсилення без викривлень сигналів з датчиків, подавляють синфазний сигнал, мають малу напругу зміщення нуля, малий його дрейф, малий рівень шумів, великий вхідний опір), зміна масштабу виконується зміною коефіцієнта підсилення операційного підсилювача [6-8]. Сигнали з підсилювачів через мультиплексор DD1 (мікросхема AD7890) надходять на входи мікро контролера. Керуючі сигнали з портів PB1 та PB2 мікроконтролера надходять на демультимплексор DD2 (мікросхема K530 ИД7), з якого через роз'єм подаються на нагрівач. Наявність в спроектованій схемі електричній принциповій мультиплексора і демультимплексора обґрунтована закладенням в проект можливості розширення функцій, використовуваних мікро контролером, адже його технічні характеристики дозволяють це зробити.

На даному кресленні також наведена схема електрична принципова стабілізатора блока живлення розроблюваної системи. Роз'єм XP3 дозволяє через SPI INTERFACE здійснювати програмування і перепрограмування мікро контролера у разі розширення його функціональності.

4 РОЗРАХУНКИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ВИРОБУ

4.1 Рівняння елементів системи:

об'єкта:

$$T_0 \left(\frac{d\Theta}{dt} \right) + \Theta = k_0 \mu - k_1 f ; \quad (4.1)$$

вимірювальної схеми:

$$U_m = k_2 \Delta X ; \quad (4.2)$$

підсилювача:

$$U_y = k_3 U_m ; \quad (4.3)$$

виконавчого двигуна (з редуктором і клапаном)

$$T_1 \left(\frac{d^2 \mu}{dt^2} \right) + \frac{d\mu}{dt} = k_4 U_y . \quad (4.4)$$

Параметри:

Θ – температура теплоносія в об'єкті; X – поточне значення температури після датчика; X_0 – задане значення температури теплоносія; $\Delta X = X_0 - X$ – відхилення температури; U_y – напруга управління двигуном; μ – переміщення клапана; f – еквівалентне збурююче діяння; U_m – вихідна напруга вимірювального мосту; U_0 – напруга живлення мостової схеми.

Для розрахунків приймемо наступні значення коефіцієнтів підсилення та сталих часу:

$$\begin{aligned} T_0 &= 5,0 \text{ с}; & T_1 &= 0,024 \text{ с}; & k_0 &= 1,0 \text{ град/см}; & k_1 &= 0,4 \text{ град/см}; \\ k_2 &= 1,3 \text{ В/град}; & k_3 &= 12; & k_4 &= 0,25 \text{ см/В}\cdot\text{с}; & f &= 0,2 \text{ см} \end{aligned}$$

Система повинна задовольняти наступним вимогам:

- час регулювання приймається зменшеним на 30 % від отриманого для заданих параметрів системи;
- максимальне перерегулювання не повинно перевищувати 25 %;
- запас стійкості за модулем не менше 15 дБ, за фазою не менше 30°;
- в процесі синтезу САР розробити систему, оптимальну за швидкодією.

4.2 Будова, принцип регулювання та принцип дії САР

Завдання САР - підтримка температури теплоносія на певному (приблизно сталому) рівні, що задається оператором, за рахунок зміни кількості палива, що подається у котел. Контроль температури теплоносія здійснюється за допомогою термодатчика. САР складається з об'єкту регулювання, термодатчика, вимірювальної мостової схеми, задавача, фазочутливого підсилювача, виконавчого двигуна (з редуктором) та клапана.

В усталеному стані, коли температура теплоносія дорівнює заданому значенню, міст – збалансований, різниця на виході вимірювальної діагоналі дорівнює нулю, напруга на виході підсилювача також дорівнює нулю, виконавчий двигун не змінює положення клапана, який регулює подачу палива в котел.

Якщо температура теплоносія в силу якихось обставин зміниться в той чи інший бік, міст розбалансується і на його виході з'явиться напруга розбалансу з відповідною фазою. Ця різниця підсилюється фазочутливим підсилювачем з коефіцієнтом підсилення, необхідним для керування виконавчим двигуном, який в свою чергу поверне клапан регулювання подачі палива в котел в бік зменшення або збільшення кількості подаваного палива відповідно зі знаком напруги на вході підсилювача.

Таким чином, в даній схемі використаний принцип регулювання за відхиленням дійсного значення вихідної величини об'єкта від його заданого значення. Для реалізації принципу керування за відхиленням САР має бути замкненою. Основною особливістю і перевагою цієї схеми є те, що САР реагує на відхилення дійсного значення регульованої величини від заданого значення незалежно від причин, які зумовили це відхилення.

4.3 Функціональна схема САР

Побудовано функціональну схему САР, яка представлена на рис. 4.1.

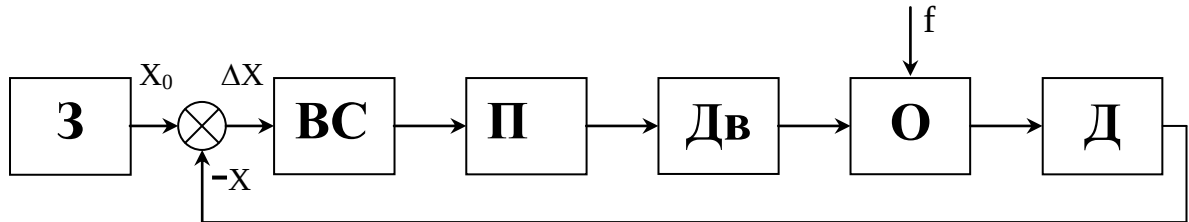


Рисунок 4.1 – Функціональна схема САР температури газону футбольного поля:

З – задаючий пристрій; ВС – вимірювальна схема;
 П – підсилювач; Д – двигун(з редуктором і клапаном);
 О – об'єкт регулювання; Д – датчик

4.4. Структурна схема САР

При побудові структурної схеми САР були використані диференціальні рівняння елементів схеми. Перейдемо від диференціальних рівнянь елементів системи до передаточних функцій цих елементів. Передаточна функція елемента – це відношення зображення за Лапласом вихідної величини до зображення за Лапласом вхідної величини при нульових початкових умовах [9].

Для отримання передаточної функції об'єкта прирівнюємо до нуля збурюючі діяння f , так як наша задача – отримати передаточну функцію за керуючим діянням, отже отримаємо диференціальне рівняння об'єкта в такому вигляді:

$$T_0 \left(\frac{d\Theta}{dt} \right) + \Theta = k_0 \mu \quad (4.5)$$

Для отримання передаточних функції елементів схеми застосовано пряме перетворення Лапласа:

$T_0 \bar{\Theta} p + \bar{\Theta} = k_0 \bar{\mu}$, де p – оператор Лапласа.

$$W_o(p) = \frac{\bar{X}_{вих}}{\bar{X}_{вх}} = \frac{\bar{\Theta}}{\bar{\mu}} = \frac{k_0}{T_0 p + 1}. \quad (4.6)$$

Це аперіодична динамічна ланка.

Аналогічним чином отримуємо передаточні функції інших елементів системи:

- вимірювальної схеми:

$$W_{ec}(p) = \frac{\bar{U}_m}{\Delta \bar{X}} = k_2. \quad (4.7)$$

Це підсилювальна динамічна ланка;

- підсилювача:

$$W_n(p) = \frac{\bar{U}_y}{\bar{U}_m} = k_3. \quad (4.8)$$

Це підсилювальна динамічна ланка;

- двигуна:

$$W_{de}(p) = \frac{\bar{\mu}}{\bar{U}_y} = \frac{k_4}{p(T_1 p + 1)}. \quad (9)$$

Це реальна інтегруюча ланка. Судячи з одиниць вимірювання, стала інтегрування входить в знаменник передаточної функції, а її значення $T_i = 1/k_4 = 4$ с є великим, тому, оскільки фізично складно виділити окремі динамічні складові даного агрегату, фактично будемо приймати значення $T_i = 1$ с і через це його показувати у формулі не будемо, а в чисельнику передаточної функції врахуємо безрозмірне значення $k_4 = 0,25$;

- датчика:

$$W_d(p) = 1. \quad (4.10)$$

Це повторювач.

З'єднавши типові динамічні ланки відповідно до передачі діянь, дістанемо структурну схему системи автоматичного регулювання температури, приведену на рис. 4.2.

