

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри КСУ

_____ Коротка Т.В.

_____ 2021р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
на тему: "Ресурснозбережне керування режимами вирощування рослин в
тепличному господарстві"

Керівник:

к. т. н., доцент

Кулінченко Г.В.

Дипломник:

Студент групи СУ.м-01

Івченко В.С.

Суми 2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри КСУ

_____Коротка Т.В.

_____2021р.

Завдання
на кваліфікаційну роботу магістру
Івченку Віталію Сергійовичу

1. Тема роботи: “ресурснозбережне керування режимами вирощування рослин в тепличному господарстві”
2. Затверджено наказом ректора університету
3. Термін здавання студентом закінчення роботи 7 грудня 2021р.
4. Вихідні дані до роботи: звіт з переддипломної практики, наукові публікації, статті, технічна документація і автоматизація технологічного процесу відповідної установки.
5. Зміст пояснювальної записки: постановка задачі, побудова моделі, розробка схеми керування мікрокліматом, побудова структурно алгоритмічної схеми, налаштування регулятора, вибір ПЛК.
6. Перелік графічних матеріалів: 28 рисунків, 3 таблиці.
7. Календарний план виконання:

Номер етапу	Зміст етапу проектування	Термін виконання
1	Огляд літератури	
2	Огляд характеристик САК теплиць	
3	Розробка математичної моделі в середовищі MATLAB	
4	Розробка функціональної схеми керування мікрокліматом	
5	Технічне оформлення роботи	

Студент – дипломник

Керівник

(Підпис)

(Підпис)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи магістра

Ресурснозбережне керування режимами вирощування рослин в тепличному господарстві

Керівник:

к. т. н., доцент

Кулінченко Г.В.

Дипломник:

Студент групи СУ.м-01

Івченко В.С.

Реферат

Івченко Віталій Сергійович. Ресурснозбережне керування режимами вирощування рослин в тепличному господарстві. Магістерська робота. Сумський державний університет. Суми, 2021.

Робота містить 34 аркушів пояснювальної записки, 28 рисунків, 3 таблиці.

Автоматизація даної роботи дозволяє без участі людини виконувати збір даних з датчиків, виконувати їх обробку, здійснювати моніторинг за допомогою панелі оператора та управляти виконавчими механізмами уже налаштованою програмою. Дана робота дозволяє фермеру підвищити врожайність завдяки оптимізації кліматичних режимів та досягти зменшення енергозбереження.

Abstract

Ivchenko Vitaly Sergeevich. Resource-saving management of plant growing regimes in warm economy. Master thesis. Sumy State University. Sumy, 2021.

The project contains 34 sheets of explanatory note, 28 figures, 3 tables.

Project automation allows, without the participation of data collections from the cottages, to perform their processing to monitor the operator panel and control the executive mechanisms of the already configured program. This project allows the farmer to increase yields by optimizing climatic conditions and achieve reduced energy savings.

Зміст

Вступ	6
Постановка задачі	7
1. Побудова моделі.....	10
2. Розробка функціональної схеми керуванням кліматом	17
3. Побудова функціональної та структурно-алгоритмічної схеми	20
4. Налаштування регулятора	26
ВИБІР ПЛК	28
SCADA СИСТЕМА	30
СЕРЕДОВИЩЕ ПРОГРАМУВАННЯ.....	31
Висновок:.....	33
Список використаної літератури	34

Вступ

Актуальність теми. В сучасному світі існує велика кількість різновидів теплиць. Для вирощування найрізноманітніших культур, де використовуються системи управління з «людським фактором». Дані системи суттєво знижують ефективність та енергоємність теплиць. В умовах ринку конкуренцію витримує продукція, при виробництві якої забезпечуються мінімальні витрати.

Мінімізація витрат може бути досягнута внаслідок використання енергозберігаючих технологій. Саме тому темою проекту вибрано напрямок реалізації ресурсозбережного керування режимами вирощування рослин в тепличному господарстві.

Постановка задачі

Теплиця – автономна чи опалювальна споруда захищеного ґрунту яка має світлопроникні області, і призначена для вирощення овочів, фруктів тощо. Теплиця повинна зберігати температуру в приміщенні від зовнішнього холоду. В теплицю повинно надходити тепле повітря та тепла вода, а на зовні викидати надлишки теплого повітря та вологи.

Розкривши ФСА нашої теплиці можна побачити загальну схему всіх контурів управління, з якої можна розглянути окремі контури та зрозуміти, до яких контурів належать конкретні елементи системи та скільки окремих контур може максимально споживати електроенергії, щоб зрозуміти це розбиваю загальну функціональну схему на окремі контури та визначаю, скільки може споживати електроенергії окремих контур.

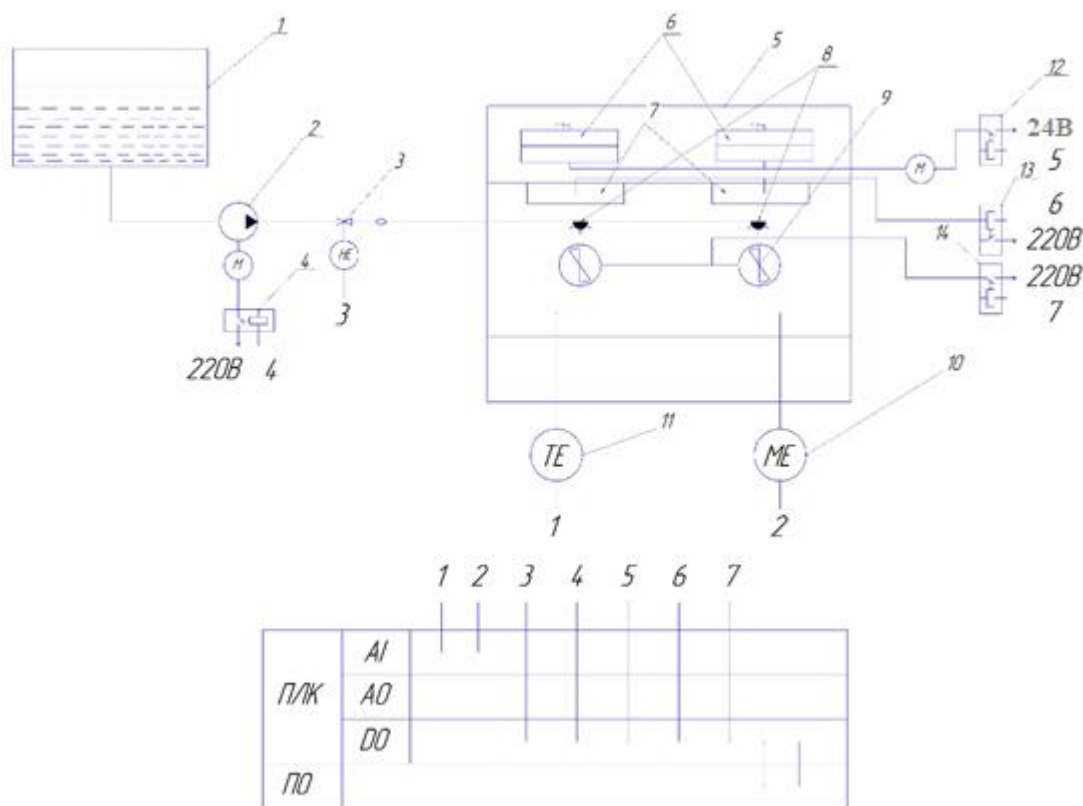


Рисунок 1 - Функціональна схема

На загальній схемі можна загальні об'єкти, давачі та виконавчі механізми. 1 – резервуар для води; 2 – насос; 3 – клапан води; 4,12,13,14 – реле; 5 – теплиця; 6 – вентиляційні вікна з лінійними приводами; 7 – обігрівачі; 8 – форсунок зволоження; 9 – вентилятори; 10 – давач вологості; 11 – давач температури.

Розділивши загальну схему на окремі контури можемо отримати 3 окремі незалежні контури управління:

1. Контур регулювання температурою. Задача даного контуру зв'язана з температурою теплиці. Необхідно дотримуватися заданого температурного діапазону 15-25°C. Для реалізації необхідні такі давачі та виконуючі механізми як:

- два вентилятора;
- два настільні інфрачервоні обігрівачі;
- два реле, для управління виконавчими пристроями;
- давач температури.

Максимальна потужність даного контуру становить 2000Вт.

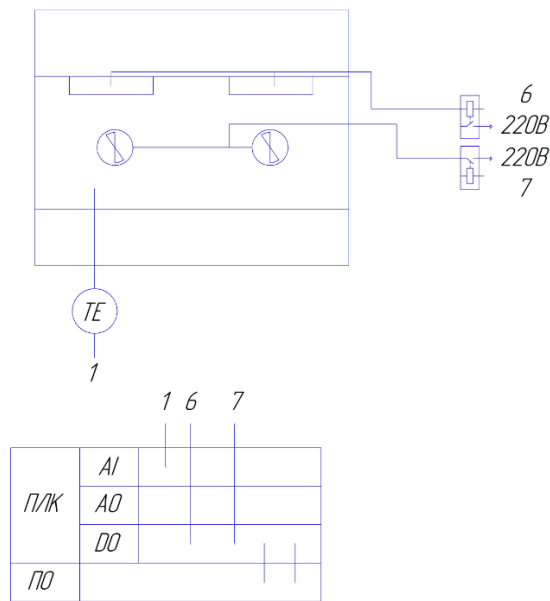


Рисунок 2 - Контур регулювання температурою

2. Контур регулювання зволоженням. Задача даного контуру зв'язана з вологістю повітря. Ми задаємо діапазон в якому потрібно підтримувати вологість повітря необхідному для рослин тому для того, щоб вологість набула 80%, необхідні такі давачі та виконуючі механізми.

- два вентилятора;
- насос для подачі води;
- два реле;
- клапан води;
- давач вологості.

Максимальна потужність даного контуру становить 1300Вт.

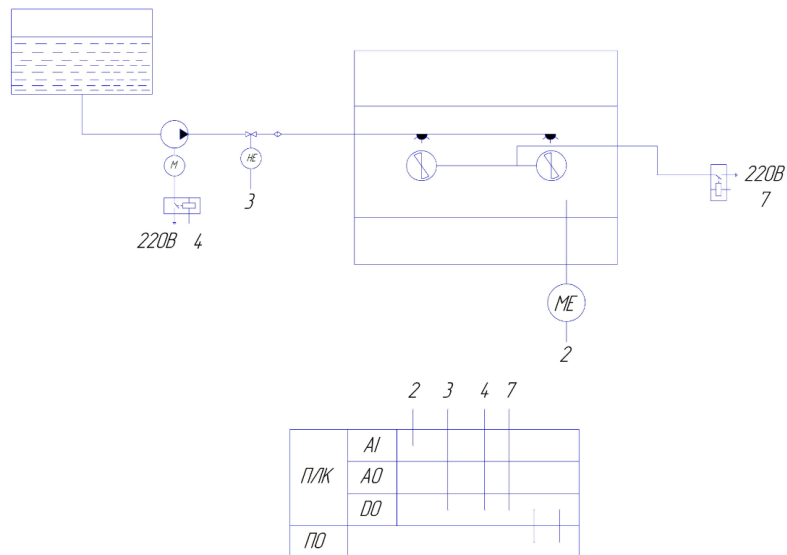


Рисунок 3 - Контур регулювання вологою

3. Контур вентиляції. Задача даного контуру викидати з теплиці надлишки теплого повітря та вологи, яке шкодить рослинам. В даному контурі використовуються наступні датчі та виконавчі механізми:

- датч температури;
- датч вологості;
- два вентилятора;
- два лінійних привода (актуатори), які в даному контурі працюють разом з вентиляторами;
- два реле.

Максимальна потужність даного контуру становить 240Вт.

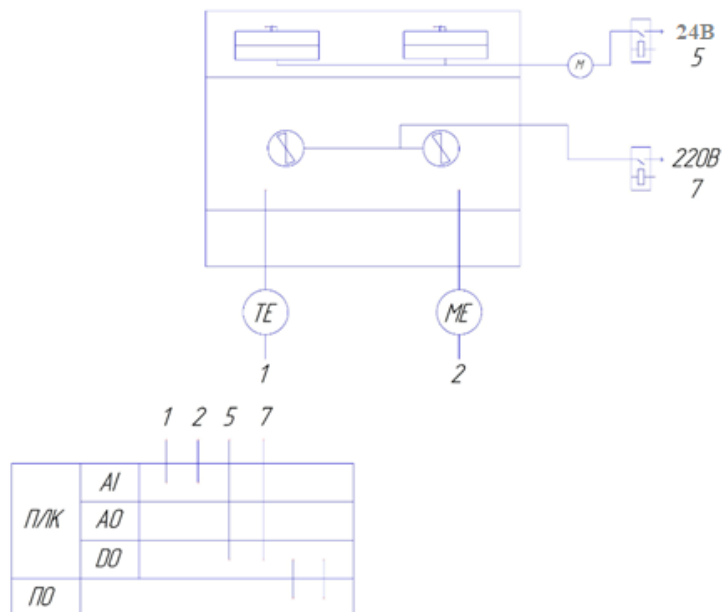


Рисунок 4 - Контур регулювання вентиляції повітря

1. Побудова моделі

Для того, щоб цілорічно вирощувати рослини в тепличних умовах необхідно мати системи підігріву повітря та ґрунту, а також відслідковувати їх. Для цього створимо математичну модель. Температура t_p в теплиці повинна рівномірно розподілятися на всій її площі, температури води t_g , для поливу рослин, повинна мати середнє значення між вхідною її величиною та вихідною, що надходить до теплиці t_y . На рисунку ми можемо побачити дві ланки акумуляційної енергії об'єкту - вода та повітря в теплиці.

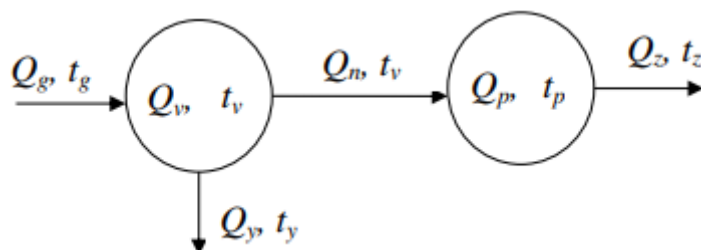


Рисунок 5 - Схема розподілення тепла

T_p – температура повітря;

T_v – температура гарячої води на вході опалювальних труб;

T_g – температура гарячої води на виході;

T_y – температура води на виході;

T_z – температура ззовні;

Q_p – тепло в повітрі;

Q_v – тепло у воді;

Q_g – тепло введене водою;

Q_y – тепло виведене водою;

Q_n – тепло перейшло в повітря;

Q_z – тепло втрачене в навколишньому просторі.

Так як значення тепла знаходиться в незмінному стані, значення тепла води Q_v та значення тепла повітря Q_p лишатимуться незмінними, і ми матимемо рівняння цих двох теплових балансів:

$$Q_g - Q_y - Q_n = 0; \quad Q_n - Q_z = 0, \quad (1)$$

Де Q_g – тепло введене водою;

Q_y – тепло виведене водою;

Q_n – тепло перейшло в повітря;

Q_z – тепло втрачене в навколишньому просторі.

Тепло яке надійде до системи її підігріву, а потім вийде від неї залежить від декількох факторів, це такі як теплоємності води C_v , швидкість насоса,

який може перекачати через себе певну кількість води G_n , густини самої води ρ_v , об'єму води в цій системі V_v . Відповідно отримаємо

$$\begin{aligned} Q_g &= C_v G_n \rho_v t_g, \\ Q_y &= C_v G_n \rho_v t_y, \\ Q_y &= C_v V_v \rho_v t_v. \end{aligned} \quad (2)$$

Загальна кількість тепла приміщення в приміщенні залежить від об'єму самої теплиці V_p , температури повітря t_p , теплоємності C_p , густини повітря ρ_v .

$$Q_p = C_p V_p \rho_v t_p \quad (3)$$

Передаюче тепло від самої стінки труби до навколишнього середовища можна вирахувати за законом Фур'є:

$$\begin{aligned} Q_n &= k_1 F_t (t_v - t_p), \\ Q_z &= k_2 F_c (t_p - t_z), \end{aligned} \quad (4)$$

Де k_1 та k_2 – коефіцієнти передачі тепла від стінки опалювальної труби та поверхні самої теплиці.

F_t, F_c – поверхня теплиці та труба передачі тепла.

t_z – температура ззовні. Коефіцієнт теплопередачі вираховуємо по формулі:

$$\begin{aligned} k_1 &= \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{vt}} + \frac{\delta_t}{\lambda_t} + \frac{1}{\alpha_{tp}}} \\ k_2 &= \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{pc}} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_{cz}}} \end{aligned} \quad (5)$$

$\alpha_{vt}, \alpha_{tp}, \alpha_{pc}, \alpha_{cz}$ – коефіцієнти теплопередачі від води до повітря теплиці, а потім до повітря назовні;

λ_t, λ_c – коефіцієнт теплопровідності металічної труби та скла теплиці на зовні;

δ_t, δ_c – товщина труби та скла.

Надалі ми переходимо до динамічної моделі, де використовуємо попередні рівняння, будемо отримувати рівняння зміни кількості тепла, води та повітря в часі. Похідні знаходитимуться по температурі в повітрі t_p та води t_v в теплиці:

$$C_v V_v \rho_v \frac{dt_v}{d\tau} = C_v G_n \rho_v t_g - C_v G_n \rho_v t_y - k_1 F_t (t_v - t_p),$$

$$C_p V_p \rho_p \frac{dt_p}{d\tau} = k_1 F_t (t_v - t_p) - k_2 F_c (t_p - t_z)$$

Використовуючи дане рівняння $t_v = (t_g + t_y)/2$, знаходимо температуру води в теплиці та підставимо в рівняння 6. Далі виводимо до форми Коші:

$$\frac{dt_v}{d\tau} = \frac{2G_n}{V_v} (t_g - t_v) - \frac{k_1 F_t (t_v - t_p)}{C_v V_v \rho_v},$$

$$\frac{dt_p}{d\tau} = \frac{k_1 F_t (t_v - t_p) - k_2 F_c (t_p - t_z)}{C_p V_p \rho_p}$$

Також не слід забувати, що в тепличних умовах відбувається обмін вологи, на яку впливають різні чинники, один із таких це температура. Використовуємо схему потоки вологи. На даному зображенні потоки вологи в теплиці яка має вентиляцію:

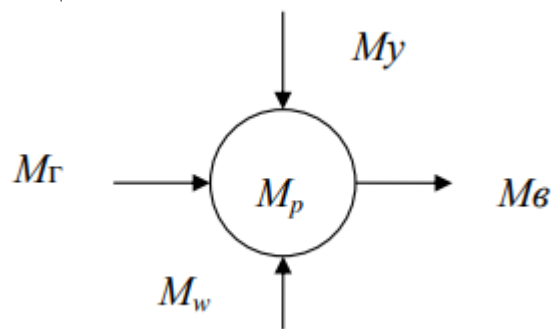


Рисунок 6 - Схема розподілення вологи

M_p – вологість в теплиці;

M_y, M_b – вологість з введеним та виведеним повітрям вентиляції;

M_r – вологість від випаровування ґрунту;

M_w – вологість від розпилення.

Від ефективності розпилення води в повітрі визначається дисперсністю рідкої фази та кількістю, вона може бути оцінена інтенсивністю випаровування краплин води по формулі Максвелла:

$$\frac{dm_k(\tau)}{d\tau} = \frac{4 \cdot \pi \cdot r_k(\tau) \cdot D(\theta) \cdot m_w \cdot [P_H(\theta_w) - P(d)]}{R \cdot T} \quad (8)$$

M_k, r_k – маса та радіус краплин кг, м;

$D(0)$ – коефіцієнт дифузії пари повітря;

R, M_v – вага води, у газоподібному стані та стала пари;

T – температура пари;

P_n, P_c – тиск пари над краплею та в оточуючому середовищі.