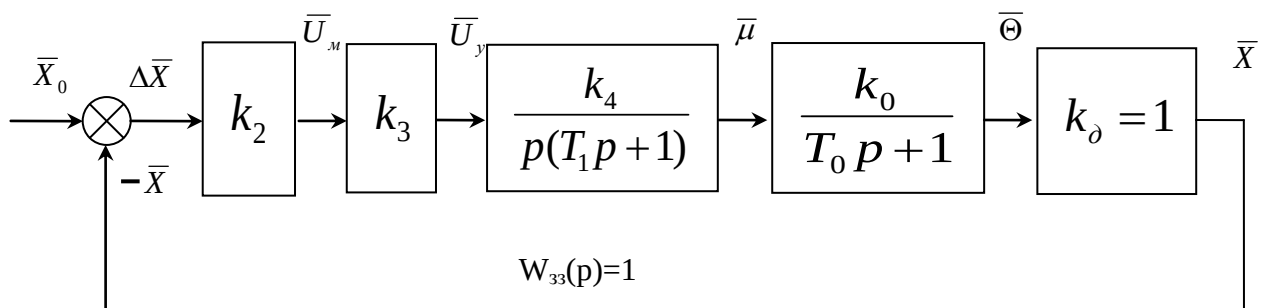


Рисунок 4.2 – Структура САР температури газону футбольного поля

4.5 Визначення передаточних функцій розімкнутої та замкнутої систем та характеристичного рівняння

Елементи структурної схеми САР розташовані послідовно, тому для отримання передаточної функції розімкнутої системи потрібно перемножити передаточні функції всіх елементів [2]:

$$W_p(p) = W_{вс}(p) \cdot W_n(p) \cdot W_{дв}(p) \cdot W_o(p) \cdot W_d(p) = \frac{k_0 k_2 k_3 k_4}{p(T_1 p + 1)(T_0 p + 1)}$$

Для спрощення запису введемо позначення:

$$k = k_0 k_2 k_3 k_4$$

Тоді передаточна функція розімкнутої системи матиме вигляд:

$$W_p(p) = \frac{k}{p(T_1 p + 1)(T_0 p + 1)}. \quad (4.11)$$

Передаточна функція замкнутої системи, з врахуванням того, що $W_{зз}(p) = 1$, розраховується за формулою

$$W_z(p) = \frac{W_p(p)}{1 + W_p(p)} = \frac{k}{p(T_1 p + 1)(T_0 p + 1) + k}. \quad (4.12)$$

Характеристичне рівняння має вигляд:

$$T_1 T_0 p^3 + (T_1 + T_0) p^2 + p + k = 0, \quad (4.13)$$
$$0,12 p^3 + 5,024 p^2 + p + 3,9 = 0.$$

4.6 Побудова АФЧХ, ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкнутої системи

4.6.1 Побудова АФЧХ розімкнутої системи

Для побудови амплітудно-фазової частотної характеристики розімкнутої системи необхідно у відповідній передаточній функції провести заміну $p = j\omega$ ($j = \sqrt{-1}$, ω – частота), виділити дійсну $P(\omega)$ і уявну $Q(\omega)$ частини та, змінюючи частоту від 0 до ∞ , відкласти відповідні значення:

$$\begin{aligned}
 W_p(j\omega) &= \frac{k}{j\omega(T_1 j\omega + 1)(T_0 j\omega + 1)} = \frac{k}{T_1 T_0 (j\omega)^3 + (T_1 + T_0)(j\omega)^2 + j\omega} = \\
 &= \frac{k}{-jT_1 T_0 \omega^3 - (T_1 + T_0)\omega^2 + j\omega} = \frac{k}{-(T_1 + T_0)\omega^2 + j(\omega - T_1 T_0 \omega^3)} = \\
 &= \frac{k(-(T_1 + T_0)\omega^2 - j(\omega - T_1 T_0 \omega^3))}{(-(T_1 + T_0)\omega^2)^2 + (\omega - T_1 T_0 \omega^3)^2}
 \end{aligned}$$

Отже, підставивши значення коефіцієнтів і сталих часу, отримаємо:

$$P(\omega) = \frac{k(-(T_1 + T_0)\omega^2)}{(-(T_1 + T_0)\omega^2)^2 + (\omega - T_1 T_0 \omega^3)^2} = \frac{3,9(-5,024\omega^2)}{(-5,024\omega^2)^2 + (\omega - 0,12 \cdot \omega^3)^2};$$

$$Q(\omega) = \frac{k(-(\omega - T_1 T_0 \omega^3))}{(-(T_1 + T_0)\omega^2)^2 + (\omega - T_1 T_0 \omega^3)^2} = \frac{3,9(-(\omega - 0,12 \cdot \omega^3))}{(-5,024\omega^2)^2 + (\omega - 0,12 \cdot \omega^3)^2}$$

Побудуємо графік АФЧХ розімкнутої системи (рис. 4.3).

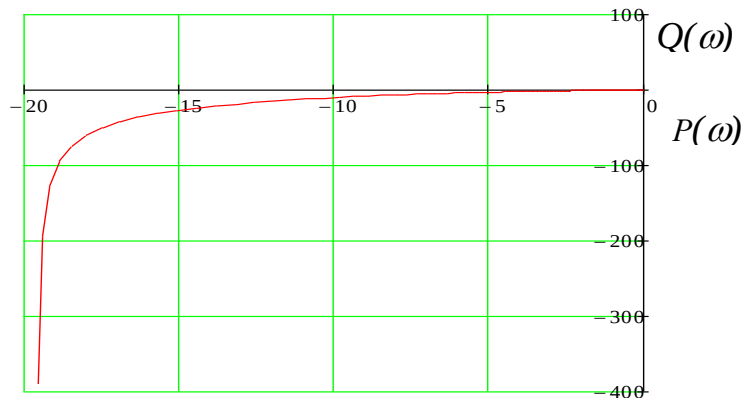


Рисунок 4.3 – АФЧХ розімкнутої системи

4.6.2 Побудова ЛАЧХ розімкнутої системи

Для побудови ЛАЧХ за допомогою асимптотичного методу передусім потрібно знайти спрягаючі частоти за сталими часу динамічних ланок:

$$\omega_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{5} = 0,2 \text{ с}^{-1}, \text{ належить аперіодичній ланці};$$

$$\omega_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{0,024} = 41,7 \text{ с}^{-1}, \text{ належить аперіодичній ланці}.$$

Знайдені спрягаючі частоти відмічаємо на осі частот в логарифмічному масштабі (рис. 4.4). Низькочастотна асимптота ЛАЧХ при $\omega < \omega_0$ являє собою пряму з нахилом -20 дБ/дек, так як система містить інтегруючу динамічну ланку. Ця пряма або її продовження при $\omega = 1$ повинна мати ординату, яка дорівнює $20 \lg k = 11,8$ дБ ($k = 3,9$ – коефіцієнт підсилення розімкнутої системи)

Після кожної із спрягаючих нахил характеристики $L(\omega)$ змінюється порівняно з попереднім значенням на - 20 дБ/дек, так як дані частоти належать аперіодичним динамічним ланкам першого порядку. Високочастотна асимптота ЛАЧХ, тобто її частина при частотах, більших ω_1 , має нахил - 60 дБ/дек.

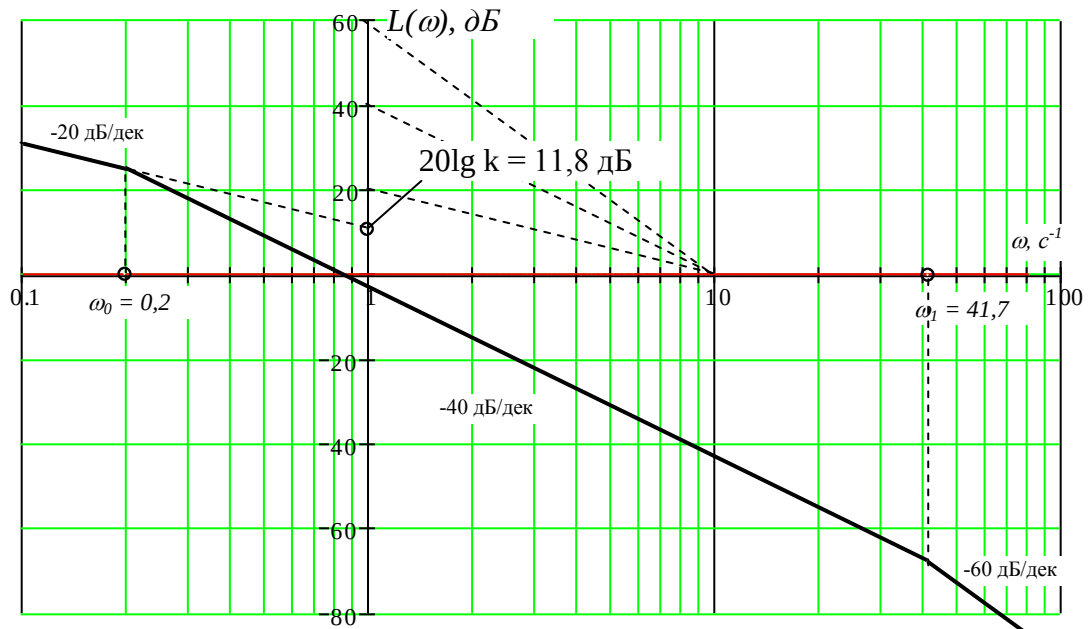


Рисунок 4.4 – ЛАЧХ розімкнутої системи $L(\omega)$

4.6.3 Побудова ЛФЧХ розімкнутої системи

ЛФЧХ одноконтурної розімкнутої системи отримується в результаті простого складання ординат фазових характеристик типових ланок (рис. 4.5):

$$\phi(\omega) = \left(-\arctg(\omega T_0) - \left(\frac{\pi}{2} + \arctg(\omega T_1) \right) \right) \cdot \frac{180}{\pi}. \quad (4.14)$$