Коли виникає процес змішування вологого повітря з дрібно розпиленою водою теплового балансу, отримаємо рівняння вигляду:

$$m_v \frac{di_2}{d\tau} = G_w \cdot i_w - G_v(i_2 - i_1) \quad (9)$$

$$m_v C_w \frac{d\theta_w}{d\tau} = G_v(d_2 - d_1)r + G_w(\theta_{w1} - \theta_{w2})C_w + G_v C_v(t_1 - t_2) \quad (10)$$

$$i_w = \frac{i_2 - i_1}{(d_2 - d_1) \cdot 10^{-3}} \quad (11)$$

де i_w – ентальпія води, кДж/кг;

$$i_w = c_w \theta_w = 4.19 \overline{\theta_w}; \quad (12)$$

θ_w – середня температура води, °С.

Враховуючи, що $i_w = a_1 t - b_1 d$, загальним розв'язання даного рівняння отримано:

$$t_2 = \frac{G_w}{G_v a} (4.19 \cdot \overline{\theta_w} - b \cdot 10^{-3}) + t_1 \quad (13)$$

З даного рівняння визначаємо, що температура середовища, зволожена водою, не залежить від витрати повітря та температури цієї води, яка розпилюється в цьому повітрі.

$$m_v \frac{dM_p}{d\tau} = G_w \cdot d_w - G_v(M_p - d_1) \quad (14)$$

Використовуємо запис ентальпії вологості повітря:

$$i_v = c_p t_v + r_0 d_v r_0 = 2500 \quad (15)$$

Розв'язавши дане рівняння ми отримаємо диференціальне рівняння, яке має описати динаміку по зміні вологості в теплиці:

$$\frac{m_v}{G_v} \cdot \frac{dM_p}{d\tau} + M_p = G_w \cdot 10^3 + G_v d_1 \quad (16)$$

Після отримання ММ по зміні клімату в теплиці, а саме температури та вологи, ми можемо описати їх за допомогою диференціальних рівнянь:

$$\frac{dt_v}{d\tau} = \frac{2G_n}{V_v} (t_g - t_v) - \frac{k_1 F_t (t_v - t_p)}{C_p V_v \rho_v}, \quad (17)$$

$$\frac{dt_p}{d\tau} = \frac{k_1 F_t (t_v - t_p) - k_2 F_c (t_p - t_z)}{C_p V_p \rho_p} \quad (18)$$

$$\frac{m_v}{G_v} \cdot \frac{dM_p}{d\tau} + M_p = G_w \cdot 10^3 + G_v d_1 \quad (19)$$

Для того, щоб створити модель об'єкту потрібно розрахувати коефіцієнти системи рівнянь. Вирахуємо коефіцієнт теплопередачі з урахуванням змінних з скляною стінкою:

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{1000} + \frac{0,3}{46,5} + \frac{1}{15}} = 13,49, \frac{\text{Вт}}{\text{м}} \text{град (стінка трубки)}$$

$$k_2 = \frac{1}{\frac{1}{7} + \frac{0,5}{0,76} + \frac{1}{10}} = 1,11, \frac{\text{Вт}}{\text{м}} \text{град}$$

Внутрішній діаметр трубки становить 35мм, а об'єм системи опалення 40м³:

$$L = \frac{40}{\frac{\pi \cdot 0,35}{4}} = 145,58 \text{ м}$$

Поверхня теплообміну:

$$F_t = 145,58 \cdot \pi \cdot 0,35 = 228,56, \text{ м}^2$$

Визначаємо об'єм повітря в теплиці:

$$V_v = 80 \cdot 4 = 320 \text{ м}^3$$

Для того щоб сформувані додаткові формування моделей введемо додаткові коефіцієнти:

$$a1 = k_1 F_1 = 13,49 \cdot 228,56 = 3083,27$$

$$a2 = k_2 F_c = 1,11 \cdot 320 = 355,2$$

Надалі будемо проводити дослідження математичної моделі за допомогою програмного пакету Matlab/Simulink. За допомогою даного ПЗ побудуємо структурну схему моделі, для того щоб визначити основні динамічні властивості, а також визначимо розгінні характеристики каналів регулювання температури та вологості в теплиці.

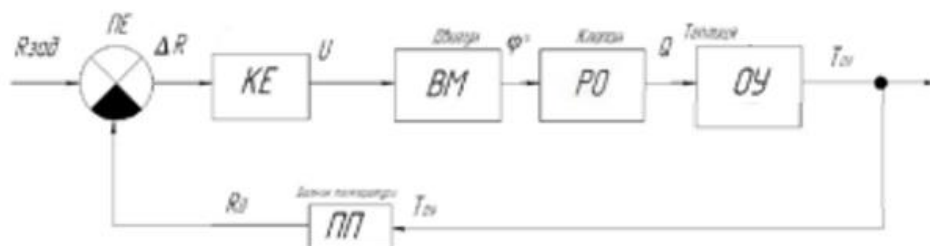


Рисунок 7 - Структурна схема по каналу регулювання температури

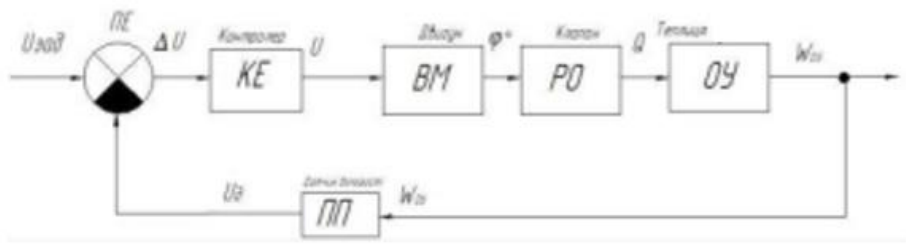


Рисунок 8 - Структурна схема по каналу регулювання вологості

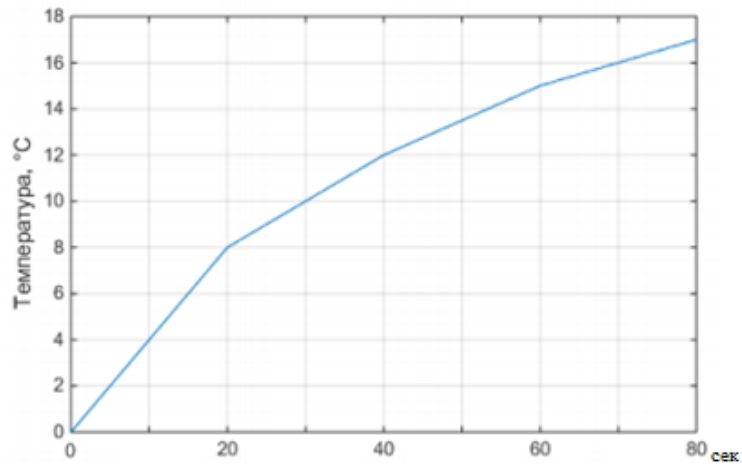


Рисунок 9 - Експериментальна крива зміни температури в Теплиці

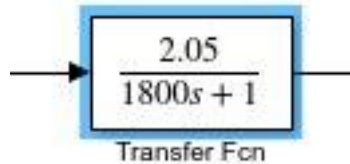


Рисунок 10 - Передаточна функція температури

Аналогічним методом була апроксимована крива змінна вологості передаточної характеристики 1-го порядку

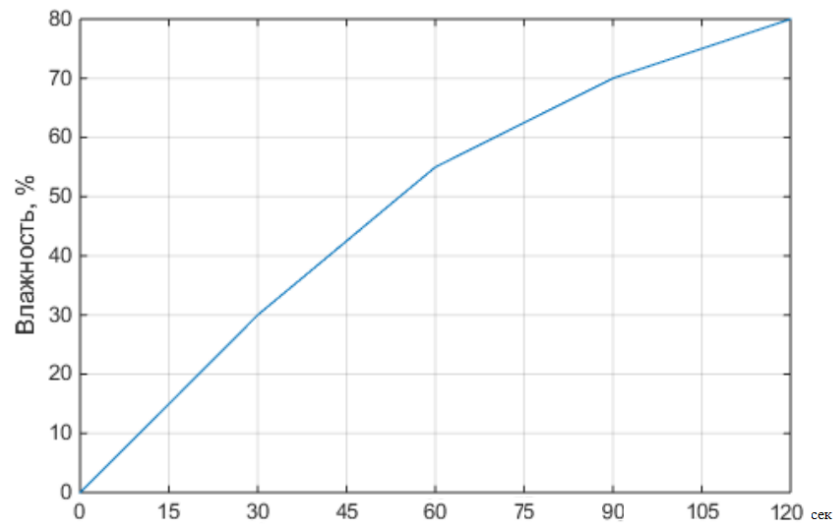


Рисунок 11 - Експериментальні крива зміни вологості

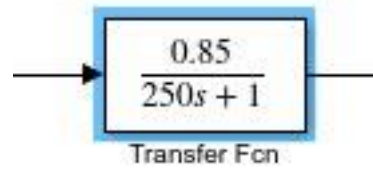


Рисунок 12 - Передаточна функція вологості

2. Розробка функціональної схеми керуванням кліматом

Передаточна функція датчика температури тсм-1088

Термічний коефіцієнт даного давача становить $4,3 \cdot 10^{-3}$

Отже, для давача

$T=20\text{с.}$ – теплова інерція

$$k = 4,3 \cdot 10^{-3} \cdot 50 = 0,21;$$

Передаточна функція матиме вигляд:

$$W_{\theta}(s) = \frac{0,21}{20s + 1}$$

Передаточна функція давача вологості TRH-302SA

- Діапазон вимірювання 0..100RH
- Похибка +/-2% RH
- Діапазон робочої температури -40...+85°C

$$W_{CE}(s) = \frac{K_{CE}}{T_{CE} \cdot s + 1} \quad (20)$$

де, $K_{CE} = \frac{\Delta R}{\Delta \gamma}$; K_{CE} – коефіцієнт передачі; T_{CE} – постійна часу.

$$W_{CE}(s) = \frac{0.23}{25s \cdot 1}$$

Передатна функція вентиляції повітря

$$W_{oy}(s) = \frac{k_{yo}}{T_{yo} \cdot s + 1} \quad (21)$$

де W_{yo} – передатна функція пристрою вентиляції;

k_{yo} – коефіцієнт передачі пристрою вентиляції;

T_{yo} – постійна часу пристрою вентиляції

Передатна функція вентилятора матиме вигляд:

$$W_{oy}(s) = \frac{19.32}{220s + 1}$$

Передаточна функція регулюючого органу

За паспортними даними пропорційність електромагнітного клапану є інерційною ланкою. Записуємо передаточну функцію:

$$W(p) = \frac{K}{p} \quad (22)$$

Коефіцієнт посилення будемо знаходити через параметри, що впливають на переміщення золотника в воді.

$$K = \mu\pi \cdot \frac{P}{p \cdot S} \quad (23)$$

де μ - коефіцієнт витрати рідини м³/сек.

ρ – щільність води.

S – площа поперечного перерізу клапану.

P – тиск рідини.

Підставимо в формулу характеристики клапану та отримаємо:

$$W_{PO}(p) = \frac{54.80}{s}$$

Передаточна функція виконавчого механізму АИР 63А4

$$W_{BM}(s) = \frac{k_{BM}}{T_{\mu} \cdot s} \quad (24)$$

$$k_{BM} = \frac{t_{max}}{220/50} = 19.32 \quad t=85$$

$$T_{\mu} = 220c$$

$$W_{BM}(s) = \frac{19.32}{220s + 1}$$

Вибір регулятора

Найбільш універсальним контролером ПЛК ОВЕН 150. Він має достатньою кількістю вихідних та вхідних сигналів, які в подальшому можливо збільшити за допомогою додаткових модулів.

Важливим елементом даного контролера є можливість відключення його до мережі інтернету, що дає можливість відслідковувати параметри теплиці з будь якої точки країна, а також можливість підключення сенсорної панелі оператора, за допомогою якої можливо управляти та візуалізувати параметри.

Вентиляція та нагрів

Здійснення управління вентиляторами та нагрівання теплиці можливо за допомогою твердотільного реле. Здійснення управління реле відбувається за допомогою релейного вихідного ключа 0..10В. За допомогою твердотільного реле можливо лише включення та відключення вентиляції та підігріву, без здатності регулювання обертів. Датчиком температури контролер відслідковує температуру в середині приміщення і вже від цих показників відбувається логіка включення/виключення вентиляції або підігріву в теплиці.

Вологість

Вологість теплиці відслідковується за допомогою давача вологості. Від показників даного давача залежить туманоутворення всередині теплиці.

Вибір закону регулювання

Для визначення закону по регулюванню, переваги будуть надаватися безперервному та якісному керуванню.

Таблиця 1 - Формули по визначенню налаштувань регуляторів

Перехідний процес		
Аперіодичний	Малий % регулювання	Мінімальний критерій інтегрування
$K_{p.1} = \frac{1}{4.5 \cdot k_{об} \cdot T_{об}}$	$K_{p.1} = \frac{1}{1.7 \cdot k_{об} \cdot T_{об}}$	$K_{p.1} = \frac{1}{1.7 \cdot k_{об} \cdot \tau_{об}}$
$K_{p.п} = \frac{0.3}{k_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$	$K_{p.п} = \frac{0.7}{k_o \cdot \tau_{об} / T_{об}}$	$K_{p.п} = \frac{0.9}{k_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$
$K_{p.пi} = \frac{0.6}{k_{об} \cdot \frac{\tau_{об}}{T_{об}}}$ $T_3 = 0.5 \cdot T_{об}$	$K_{p.пi} = \frac{0.7}{k_{об} \cdot \frac{\tau_{об}}{T_{об}}}$ $T_3 = 0.7 \cdot T_{об}$	$K_{p.пi} = \frac{1}{k_{об} \cdot \frac{\tau_{об}}{T_{об}}}$ $T_3 = T_{об}$
$K_{p.пiд} = \frac{0.95}{k_{об} \cdot \frac{\tau_{об}}{T_{об}}}$ $T_3 = 2.4 \cdot T_{об}$ $T_{\delta} = 0.4 \cdot \tau_{об}$	$K_{p.пiд} = \frac{1.25}{k_{об} \cdot \frac{\tau_{об}}{T_{об}}}$ $T_3 = 2 \cdot T_{об}$ $T_{\delta} = 0.4 \cdot \tau_{об}$	$K_{p.пiд} = \frac{1.4}{k_{об} \cdot \frac{\tau_{об}}{T_{об}}}$ $T_3 = 1.3 \cdot T_{об}$ $T_{\delta} = 0.5 \cdot \tau_{об}$

3. Побудова функціональної та структурно-алгоритмічної схеми

Це дослідження має на меті дослідження математичної моделі теплиці при управлінні температурою та вологістю повітря, що базується на законах збереження енергії і маси.

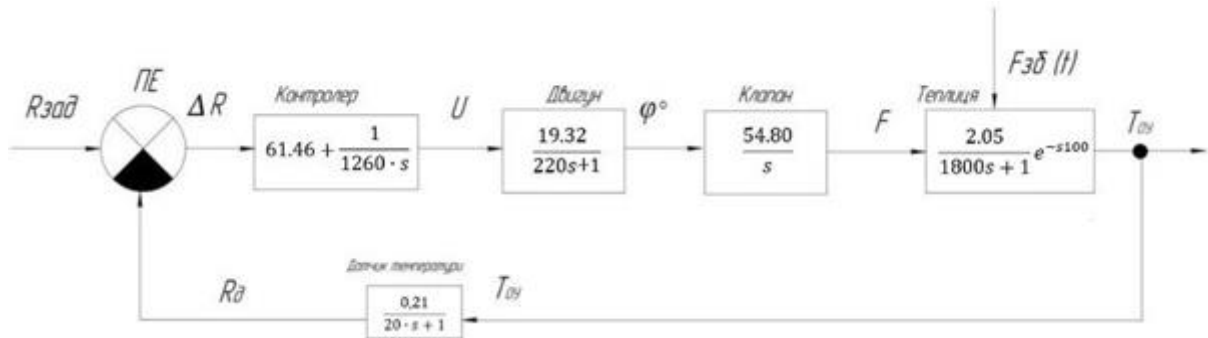


Рисунок 13 - Структурно алгоритмічна схема по регулюванню температури

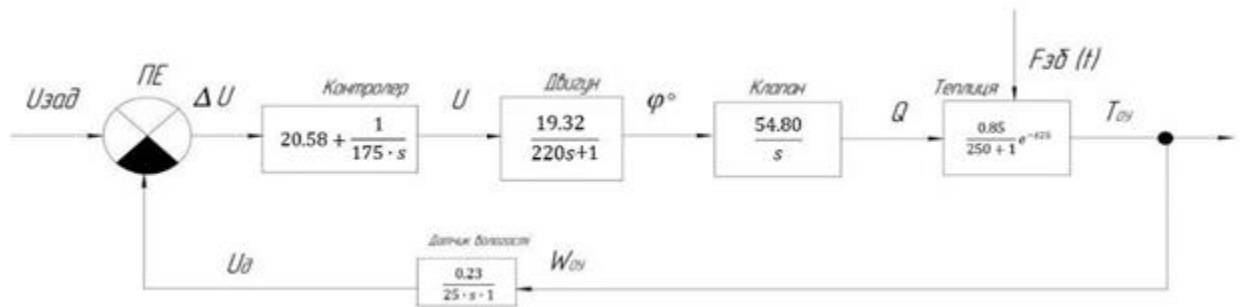


Рисунок 14 - Структурно алгоритмічна схема по регулюванню вологості

Основні елементи на функціональній схемі САК:

КЕ – керуючий орган;

ВМ – виконавчий механізм;

РО – регулюючий орган;

ОУ – об'єкт управління;

ПП – первинний перетворювач.

Структурна схема описує з яких ланок складається система і як вони пов'язані між собою. Проаналізувавши завдання ланок передаточної функції отримаємо передаточні функції елементів системи:

Передаточна функція регулювання температури та вологості:

$$W_{\partial}(s) = \frac{2.05}{1800s + 1} e^{-s100}$$

$$W_{CE}(s) = \frac{0.85}{250s + 1} e^{-s25}$$

Передаточна функція регулятора:

$$W_{OY(t)}(s) = 61.46 + \frac{1}{1260 \cdot s}$$

$$W_{OY(w)}(s) = 20.58 + \frac{1}{175 \cdot s}$$

Передаточна функція датчиків температури та вологості

$$W_{CE}(s) = \frac{0.23}{25s \cdot 1}$$

$$W_{\theta}(s) = \frac{0,21}{20s + 1}$$

Передаточна функція по регулюючому органу управління

$$W_{BM}(s) = \frac{19.32}{220s + 1}$$

Передаточна функція виконавчого органу

$$W_{PO}(p) = \frac{54.80}{s}$$

Знаходження передаточної функції температури та повітря

	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35
100%	0,23	0,37	0,60	0,93	1,4	2,1	3,2	4,6	6,5	9,2	12,8	17,5	23,8	31,8	42,1
90%	0,21	0,34	0,54	0,84	1,3	1,9	2,8	4,1	5,9	8,3	11,5	15,8	21,4	28,6	37,9
80%	0,18	0,30	0,48	0,75	1,1	1,7	2,5	3,7	5,2	7,4	10,2	14,0	19,0	25,4	33,7
70%	0,16	0,26	0,42	0,65	1,0	1,5	2,2	3,2	4,6	6,4	9,0	12,3	16,6	22,3	29,5
60%	0,14	0,22	0,36	0,56	0,86	1,3	1,9	2,7	3,9	5,5	7,7	10,5	14,3	19,1	25,3
50%	0,11	0,19	0,30	0,47	0,71	1,1	1,6	2,3	3,3	4,6	6,4	8,8	11,9	15,9	21,1
40%	0,09	0,15	0,24	0,37	0,57	0,86	1,3	1,8	2,6	3,7	5,1	7,0	9,5	12,7	16,9
30%	0,07	0,11	0,18	0,28	0,43	0,64	0,95	1,4	2,0	2,8	3,8	5,3	7,1	9,5	12,6
20%	0,05	0,07	0,12	0,19	0,29	0,43	0,63	0,92	1,3	1,8	2,6	3,5	4,8	6,4	8,4
15%	0,03	0,06	0,09	0,14	0,21	0,32	0,47	0,69	1,0	1,4	1,9	2,6	3,6	4,8	6,3
10%	0,02	0,04	0,06	0,09	0,14	0,21	0,32	0,46	0,65	0,92	1,3	1,8	2,4	3,2	4,2
5%	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,11	0,16	0,23	0,33	0,46	0,64	0,88	1,2	1,6	2,1
1%	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,13	0,18	0,24	0,32	0,42