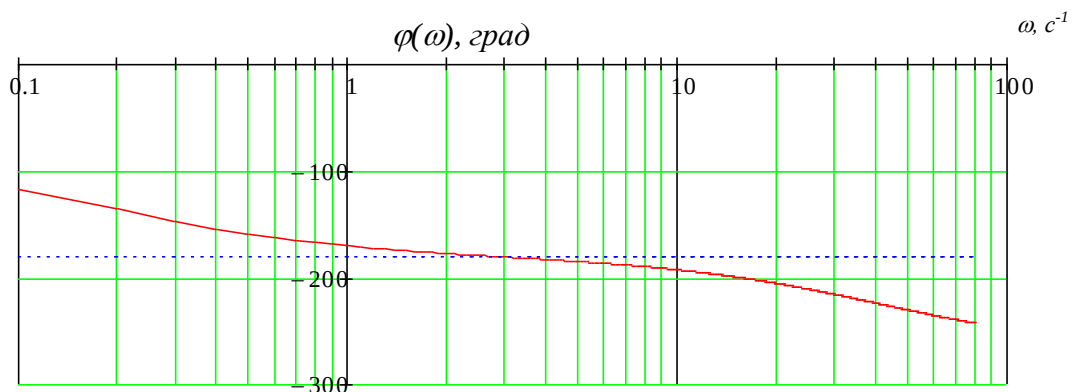


Рисунок 4.5 – ЛФЧХ розімкнутої системи $\phi(\omega)$

4.7 Побудова дійсної частотної характеристики замкнутої системи

Для цього необхідно виділити дійсну частину передаточної функції замкнутої системи, провівши заміну $p = j\omega$ ($j = \sqrt{-1}$, ω - частота), та, змінюючи частоту від 0 до ∞ , відкласти відповідні значення $P_3(\omega)$:

$$W_3(\omega) = \frac{k}{p(T_1 p + 1)(T_0 p + 1) + k} = \frac{k}{T_1 T_0 p^3 + (T_1 + T_0)p^2 + p + k};$$

Підставимо $p = j\omega$, отримаємо:

$$\begin{aligned} W_3(\omega) &= \frac{k}{T_1 T_0 (j\omega)^3 + (T_1 + T_0)(j\omega)^2 + j\omega + k} = \frac{k}{-jT_1 T_0 \omega^3 - (T_1 + T_0)\omega^2 + j\omega + k} = \\ &= \frac{k}{(k - (T_1 + T_0)\omega^2) + j(\omega - T_1 T_0 \omega^3)} = \frac{k((k - (T_1 + T_0)\omega^2) - j(\omega - T_1 T_0 \omega^3))}{(k - (T_1 + T_0)\omega^2)^2 + (\omega - T_1 T_0 \omega^3)^2} \end{aligned}$$

Виділимо дійсну частину:

$$P_3(\omega) = \frac{k(k - (T_1 + T_0)\omega^2)}{(k - (T_1 + T_0)\omega^2)^2 + (\omega - T_1 T_0 \omega^3)^2} = \frac{3,9(3,9 - 5,024\omega^2)}{(3,9 - 5,024\omega^2)^2 + ((\omega - 0,12 \cdot \omega^3))^2}$$

Побудуємо графік дійсної частотної характеристики замкнутої системи (рис. 4.6).

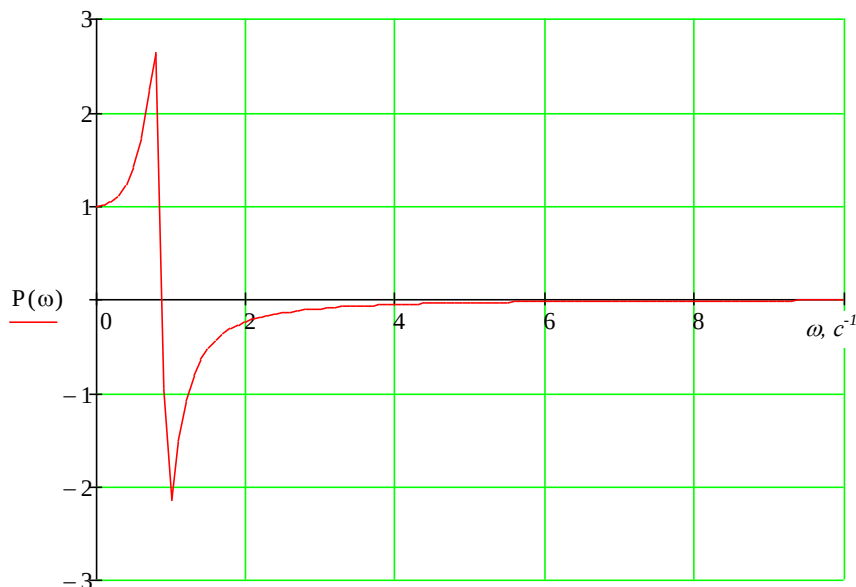


Рисунок 4.6 – Дійсна частотна характеристика замкнутої системи

4.8 Визначення стійкості замкнутої системи і запасів стійкості. Побудова області стійкості

4.8.1 Дослідження системи на стійкість та визначення запасів стійкості за модулем і фазою за допомогою частотного критерію Найквіста-Михайлова

За цим критерієм стійкість замкнутої системи автоматичного регулювання визначають за амплітудно-фазовою частотною характеристикою стійкої розімкнутої системи (рис. 4.7). Розімкнута система автоматичного регулювання стійка в тому разі, коли складається тільки із стійких динамічних ланок (має не більше однієї інтегруючої ланки). Якщо розімкнута система автоматичного керування є стійкою, то для стійкості замкнутої системи необхідно і достатньо, щоб АФХ розімкнутої системи не охоплювала точку з координатами $(-1, j0)$ при зміні частоти від 0 до ∞ .

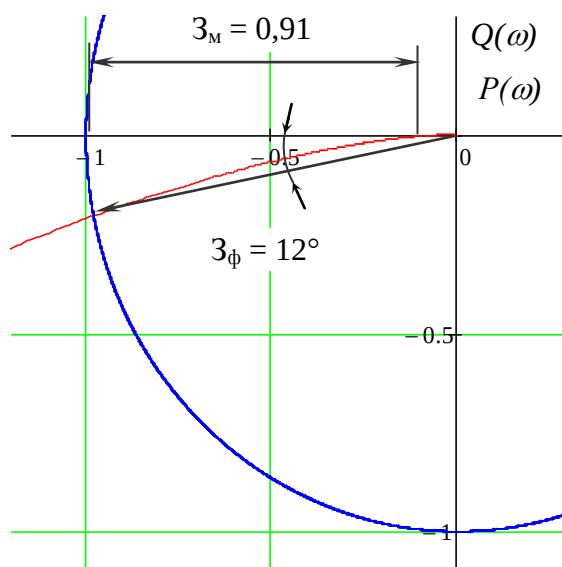


Рисунок 4.7 – Визначення запасів стійкості за модулем і фазою за допомогою частотного критерію Найквіста-Михайлова

Таким чином маємо: за критерієм Найквіста-Михайлова система стійка і запас стійкості за модулем $Z_M = 0,91$; за фазою $-Z_\phi = 12^\circ$.