Рисунок 15 - Залежність відносної вологості від температури та концентрації пари в повітрі

Для зручності підрахунку відносної вологості в середовищі Matlab/Simulink визначимо її залежність від концентрації води в повітрі при температурі повітря. За таблицею вигідніше відбудувати зворотну взаємозалежність, тобто якою необхідно бути концентрація води для

отримання бажаної вологості. Запозичуючи таблицю, побудували ці взаємозв'язки для різноманітних температур.

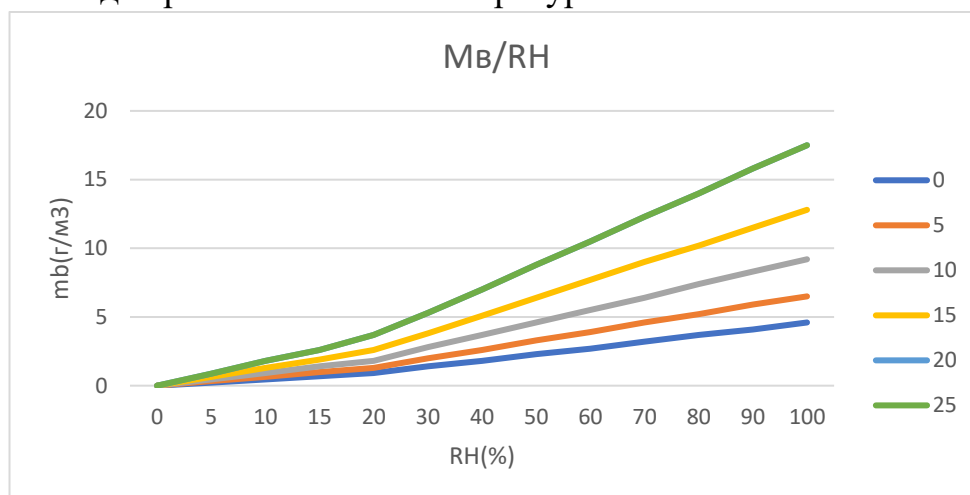


Рисунок 16 - Графік залежності концентрації води в повітрі для отримання необхідної вологості

З даного графіка можна побачити лінійну залежність. Залежність концентрації води в повітрі можна уявити в вигляді рівняння:

$$Q_B(RH) = k_i \cdot RH.$$

де Q_B – концентрація води в повітрі г/м³;

k_i – коефіцієнт перетворення г/м³*%;

RH – відносна вологість %.

Для кожної температури необхідно встановити показник зв'язку. цього достатньо взяти по одній точці на кожному графіку і, підставивши значення концентрації та вологості, розрахувати коефіцієнти. Для зручності були віддані перевагу крапкам при відносній вологості рівноправній 100 відсоткам. коефіцієнти представлені у таблиці 1.

$T, ^\circ C$	0	5	15	20	25
$k_{\text{теор}}, \text{г/м}^3$	0,032	0,046	0,128	0,175	0,238
$k_{\text{розрах}}, \text{г/м}^3$	0,0369	0,046	0,092	0,175	0,2304

Таблиця 2 - Розраховані коефіцієнти

Отримавши залежності по концентрації води в повітрі, отримаємо необхідні значення вологи для декількох значень температури. Для цього визначимо залежність, залежність коефіцієнтів від температури повітря:

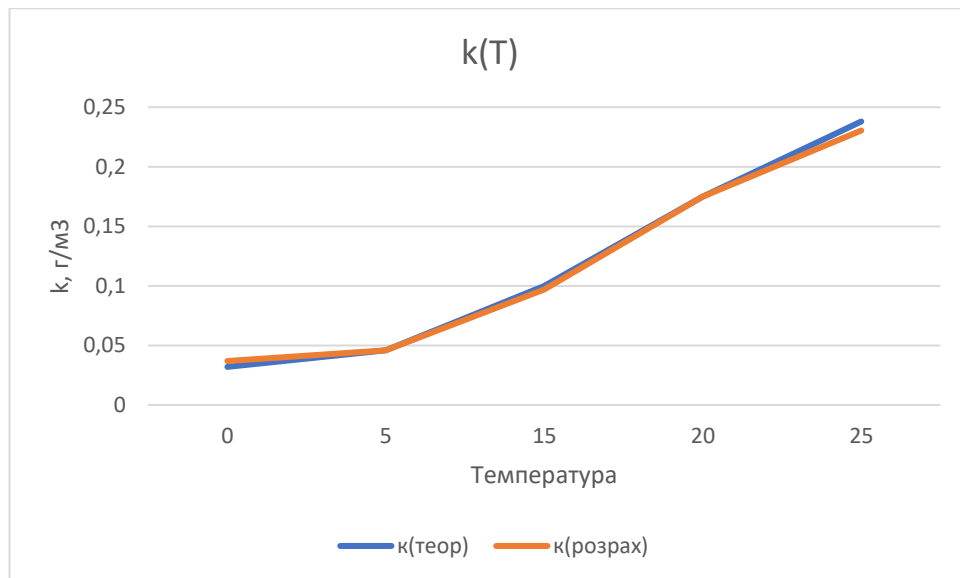


Рисунок 17 - Графік залежності розрахованих значень

Відтворимо розрахунок коефіцієнтів квадратичного рівняння, використовуючи точки.

Рівняння з знайденими коефіцієнтами:

$$k(T) = 0.000185 \cdot T^2 + 0.00275 \cdot T + 0.046$$

де T – температура повітря,

k – коефіцієнт перетворення г/м³*%,

Коефіцієнти отриманого рівняння, представлені в таблиці вище, а також в вигляді графіку залежності.

Таким чином, формула залежності концентрації води в повітрі для отримання необхідної вологості від температури:

$$Q_B(RH, T) = (0.000185 \cdot T^2 + 0.00275 \cdot T + 0.046) \cdot RH$$

Звідси залежність відносної вологості від концентрації води в повітрі та температури:

$$KP(Q_B, T) = \frac{14,4}{(0.000185 \cdot 22^2 + 0.00275 \cdot 22 + 0.046)}$$

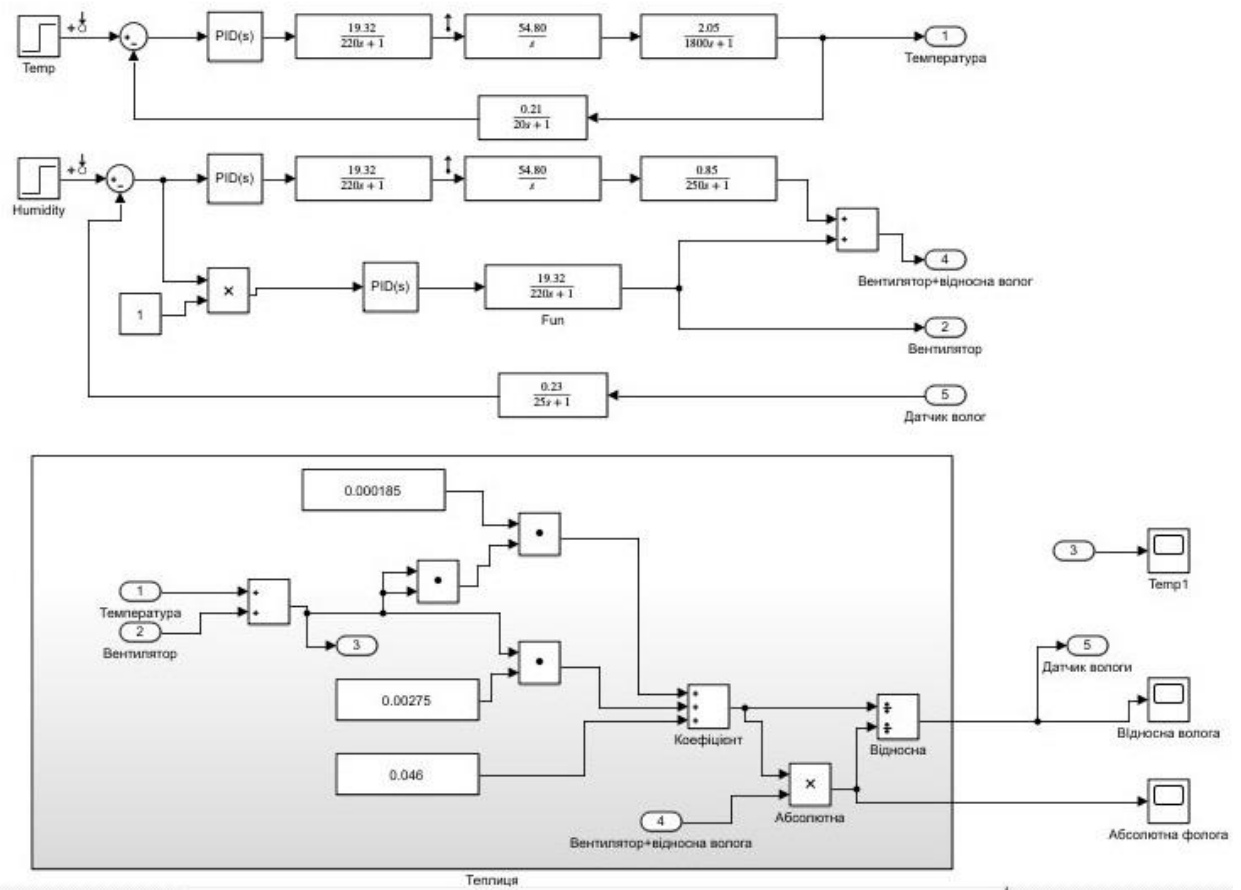


Рисунок 18 - Математична модель системи автоматичного регулювання

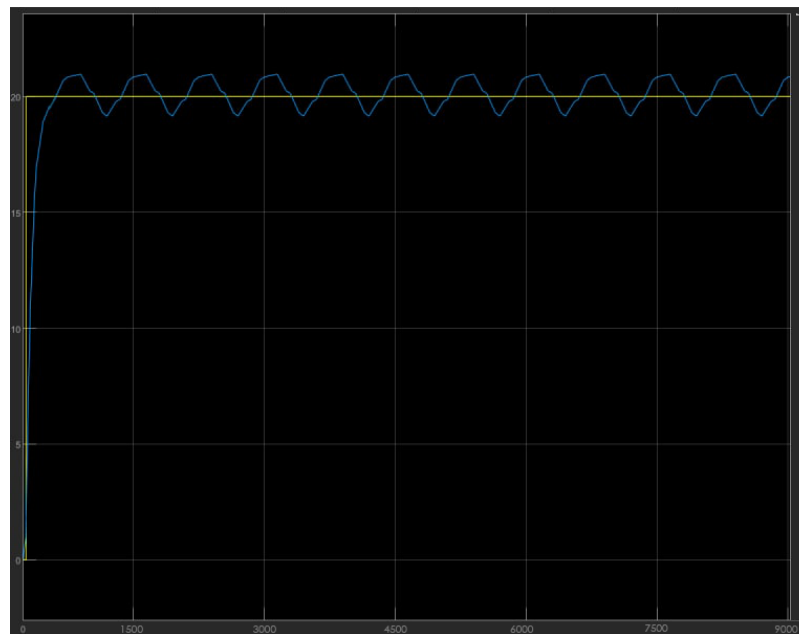


Рисунок 19 - Графік вихідного сигналу температури зі зубурення

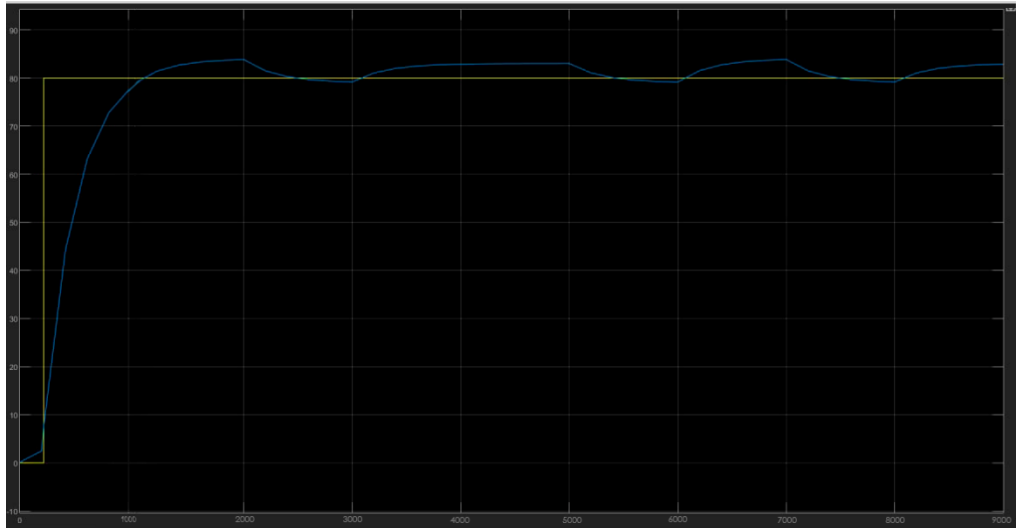


Рисунок 20 - Графік вихідного сигналу вологи зі збурення

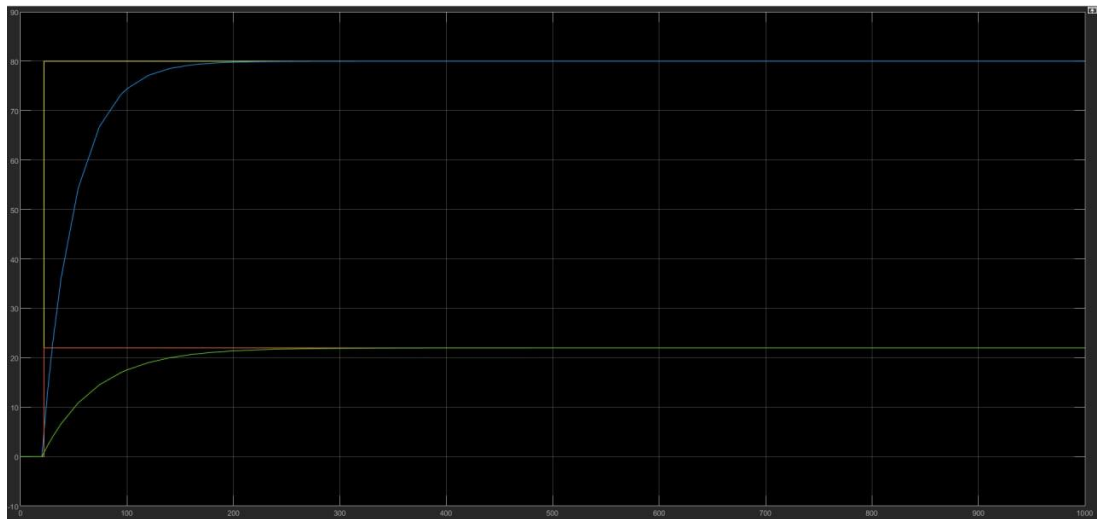


Рисунок 21 - Графік вихідного сигналу температури та відносної вологи з налаштованим регулюванням

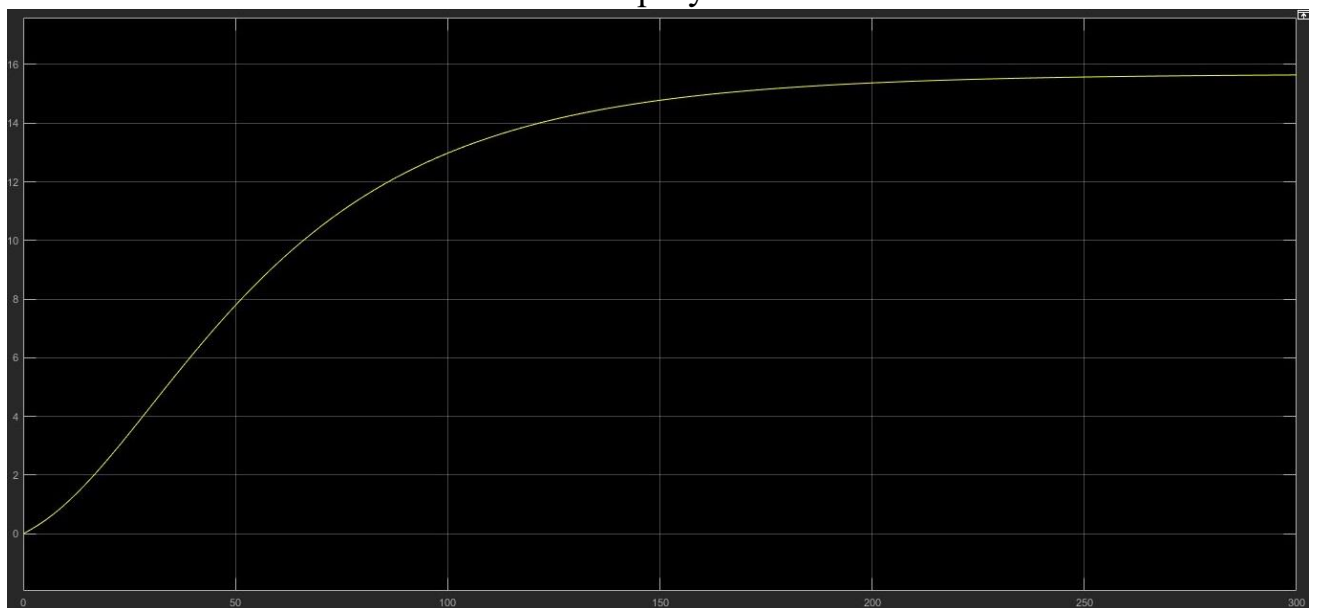


Рисунок 22 - Абсолютна волога

4. Налаштування регулятора

Виконуємо налаштування регулятора в автоматичному та ручному режимі, та побачимо як відрізнятимуться налаштування та здійснимо порівняння без регулятора