4.8.2 Дослідження системи на стійкість та визначення області стійкості за методом D-розбиття в площині одного параметра

Побудуємо область стійкості системи в площині параметру k_3 , тому що його легко змінювати шляхом підбору коефіцієнту підсилення підсилювача:

Характеристичне рівняння має вигляд:

$$T_1 T_0 p^3 + (T_1 + T_0) p^2 + p + k_0 k_2 k_3 k_4 = 0$$

Запишемо характеристичне рівняння відносно k_3 :

$$K(p) = -\frac{(T_1 T_0 p^3 + (T_1 + T_0) p^2 + p)}{k_0 k_2 k_4}$$

Підставивши $p = j\omega$ та виділивши дійсну і уявну частини даного виразу, отримаємо:

$$K(\omega) = -\frac{(-jT_1 T_0 \omega^3 - (T_1 + T_0)\omega^2 + j\omega)}{k_0 k_2 k_4} = \frac{(T_1 + T_0)\omega^2}{k_0 k_2 k_4} + j \frac{(T_1 T_0 \omega^3 - \omega)}{k_0 k_2 k_4}.$$

$$P(\omega) = \frac{(T_1 + T_0)\omega^2}{k_0 k_2 k_4}; \quad Q(\omega) = \frac{(T_1 T_0 \omega^3 - \omega)}{k_0 k_2 k_4}$$

Побудуємо криву D-розбиття в площині параметру k_3 при зміні частоти від $-\infty$ до $+\infty$ (рис. 4.8).

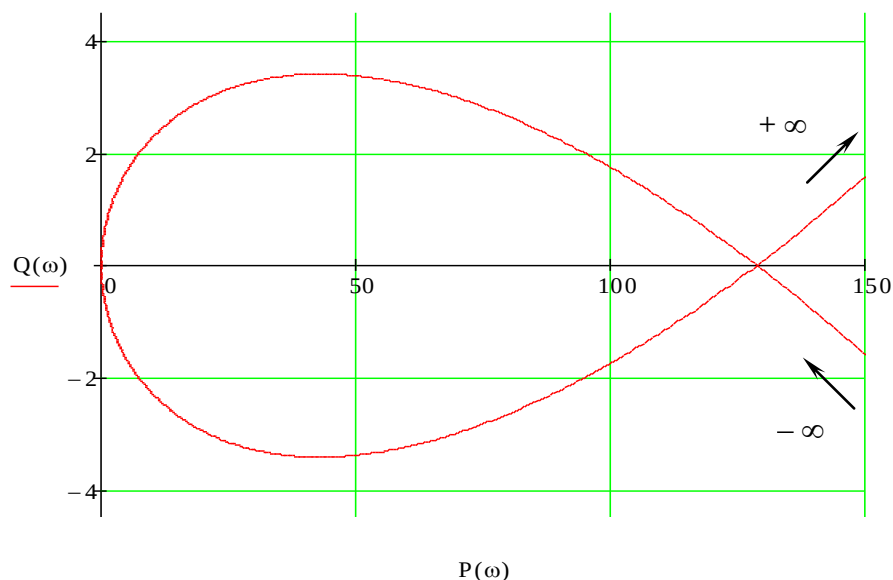


Рисунок 4.8 – D-розбиття в площині параметру k_3

Оскільки у стійкій системі всі корені містяться ліворуч від уявної осі, при обході її від $-\infty$ до $+\infty$ ділянка стійкості також буде ліворуч від добутої кривої. Для зручності відшукування ділянки стійкості можна нанести на криву штриховку зліва при русі від $-\infty$ до $+\infty$. З побудованої області стійкості можна визначити

критичне значення коефіцієнта k_3 , яке в даному випадку дорівнює $k_{3кр} = 129$. Як видно, задане значення коефіцієнта підсилення підсилювача $k_3 = 12$ входить в зону стійкості, а значить для подальших розрахунків можна залишити задане значення цього параметра.

4.9 Оцінка якості регулювання замкнутої САР по ЛАЧХ розімкнутої системи

Оцінка якості регулювання замкнутої САР полягає в визначенні запасу стійкості (по модулю і фазі), та частоти зрізу. Для визначення цих величин будемо ЛАЧХ і ЛФЧХ розімкненої системи, при чому виконуємо їх взаємне розміщення (рис. 4.9).

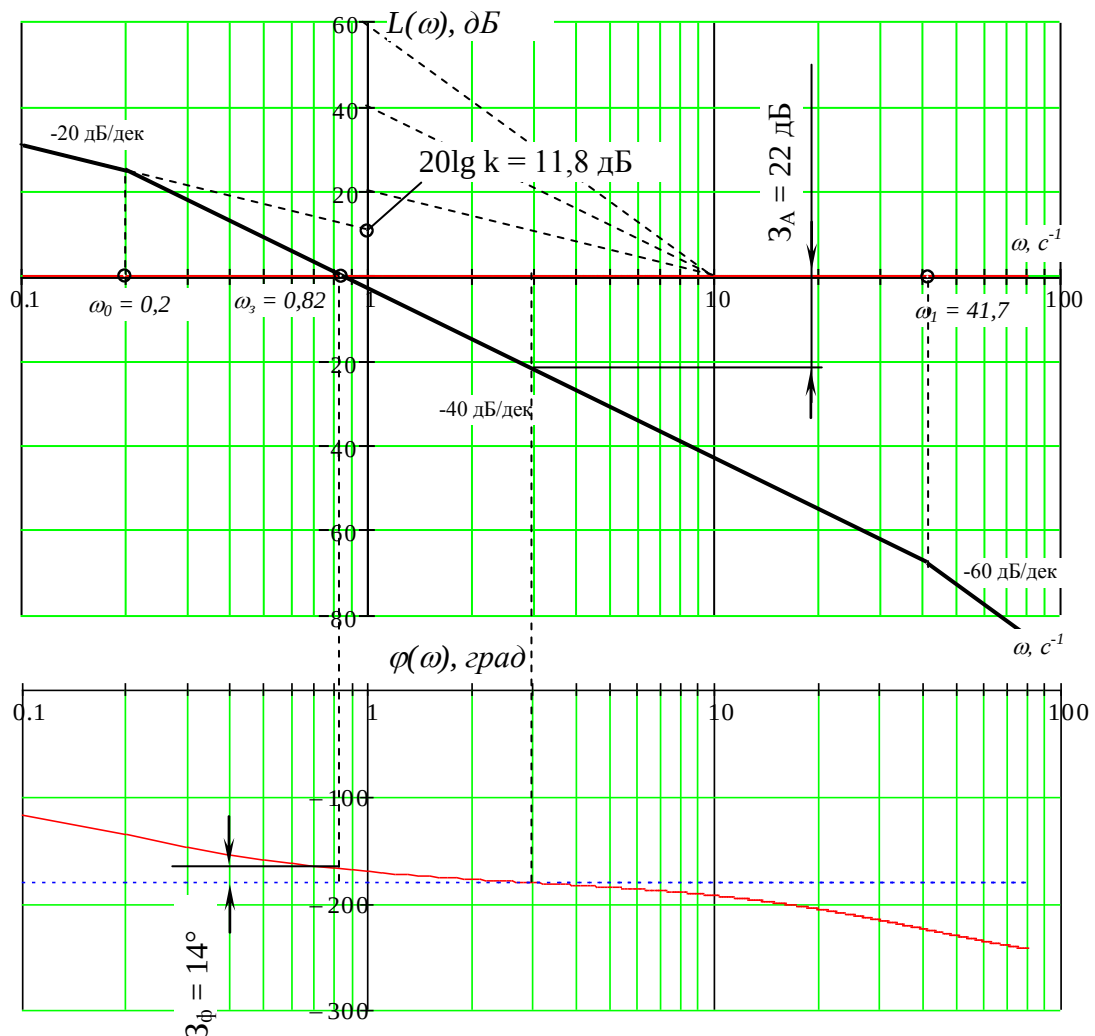


Рисунок 4.9 – Оцінка якості регулювання замкнутої САР по ЛАЧХ розімкнутої системи

З даної побудови можна визначити: частота зрізу $\omega_z = 0,82 \text{ с}^{-1}$, звідки можна визначити час регулювання, поставивши систему в жорсткі умови, $t_p = \frac{2\pi}{\omega_z} = 7,66 \text{ с}$; запас стійкості по амплітуді $z_A \approx 22 \text{ дБ}$; запас стійкості по фазі $z_\phi \approx 14^\circ$.

4.10 Побудова перехідного процесу замкнутої системи

Регульована величина в часі при подачі на вхід системи одиничного ступінчастого діяння описується залежністю

$$h(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty P_3(\omega) \frac{\sin(\omega t)}{\omega} d\omega. \quad (4.15)$$

Підставляючи відповідні значення, отримаємо наступний графік (рис. 4.10).