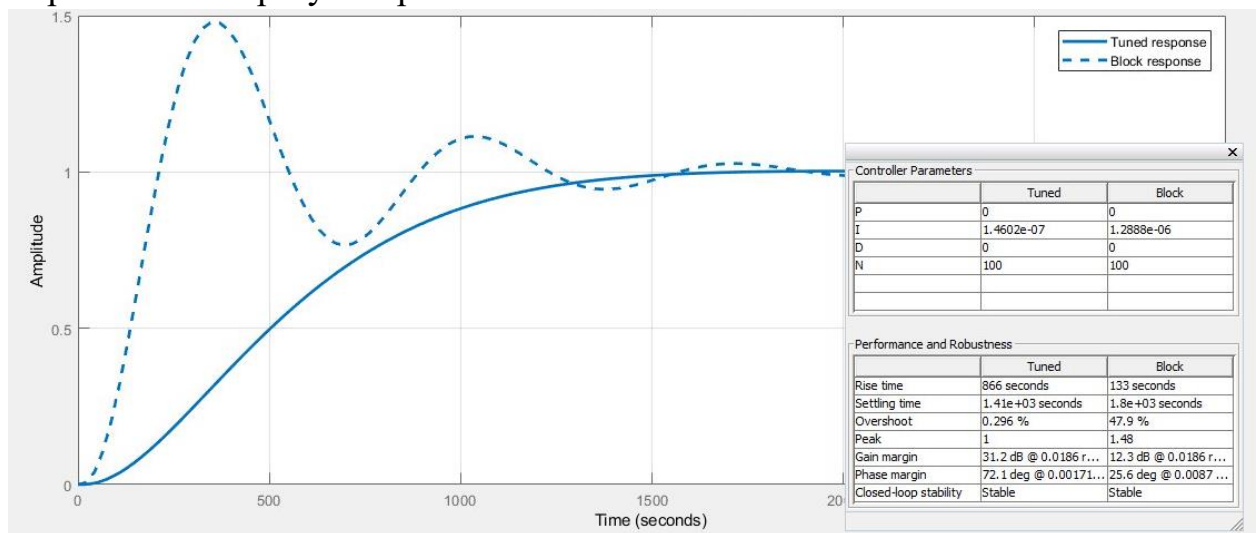


Рисунок 23 - Перехідний процес по вологості

Як ми бачимо, що перехідний процес з коефіцієнтами отриманими ручними налаштуваннями (Tuned response) не мають перерегулювання та має малий час перехідного процесу, ніж ті, що були автоматично налаштовані (Block response), який має високе перерегулювання.

Порахуємо скільки потужності може споживати даний контур з використанням регулятора та без.

Після встановлення та налаштування регулятора можемо визначити на рисунку 23, скільки споживання електроенергії за час по вологості становить, для того, щоб система досягла заданих значень номіналу, затрати енергоресурсів становить

$$1,41 \cdot 1300 = 1833 \text{Вт/г},$$

на рисунку 20 без використання регулятора зі збуреннями та перерегулюванням потужність становить

$$1,65 \cdot 1300 = 2145 \text{Вт/г}.$$

Різниця становить 17% або 312Вт/г, тобто вентилятори стали споживати на 10% менше електроенергії, а насос на 7%, що в сукупності становить 312Вт/г.

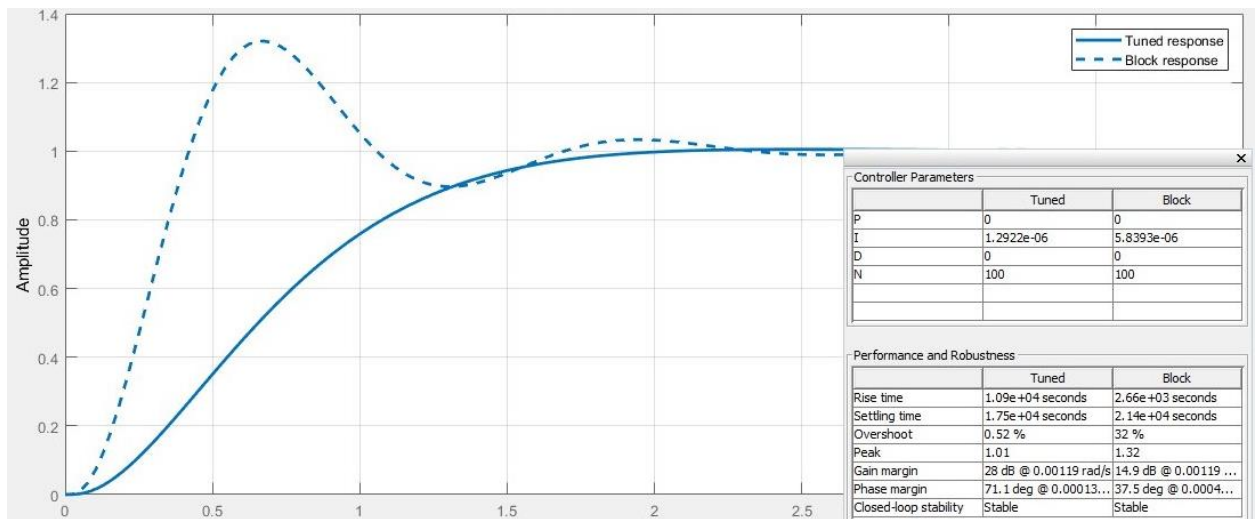


Рисунок 24 - Перехідний процес по температурі

З даного рисунку регулятора ми бачимо, що при автоматичному регулюванні (Block response) ми не бачимо впливу на регулювання по температурі, але при проведенні ручного регулювання (Tuned response) ми покращили якість перехідного процесу.

При використанні регулятора можемо визначити з рисунка 24, що споживання електроенергії перехідного процесу нагрівання становить

$$1,75 \cdot 2000 = 3500 \text{Вт/г},$$

на рисунку 19 без використання регулятора зі збуреннями потужність становить

$$2 \cdot 2000 = 4000 \text{Вт/г}.$$

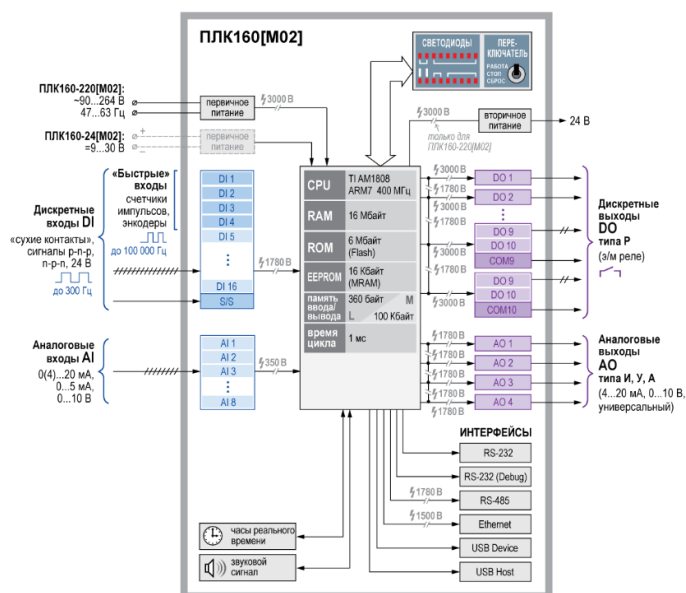
Різниця становить 14% або 500Вт/г, інфрачервоні нагрівачі почали споживати менше електроенергії 9%, а вентилятори на 5%, що становить 500Вт/г. Що дало можливість збільшити час експлуатації.

ВИБІР ПЛК

Вибір програмованого логічного контролера (ПЛК), на базі якого будується система управління, проводиться за наступними критеріями:

- технічні характеристики;
- експлуатаційні характеристики;
- кількість вхідних та вихідних сигналів.
- можливість працювати разом з сенсорною панеллю оператора.
- можливість підключення до мережі Internet.

На попередньому етапі розробки було зроблено вибір засобів автоматизації та ПЛК, це ПЛК160-Х.А. На рисунку 26 зображена його функціональна схема, з якої вдається розгледіти його архітектуру та всі його можливі підключення. Також даний контролер дає можливість в майбутньому здійснити дооснащення теплиці різними засобами автоматизації, адже даний ПЛК має достатку кількість вхідних та вихідних сигналів, а також можливість підключення допоміжним модулів.



Рисунку 25 - Функціональна схема

Таблиця 3 - Технічні характеристики

Кількість аналогових входів	8
Кількість дискретних входів	16
Кількість аналогових виходів	4
Кількість дискретних виходів	12
Інтерфейси зв'язку	RS-486 RS-232 Ethernet 100 Base-T USB

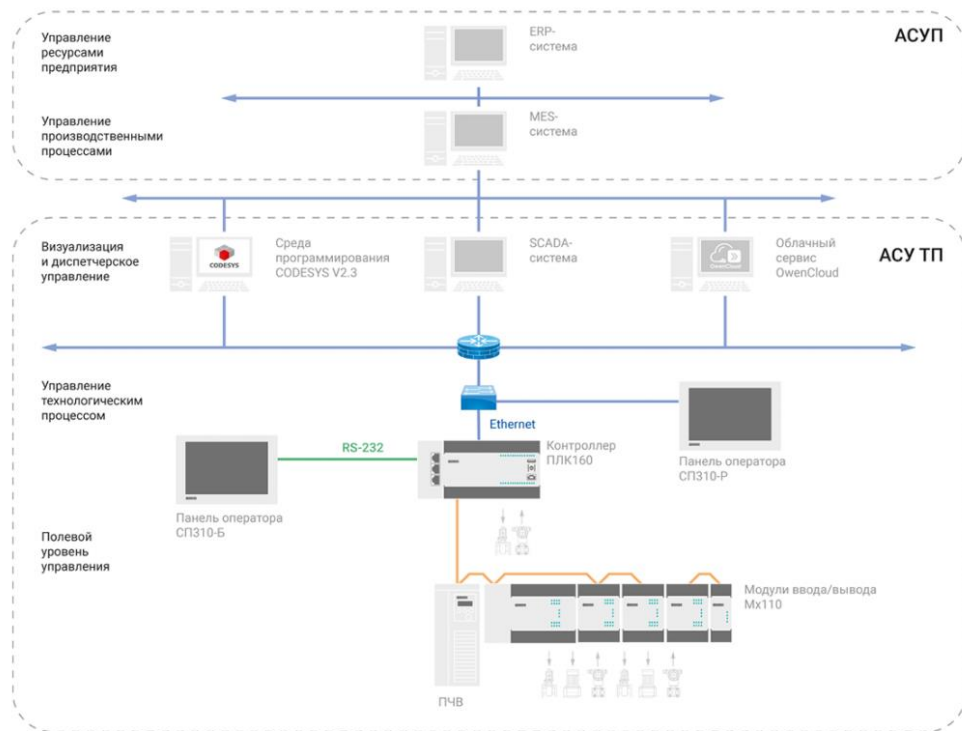


Рисунок 26 - Схема работы

SCADA СИСТЕМА

SCADA система –це комп'ютерно візуально графічне відображення процесу з можливістю слідкувати за ходом протікання процесу у реальному часі. Іншими словами це мнемо схема. Схема відображує положення давачів виконавчих механізмів.