По графіку можна зробити висновок, що перехідний процес – коливальний, він здійснюється з незмінним періодом коливань.

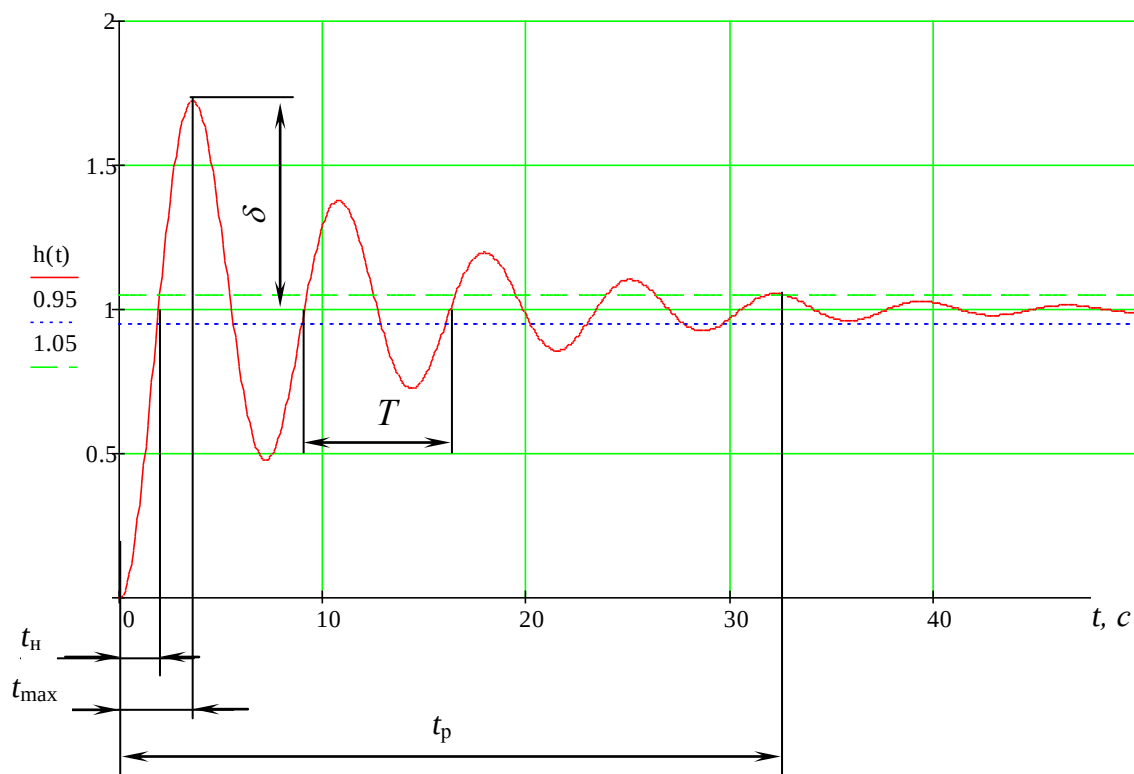


Рисунок 4.10 – Графік перехідного процесу вихідної системи

4.11 Визначення прямих показників якості САР

З побудованого перехідного процесу можна визначити наступні прямі показники якості САР:

- час регулювання $t_p \approx 32,5$ с – це час від початку дії вхідного діяння до входження системи в зону 2Δ , він залежить від швидкодії динамічних ланок та від їх кількості в головному контурі; через те, що до системи ставляться жорсткі вимоги, то даний параметр, як вимога до САР для її синтезу, приймається рівним $t_p = 5,36$ с, як визначено по ЛАЧХ розімкнутої системи, чим поставимо ще більш жорсткі умови;
- перерегулювання $\delta = 72,3$ %;
- частота коливань $\omega = \frac{2\pi}{T} = 0,88$ с⁻¹, де $T = 7,1$ с – період коливань;
- кількість коливань перехідного процесу $n = 4$;
- час досягнення першого максимуму $t_{\max 1} = 3,7$ с;
- час наростання перехідного процесу $t_n = 1,9$ с – це час досягнення вихідною величиною усталеного значення;
- декремент затухання перехідного процесу характеризує затухання перехідного процесу, це відношення відхилень сусідніх коливань $d = 1,91$.

Згідно вимог до системи, час регулювання для проведення її синтезу приймається зменшеним на 30 % від отриманого, тобто $t_p = 5,36$ с.

4.12 Побудова бажаної ЛАЧХ розімкнутої оптимальної за швидкодією системи по вимогам, які пред'явлені до неї

Вимоги до синтезуємої САР: час регулювання $t_p = 5,36$ с; максимальне перерегулювання $\delta = 25\%$; запас стійкості за модулем не менше 15 дБ; за фазою не менше 30°. Для синтезу САР необхідно побудувати вихідну ЛАЧХ розімкнутої системи, бажану ЛАЧХ та ЛАЧХ коректуючого пристрою.

Побудова бажаної ЛАЧХ виконується в кілька етапів (рис. 4.11). Побудова в області низьких частот аналогічна до побудови ЛАЧХ незмінної системи. Тобто проводиться асимптота з нахилом -20 дБ/дек через точку з координатами $20 \lg k = 11,8$ дБ.

Побудова в області середніх частот – це найбільш відповідальна асимптота. В даному діапазоні ЛАЧХ визначається заданими значеннями перегулювання та тривалістю перехідного процесу. З міркувань наближення реального процесу до оптимального (за швидкодією) нахил середньої частотної асимптоти бажаної ЛАЧХ вибирається -20 дБ/дек. Вибір частоти зрізу ω_z (частота, при якій ЛАЧХ перетинає вісь частот) виконують на підставі нерівності $\omega_{z\min} \leq \omega_z \leq \omega_{z\max}$. Для того, щоб задовольнити вимоги до якості системи, необхідно, щоб ω_z була менше частоти зрізу $\omega_{z\max}$, яка визначається за максимальним прискоренням координати і величиною керуючого ступінчатого сигналу. Крім того дана частота ω_z повинна бути більше $\omega_{z\min}$, яка вибирається за заданим значенням максимального перегулювання δ_m та тривалістю регулювання t_p . По заданому значенню δ_m за допомогою кривої $\delta = f(P_{z\max})$ номограми [2] визначаємо відповідне значення $P_{z\max}$. Потім по значенню $P_{z\max}$ за допомогою кривої $t_p = f(P_{z\max})$ визначаємо значення $\frac{3\pi}{t_p}$. Цю величину прирівнюємо до заданого значення $t_p = 5,36$ с і з отриманого рівняння визначаємо частоту зрізу $\omega_{z\min} = 1,76$ с⁻¹.

Вибрану частоту зрізу $\omega_z = 1,6$ с⁻¹ (дещо збільшену), наносимо на графік (рис. 14). Потім будуємо середньочастотну асимптоту, провівши її через точку ω_z на осі абсцис з нахилом -20 дБ/дек.

По відомому значенню $P_{z\max} = 1,2$ дійсної частотної характеристики знаходимо мінімальне значення $P_{z\min}$, використовуючи наближене співвідношення для типової дійсної частотної характеристики $P_{z\min} = 1 - P_{z\max} = -0,2$.

Для забезпечення необхідного запасу стійкості системи по амплітуді і фазі треба продовжити середньочастотну асимптоту ліворуч і праворуч на певну величину. Запаси стійкості знаходять по номограмам $L(\omega) = f(\varphi)$ при P_z дорівнює константі – це колові діаграми, P_z – значення дійсної частотної характеристики замкнутої системи. Отже по номограмі знаходимо лінії, які відповідають $P_{z\max} = 1,2$ і $P_{z\min} = -0,2$. Ці криві симетричні відносно осі абсцис. Запас стійкості

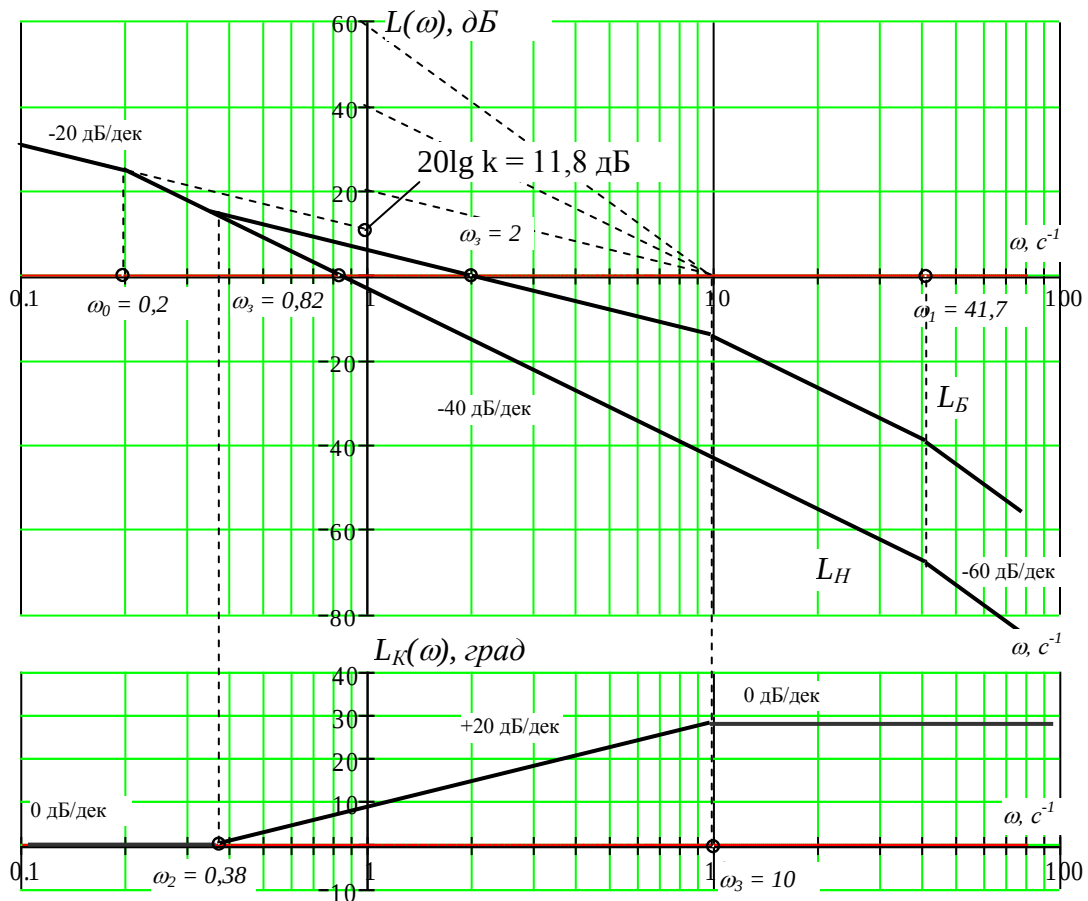


Рисунок 4.11 – Побудова бажаної ЛАЧХ та визначення ЛАЧХ
корегуючого пристрою

по амплітуді знайдемо, провівши до цих кривих горизонтальні дотичні і прочитавши відповіді на осі ординат, $L_1 = 15$ дБ, $L_2 = -15$ дБ, тобто середньочастотну асимптоту треба продовжити ліворуч і праворуч до ординат L_1 та L_2 і лише після цього спрягати з сусідніми ділянками [2].

Запас стійкості по фазі γ знайдемо, провівши вертикальні дотичні до кривих $P_{\text{зmax}} = 1,2$ і $P_{\text{зmin}} = -0,2$ і відрахувавши значення кута в градусах від дотичної до лінії -180° . В даному випадку $\gamma = 45^\circ$ [2], [3].

4.13 Синтез коректуючого пристрою САР за логарифмічними частотними характеристиками

ЛАЧХ коректуючого пристрою визначаємо як різницю бажаної та незмінної ЛАЧХ $L_k(\omega) = L_6(\omega) - L_n(\omega)$ (рис. 4.11). За виглядом ЛАЧХ коректуючого пристрою обираємо схему коректуючого пристрою (рис. 4.12)[2]:

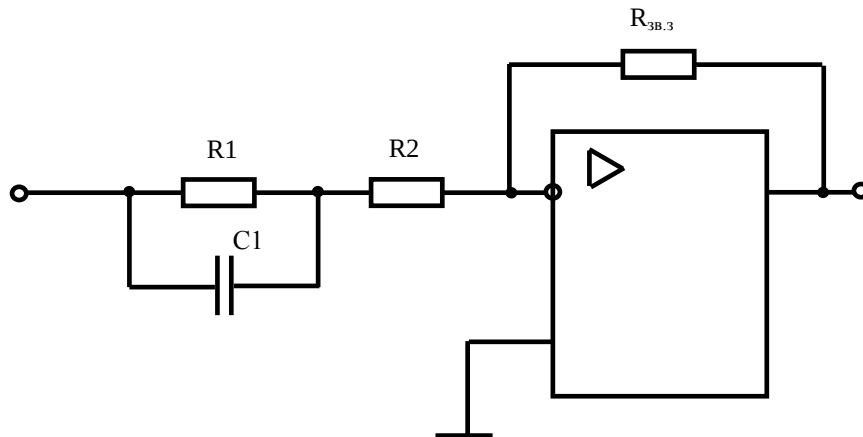


Рисунок 4.12 – Схема коректуючого

Передаточна функція такого чотирьохполюсника у загальному вигляді:

$$W_{kn}(p) = \frac{k(T_2 p + 1)}{(T_3 p + 1)}$$

де $T_2 = 1/\omega_2 = 1/0,38 = 2,6$ с; $T_3 = 1/\omega_3 = 1/10 = 0,1$ с

Підставивши у рівняння загального виду сталі часу, матимемо передаточну функцію коректуючого пристрою:

$$W_{kn}(p) = \frac{1 \cdot (2,6p + 1)}{(0,1p + 1)}$$

Обчислюємо параметри R_1 , R_2 , C схеми коректуючої ланки за допомогою формул [2]:

$$k = \frac{R_2}{R_2 + R_1}; T_2 = R_1 C; T_3 = k \cdot T_4 = \frac{R_1 R_2 C}{R_1 + R_2}$$

Для отримання номіналів елементів коректуючого пристрою задавшись $C = 2 \times 10^{-6} = 2$ мкФ, отримано такі значення опорів:

$$R_1 = T_2 / C = 2,6 / 2 \times 10^{-6} = 1,3 \times 10^6 = 1,3 \text{ МОм.}$$

Далі, через те, що $k = T_3/T_2 = 0,1/2,6 = 0,04$ і $k = \frac{R_2}{R_2 + R_1}$,

$$R_2 = \frac{kR_1}{1-k} = \frac{0,04 \cdot 1,3 \times 10^6}{1-0,04} = 54,2 \times 10^3 \approx 55 \text{ кОм.}$$

Вибираємо номінали резисторів зі стандартного ряду опорів $R_1 = 1,3 \text{ МОм}$, $R_2 = 56 \text{ кОм}$.

Вибрана коректуюча ланка є активним чотирьохполюсником. Для забезпечення $k_k = 1$ необхідно прийняти $R_{зв.3} = R_1 + R_2 = 1,356 \text{ МОм}$, прийемо зі стандартного ряду опорів $R_{зв.3} = 1,3 \text{ МОм}$.

4.14 Побудова кривої перехідного процесу синтезованої САР

Запишемо передаточну функцію замкнутої скорегованої системи

$$W_{зк}(p) = \frac{k(T_2 p + 1)}{(T_1 p + 1)(T_0 p + 1) \cdot (T_3 p + 1) + k \cdot (T_2 p + 1)} \quad (4.16)$$

Провівши заміну $p = j\omega$, виділимо дійсну частину передаточної функції замкнутої скорегованої системи для побудови дійсної частотної характеристики:

$$P_3(\omega) = \frac{k \cdot T_2 \omega \left((1 + kT_2) \omega^5 - T_1(T_0 + T_1 + T_0 T_3) \omega^3 \right) + k \left(T_1 T_0 T_3 \omega^4 - (T_0 + T_1 + T) \omega^2 + k \right)}{\left(T_1 T_0 T_3 \omega^4 - (T_0 + T_1 + T) \omega^2 + k \right)^2 + \left((1 + kT_2) \omega^5 - T_1(T_0 + T_1 + T_0 T_3) \omega^3 \right)^2}$$

Дійсна частотна характеристика замкнутої скорегованої системи представлена на рис. 4.13.