Нижній рівень

Безперервне регулювання технологічних параметрів (температури, тиску, і т.д.) і програмно-логічне керування різними механізмами (засувками, клапанами, двигунами, конвеєрами і т.д.). Сьогодні базою нижнього рівня є програмовані логічні контролери (Programmable Logical controller)

Верхній рівень АСУ

Супервізорний рівень, або SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), супервізорний контроль і збір даних.

Так само його можуть називати HMI (Human-machine interface), людино-машинний інтерфейс або HMI / SCADA.

Супервізорне управління полягає в ідентифікації ситуації на об'єкті і видачі завдань на нижній рівень. SCADA - промислове програмне забезпечення, яке реалізує обмін даними з контролером, а так само взаємодія між особою, яка приймає рішення і безпосередньо системою управління.

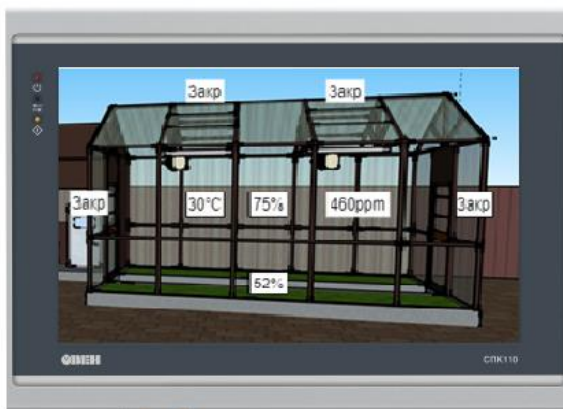


Рисунок 27 - SCADA система

Виходячи з вище зазначених рівнів наша теплиця відноситься до нижнього рівня тому, що в нашій теплиці використовуються такі елементи як панель оператора, контролер та додаткові модулі вводу.

Наша SCADA система використовується для моніторингу показань вимірювальних показників в теплиці. За допомогою неї оператор має змогу відслідковувати процеси роботи програми, приймати рішення та корегувати значення діапазону температур, вологість повітря та інші.

СЕРЕДОВИЩЕ ПРОГРАМУВАННЯ

CODESYS - інструментальний програмний комплекс промислової автоматизації. Виробляється і поширюється компанією 3S-Smart Software Solutions GmbH (Кемптен, Німеччина). Версія 1.0 була випущена в 1994 році. З листопада 2012 змінено написання на CODESYS.

Основою комплексу CODESYS є середовище розробки прикладних програм для програмованих логічних контролерів (ПЛК). Вона поширюється безкоштовно і може бути без обмежень встановлена на декількох робочих місцях.

У CODESYS для програмування доступні всі п'ять обумовлених стандартом IEC 61131-3 (МЕК 61131-3) мов:

IL (Instruction List) - асемблер-подібна мова

ST (Structured Text) - Pascal-подібна мова

LD (Ladder Diagram) - мова релейних схем

FBD (Function Block Diagram) - мова функціональних блоків

SFC (Sequential Function Chart) - мова діаграм станів

На додаток до FBD підтриманий мову програмування CFC (Continuous Function Chart) з довільним розміщенням блоків і розстановкою порядку їх виконання.

У CODESYS реалізований ряд інших розширень специфікації стандарту IEC 61131-3. Найістотнішим з них є підтримка Об'єктно-орієнтованого програмування (ООП). Вбудовані компілятори CODESYS генерують машинний код (двійковий код), який завантажується в контролер. Підтримуються основні 16- і 32-розрядні процесори: Infineon C166, TriCore, 80x86, ARM (архітектура), PowerPC, SH, MIPS (архітектура), Analog Devices Blackfin, TI C2000 / 28x і інші.

CODESYS версії V3 побудований на базі так званої платформи автоматизації: CODESYS Automation Platform. Вона дозволяє виробникам обладнання розвивати комплекс шляхом підключення власних плагінів.

Інструмент CODESYS Application Composer дозволяє перейти від програмування практичних додатків до їх швидкого складання. Користувач становить власну базу об'єктів, які відповідають певним приладів, механічних вузлів машини і т. П. Кожен об'єкт включає програмну реалізацію і візуальне уявлення. Закінчила додаток складається з необхідних об'єктів, конфігурується і автоматично генерується програма на мовах МЕК 61131-3.

CODESYS Automation Server - це хмарна платформа автоматизації для контролерів з CODESYS. Забезпечує: віддалений моніторинг даних ПЛК, контроль справності ПЛК, оновлення ПЗ ПЛК за розкладом, резервне копіювання проектів і параметрів, контроль версій, віддалене формування нарядів для обслуговування на місцях. [11]

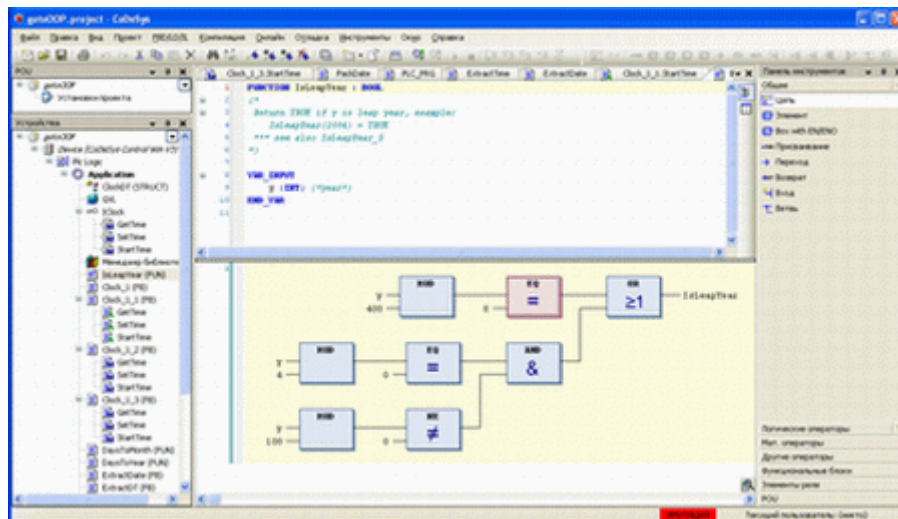


Рисунок 28 - Редагування FBD діаграми в CoDeSys

Висновок:

В ході проведеної роботи було виконані такі дії:

- Проведена ідентифікація об'єкта управління "теплиці".
- Проаналізована ФСА та виділені контури керування.
- Описана математична модель теплиці.
- Здійснив відпрацювання регулятора на математичній моделі в автоматичному та ручному режимі.
- Вибір ПЛК та інтерфейсу
- Розроблена SCADA система.

В ході виконання роботи була досягнена мета роботи: розроблена ресурснозбережна система керування режимами вирощування рослин в тепличному господарстві

Список використаної літератури

1. https://polygonal.com.ua/teplitsI_fermerskI_promislovI_IndivIdualnI.php 2018р.
2. Основні параметри теплиці
https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/23350/1/Ruzhytska_magistr.pdf 2018р.
3. Розумна теплиця, автоматика для теплиць
<https://stroy-podskazka.ru/teplica/umnaya-avtomatika-dlya-sooruzhenij/> 2017р.
4. <https://myscada.com.ua/ua/blog/chto-takoe-scada/> Що таке SCADA система? /
5. Рамазан Юсупов: Основи автоматизованих систем управління технологічними процесами. Навчальний посібник/ Інфра-Інженерія/ 132 сторінки/ 2018р.
6. Розумна теплиця, автоматика для теплиць <https://stroy-podskazka.ru/teplica/umnaya-avtomatika-dlya-sooruzhenij/> 2017р.
7. Хессайон Д.Г. Все про теплиці. 120сторінок/ 2014р./ АСТ
8. Хетагуров Я.А. Проектування автоматизованих систем обробки інформації та управління. М: Висока Школа/ 223 сторінки/ 2006р.
9. Рамазан Юсупов: Основи автоматизованих систем управління технологічними процесами. Навчальний посібник/ Інфра-Інженерія/ 132 сторінки/ 2018р.
10. Середовище програмування, CoDeSys
<https://ru.wikipedia.org/wiki/CoDeSys>
11. <https://www.se.com/ww/en/product-range-presentation/779-altistart-01/#tabs-top> Soft starters for simple machines from 0.37 to 15 kW /21.05.2020
12. Kharchenko V. Green Computing and Communications in Critical Application Domains: Challenges and Solutions/ Kharchenko V.,Sklyar V., Gorbenko A., Philips C// Proceedings of International Conference on Digital Technologies, May, 29-31, 2013, Zilina, Slovakia, 2013, P.24-29.
13. International Standart ISO 9126-1. Software engineering – Product quality – Part 1: Quality. – 2001. P. 32
14. Kharchenko V. Green Computing and Communications in Critical Application Domains: Challenges and Solutions/ Kharchenko V.,Sklyar V., Gorbenko A., Philips C// Proceedings of International Conference on Digital Technologies, May, 29-31, 2013, Zilina, Slovakia, 2013, P.24-29.
15. . Поняття "мікроклімат". Комплексна дія фізичних факторів довкілля на організм. Методи оцінки: сайт. - URL: <https://megaobuchalka.ru/10/25585.html>
16. Review of optimum temperature, humidity, and vapour pressure deficit for microclimate evaluation and control in greenhouse cultivation of tomato: a review

Received July 13, 2017