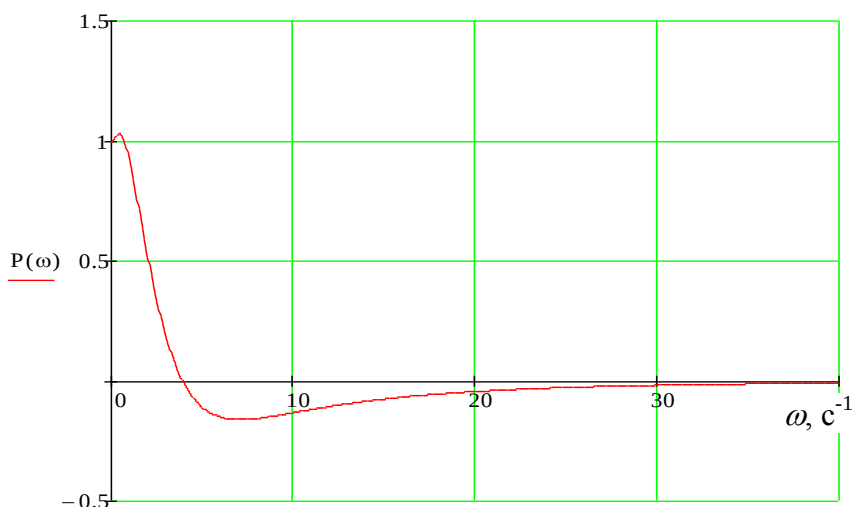


Рисунок 4.13 – Дійсна частотна характеристика замкнутої скорегованої системи

Побудуємо криву перехідного процесу синтезованої САР підігріву газону футбольного поля (рис. 4.14).

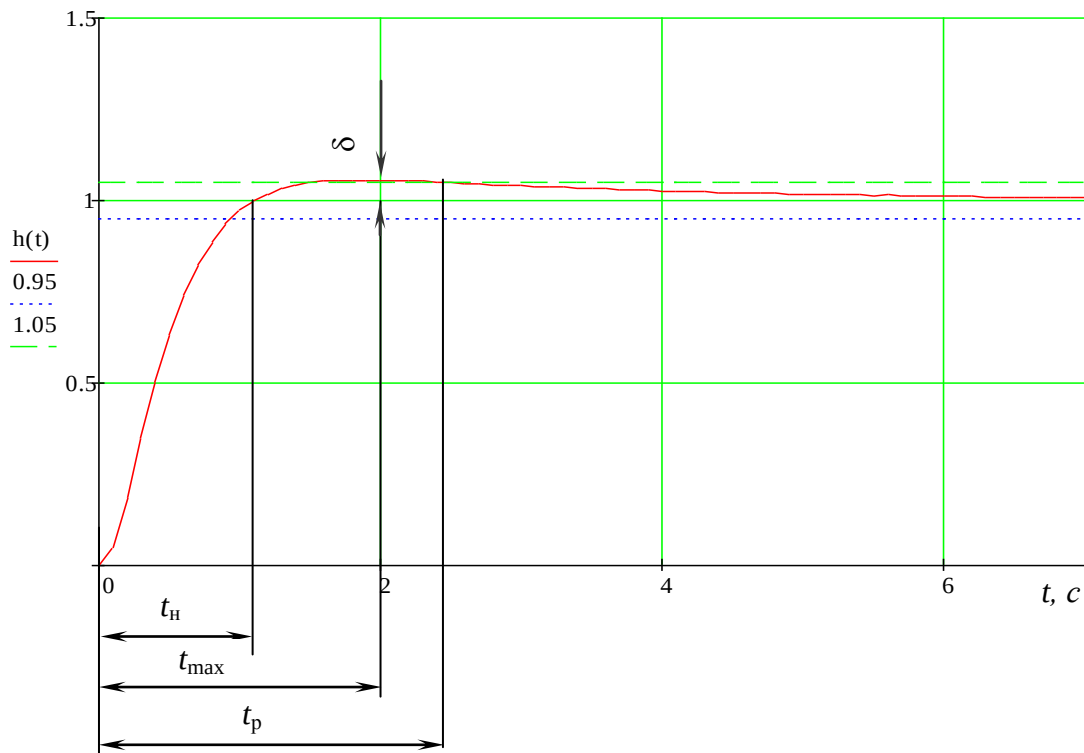


Рисунок 4.14 – Графік перехідного процесу системи, скоректованої шляхом синтезу

4.15 Визначення прямих показників якості синтезованої САР

З побудованого перехідного процесу можна визначити наступні прямі показники якості САР:

- час регулювання $t_p = 2,5$ с;
- перерегулювання $\delta = 5,6$ %;
- час наростання перехідного процесу $t_n = 1,1$ с;
- час досягнення першого максимуму $t_{\max} = 2$ с;
- по вигляду кривої цей перехідний процес аперіодичний з перерегулюванням.

Порівняння прямих показників якості вихідної та зкорегованої системи приведено на слайді 05.02. Таким чином, реалізація отриманого виразу передаточної функції коректуючого пристрою задовольнить задані вимоги по якості системи.

5 ОПИС ОРГАНІЗАЦІЇ РОБІТ, ЩО ПОВ'ЯЗАНІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ВІДКРИТОЇ ЗЕМЕЛЬНОЇ ДІЛЯНКИ

Високі вимоги до якості монтажу, стислі терміни виробництва монтажних робіт і їх безперервно зростаючий обсяг призвели до необхідності пошуку нових форм організації праці і технологічних методів, застосування нових уніфікованих конструкцій і нових, більш економічних, матеріалів.

Монтаж засобів контролю і автоматики на підприємствах ведуть на підставі технічної документації, виконаної проектними організаціями, відповідно до вимог СНіП. Склад і зміст технічної документації визначаються вказівками з проектування автоматизації виробничих процесів.

Монтажні креслення є основним документом для проведення монтажних робіт, які виконуються на підставі схем автоматизації даної ділянки виробництва, принципової схеми живлення і сигналізації, схеми зовнішніх електричних і трубних проводок, загальних видів щитів і пультів [4].

5.1 Загальні вимоги при монтажі

Засоби автоматизації монтуються у відповідності з проектом. Місця та взаємне розташування засобів автоматизації повинні забезпечувати найбільшу точність вимірювань, вільний доступ до них та їх запірних і налагоджувальних пристроїв, хорошу освітленість шкал і діаграм і зручність їх обслуговування.

У виробничих і щитових приміщеннях до початку монтажу засобів автоматизації повинні бути закінчені всі будівельні та оздоблювальні роботи, монтаж і ізоляція технологічного обладнання, а також монтаж трубних і електричних проводок, щитів і пультів. Прилади, що підлягають теплоізоляції разом з технологічними трубопроводами та обладнанням, а також прилади, що врізаються в технологічні трубопроводи і апарати, монтуються разом з ними. Ці

прилади встановлюються після очищення і продувки технологічних трубопроводів перед їх обпресуванням.

Засоби автоматизації, які мають обертові і рухомі частини, встановлюють за рівнем або за схилом, якщо їх конструкція не передбачає іншого способу установки. Кріплення засобів автоматизації на трубопроводах і технологічному обладнанні повинно забезпечувати герметичність цих трубопроводів і апаратів. Технологічні трубопроводи, на яких монтуються звужуючі пристрої, регулюючі клапани, об'ємні та швидкісні лічильники тощо, повинні мати опори поблизу цих приладів. Прокладки і набивання, що застосовуються при установці засобів автоматизації, повинні відповідати умовам їх роботи [4].

5.2 Монтаж кабельних трас

Електричні проводки прокладаються по найкоротшим відстаням між приладами і агрегатами, що з'єднуються, в місцях, доступних для монтажу, обслуговування і ремонту, з мінімальною кількістю поворотів, у місцях без різких коливань температури навколишнього повітря, далі від місць, де можливі струси, вібрації або механічні пошкодження кабелів або захисних пристроїв. Захисні пристрої відкритих і прихованих електричних проводок виконуються з негорючих, вологостійких, механічно міцних матеріалів.

Залежно від перетину жил проводів та кабелів встановлені певні вимоги до приєднання провідників до приладів, апаратів, затискачів, а також з'єднанню провідників між собою. Від якості виконання зазначених сполук багато в чому залежить надійність електричних проводок та їх пожежна безпека.

Проводки з металевих труб незалежно від призначення прокладають на відстані 25...30 мм від стін, перекриттів та інших елементів будівель. Однак поодинокі мідні і сталеві труби (крім труб із нержавіючої сталі) у вигляді виключення можуть бути розташовані безпосередньо на сталевих, бетонних або цегляних підставах і прикріплені до них сталевими кріпильними деталями.

Однодротові мідні жили проводів та кабелів перетином 1 мм^2 , приєднувати безпосередньо під гвинт або болт, а багатодровові дроти цих же перерізів - за допомогою наконечників або безпосередньо під гвинт або болт. При цьому жили однодротових або багатодровових проводів та кабелів залежно від конструкції виводів і затискачів приладів, апаратів і зборок затискачів окінцьовують кільцем або штирем; кінці багатодровових жил (кільця, штирі) пропаяти, штирові кінці можна обпресовувати штифтовими наконечниками.

Вибираємо для зовнішньої проводки кабель типу КВВГ - контрольний кабель з мідними жилами, ізоляція і оболонка з полівінілхлоридного пластику. Число жил - 4, перетином $0,75 \text{ мм}^2$. Спосіб виконання електропроводок, марка кабелів і проводів, способи з'єднань жил, тип сполучних проводів і т.д. в проекті визначені з економічних міркувань з урахуванням особливостей об'єкта автоматизації (вибухонебезпечності, пожежонебезпеки, агресивності вихідних і одержуваних речовин).

Всі аналогові й дискретні сигнали заводяться в крос-шафа, а звідти розлучаються на контролер і пристрої реєстрації та сигналізації. Вихідні сигнали з контролера також заводяться в крос-шафу, звідки йдуть на перетворювачі і далі на виконавчі пристрої.

5.3 Монтаж трубних трас

Прокладка трубних проводок - одна з найбільш трудомістких і відповідальних операцій, від якості виконання якої залежать правильність роботи і надійність експлуатації системи.

Трубна проводка повинна являти собою безперервну і механічно міцну лінію. Недостатня щільність проводки при передачі імпульсу тиску призводить до зниження показників приладів. Трубні проводки повинні забезпечувати вільне проходження імпульсу з найменшим запізненням.

Спосіб монтажу, випробувань і приймання трубних проводок визначається категорією, до якої відносяться конкретні трубні проводки. Прокладку трубних

проводок виконувати по найкоротших відстанях від забірних і приймальних пристроїв до вимірювальних перетворювачів та приладів паралельно стінам, перекриттям, колонам і т.п. Трубні проводки прокладати з мінімальним числом поворотів і перетинів в місцях, легко доступних для монтажу та обслуговування, без різких коливань температури навколишнього середовища, що не піддаються вібраціям і механічним пошкодженням.

5.4 Налагоджування системи автоматичного регулювання температури газону

Перевірку неушкодженості блоків необхідно проводити перед монтажем, під час профілактичного ремонту та при виявленні пошкоджень під час роботи системи. Перевірці підлягають: основна похибка спрацювання вторинного приладу, основна похибка запису, варіація та поріг чутливості приладу, робота механізму установки робочого струму, сигналізація “обривання в ланцюзі приладу”, рівень перешкод на вході електронного підсилювача, ступінь нагріву деталей при тривалій роботі системи. Перевірка приладів повинна проводитись при таких умовах: температура навколишнього повітря $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$, напруга живлення не повинна відрізнятись від номінальної більш ніж на $\pm 3\%$, частота струму живлення $50 \pm 0,5$ Гц, при відсутності сторонніх магнітних полів.

ВИСНОВКИ

Задачею даної магістерської роботи було забезпечення покращення якості газону футбольного поля і підтримування його нормального стану впродовж року шляхом створення системи автоматичного регулювання температури теплоносія, який підігріває ґрунт стадіону, яка автоматично змінює подачу палива котла при відхиленні вказаного технологічного параметру від заданого значення, що дає можливість чітко контролювати температуру теплоносія та покращити умови праці обслуговуючого персоналу.

В ході виконання роботи була розглянута загальна характеристика теплового господарства стадіону. Встановлено, що на рівні патентів запропоновано ряд засобів підігріву ґрунту газону.

Для забезпечення можливості автоматизації підігріву газону було здійснено огляд існуючих засобів вимірювання температури. На основі проведеного огляду існуючих рішень та їх аналізу обґрунтовано принцип побудови системи підтримування температури ґрунту газону, яка автоматично змінює подачу палива в котел, в разі невідповідності температурного режиму теплоносія. Система містить чутливий елемент, який однозначно реагує на зміну температури теплоносія. Забезпечується підсилення сигналу чутливого елемента до рівня, прийняттого для введення в мікроконтролер, адже в розроблюваній системі саме за допомогою мікроконтролера відбувається зчитування сигналу з блоку сенсорів та формування керуючого впливу на пускач електродвигуна регулятора подачі палива.

Розроблена структура даної системи, визначено принцип регулювання, спроектовані її функціональна та схема електрична принципова слабкострумової частини системи. З метою підтвердження працездатності виробу були визначені передаточні функції замкнутої, розімкнутої системи та характеристичне рівняння. При цьому слід зазначити, що система розглядається як неперервна, адже температура теплоносія не може змінитись надто швидко і швидкодії мікропроцесорного блоку вистачає аби своєчасно

відреагувати на зміну вказаного параметра. В ході роботи досліджена стійкість системи. Встановлено, що система з вихідними параметрами є стійкою. З метою дослідження стійкості системи було побудовано область стійкості в площині одного параметру – коефіцієнта підсилення підсилювача. Вихідна система мала незадовільні показники якості. Шляхом синтезу було визначено передаточну функцію послідовного коректуючого пристрою, введення якого в склад системи забезпечить показники якості, що вимагаються.

В магістерській роботі також розглянуті заходи по монтажу, налагоджуванні і експлуатації розроблюваної системи.

По розділу охорони праці було розраховано захисне заземлення агрегату, а саме була розрахована довжина горизонтального заземлювача та кількість вертикальних заземлювачів, також обумовлені експлуатаційні вимоги, які задовольняють законодавчу базу України з питань охорони праці.

По розділу цивільного захисту було проведено прогнозування можливих збитків та втрат внаслідок аварії і викиду сильнодіючих отруйних речовин, а саме були визначені площа зони зараження, час підходу хмари отруйних речовин до об'єкта та орієнтована структура втрат людей в осередку ураження.

Розрахунки економічних показників показали, що розроблювана в даній магістерській роботі система є економічно-ефективною як для виробника, так і для споживача, при тому, що ціна на нову систему не значно більша за ціну базової, що також вигідно для споживача.

Перелік скорочень, символів та спеціальних термінів

САР – система автоматичного регулювання;

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

ОР – об'єкт регулювання;

АФЧХ – амплітудно-фазова частотна характеристика;

ТУ – технічні умови;

ЛФЧХ – логарифмічна фазова-частотна характеристика;

ПП – підсилювач потужності;

ІМС – інтегральна мікросхема;

КВП – контрольно-вимірювальні прилади;

МК – мікроконтролер;

ЛАЧХ – логарифмічна амплітудно-частотна характеристика;

ЛСА – локальна система автоматики;

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач;

ВБ – вимірювальний блок;

Список літератури

1. Футбол. Круглий рік. - Рекламний проспект. Київ, 1992.
2. Авт.св. СРСР N 717208, кл. Е 01 С 13/00. Плохін П.І. Штучна крижана доріжка. 1980
3. Авт.св. СРСР N 1482990 кл. Е 01 С 11/24. Витчіков Ю.С., Лукс А.Л., Лукс А.А і Мельникова Л. І. Автомобільна дорога. 1989.
4. Авт.св. СРСР N 363461, кл. А 01 g 9/24. Обладнання для підтримки технологічного режиму культурного шару ґрунту в теплицях. Кисленко Н.К., Посилкіна А.І., Терпигорєв В.А., Штрейс Р.І. та Шаку Л.І. 1972.
5. Патент СРСР N 528849 , кл. А 01 G 9/24. Пристрій для обігріву захищеного ґрунту. Жан-Лен Даль, Моріс Дюмон, Андре Фуршом, Еме Фрейше і Андре Гузі (Франція). Фірма, "Комісаріат а л'Енержі Атомік" (Франція), 1976.
6. Авт.св. СРСР N 676227, кл. А 01 G 9/24. Губкін В.К., Шейкін Ю.Г. та Клімов В.В. Спосіб обігріву ґрунту при поливі . 1979.
7. Авт.св . СРСР N 1021417, кл. А 01 G 9/24, Е 02 В 11/00. Старостін Є.Г. Пристрій для дренажування та обігріву. 1983.
8. Бородін І.Ф. та ін Основи автоматики і автоматизації виробничих процесів. - М.: Колос, 1977, С. 57-62.
9. Авт.св. СРСР N 1028281, кл. А 01 G 9/24. Михайленко І.М. і Судаченко В.М. Пристрій для обігріву ґрунту. 1983.
10. Кондратець В.О. Теорія і технічні засоби систем: Підручник. – К.: Вища шк., 1993. – 319 с.
11. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – К.: Либідь, 1997. – 544 с.
12. В.А. Шафрановский Справочник наладчика автоматики котельных установок Симферополь «Таврия» 1987.