

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

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КСУ

_____ Т. В. Коротка

_____ 2021 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА
зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
на тему: «**Оптимізація процесу сушіння технічних конопель**»

Керівник :
к.т.н., доцент

Кулінченко Г.В.

Дипломник:
студент гр. СУ.м.01

Велічай Б.В.

Суми – 2021

РЕФЕРАТ

Велічай Богдан Васильович. Оптимізація процесу сушіння технічних конопель. Дипломний робота. Сумський Державний Університет . Суми 2021 р.

Дипломний робота містить 37 аркушів пояснювальної записки, 25 рисунків, 4 таблиці. При виконанні дипломного проекту було використано 10 джерел. У пояснювальній записці приведена характеристика і опис роботи регулятора також спосіб оптимізації системою адаптивного регулювання. Показана SCADA система та ПЛК Ключові слова: технічні коноплі, оптимальність, сушіння.

ABSTRACT

Velichay Bogdan Vasilovich. Automation of the process of drying technical hemp. Diploma project. Sumy State University. Sumy, 2021

The diploma project contains 37 sheets of explanatory note, 25 figures, 4 tables. 10 sources were used during the diploma project. The explanatory note describes the characteristics and description of the controller and the method of optimization of the adaptive control system. SCADA system and PLC are shown. Key words : technical hemp , optimality, drying.

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

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломної роботи
Оптимізація процесу сушіння технічних конопель

Керівник :

Кулінченко
Г.В.

Дипломник :
студент групи СУ-61

Велічай Б.В.

Суми – 2021

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	5
ВСТУП	6
1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ	7
2. ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ	11
2.1 ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ	11
2.2 ОПИС РЕГУЛЯТОРА	15
2.3 ОПИС СИСТЕМИ АДАПТИВНОГО РЕГУЛЮВАННЯ	21
3. ПРОГРАМНО-ЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЕР	31
4. РЕАЛІЗАЦІЯ SCADA СИСТЕМИ	36
ВИСНОВОК	38
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	39

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ФСА-функціональна схема автоматизації

ПЛК- програмно-логічний контролер

ТАУ-теорія автоматичного управління

АЧХ- ампліудно частотна характеристика

ФЧХ-фазо частотна характеристика

РМСА- рекурентний метод стохастичної апроксимації

САУ- система автоматичного управління

ВСТУП

Зараз наростає популярності товари з маркою «ЕКО» тобто екологічно чисті продукти і як показує історія сільсько-господарського промислу найбільш екологічним є такий вид рослин як конопля. Область її застосування включає в себе такі галузі як: медицина та косметологія, виробництво одягу та паперу, будівництво, харчова продукція і багато іншого. А щоб отримати якісний кінцевий продукт, треба мати якісну сировину, а перший процес який необхідно зробити з технічними коноплями – це термічна обробка, іншими словами *сушіння*, і так як це перший з процесів обробки то і великий відсоток якості кінцевого продукту залежить саме від нього. Але матеріально-технічна база для сушіння технічних конопель залишилась на тому рівні коли коноплеводство було ще на піку популярності(60-ті роки 20 ст.). Таким чином виявлена необхідність модернізації та оновлення агрегатів для сушіння технічних конопель, інтегруючи в уже існуючі способи термічної обробки конопель методи та концепції Теорії Автоматичного Управління(ТАУ) та матеріально-технічні можливості сучасних засобів автоматизації.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

«Сушіння технічних конопель – це процес в якому відбувається зменшення відсотка вологи в конопляній сировині до необхідного рівня»[6] . Отже для початку необхідно 4 компоненти : Камера сушіння, Котел(який буде генерувати гаряче повітря для сушіння), Транспортер(по якому буде рухатися сировина) та Система вентиляції (щоб позбутися відпрацьованого пару). Структурно це буде виглядати так(Рисунок 1)

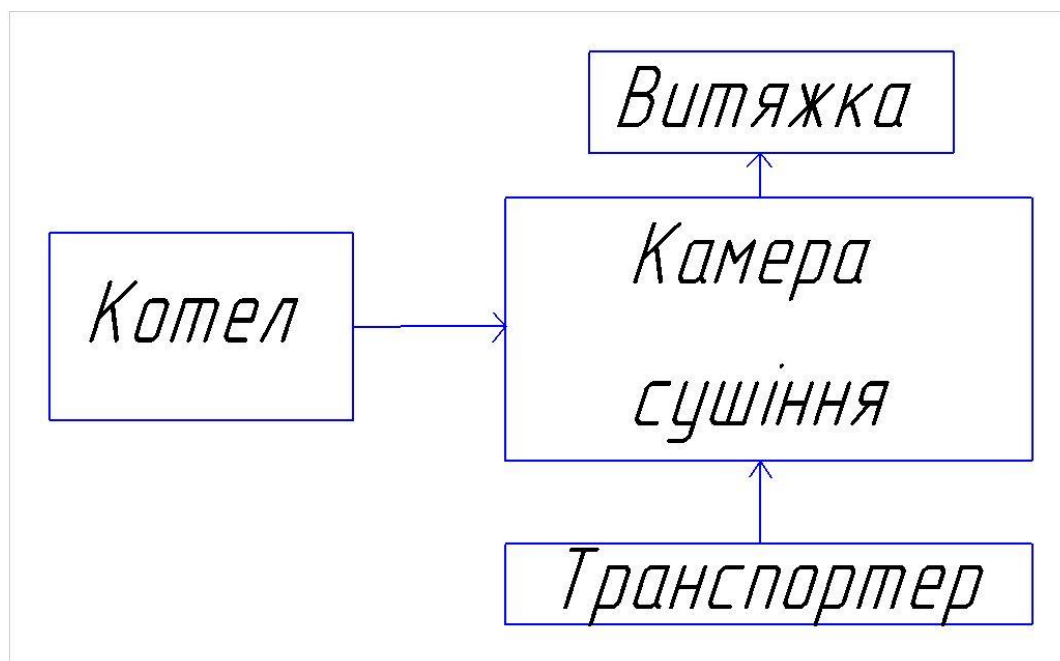


Рисунок 1- Структурна схема сушильного апарату

Але це спрощена версія , тому треба більш розгорнуту схему тобто ФСА-функціональна схема автоматизації, потім для побудови моделі з ФСА виділимо головні контури керування які необхідні для побудови моделі. Наступним кроком буде дослідження отриманої моделі : побудова в середовищі Матлаб , ідентифікація об'єкту управління(математична модель), налаштування регулятора , вибір ПЛК(программно-логічний контроллер).

ФСА-Функціональна схема автоматизації – це проектний документ який визначає для технологічного процесу об'єкту автоматизації структуру та рівень автоматизації. На цій схемі графічними позначеннями вказують засоби автоматизації , комунікації, органи керування ,технологічне обладнання та

інше. Враховуючи структурну схему (Рисунок 1) та технічні засоби автоматизації пропоную таку ФСА(Рисунок 2)

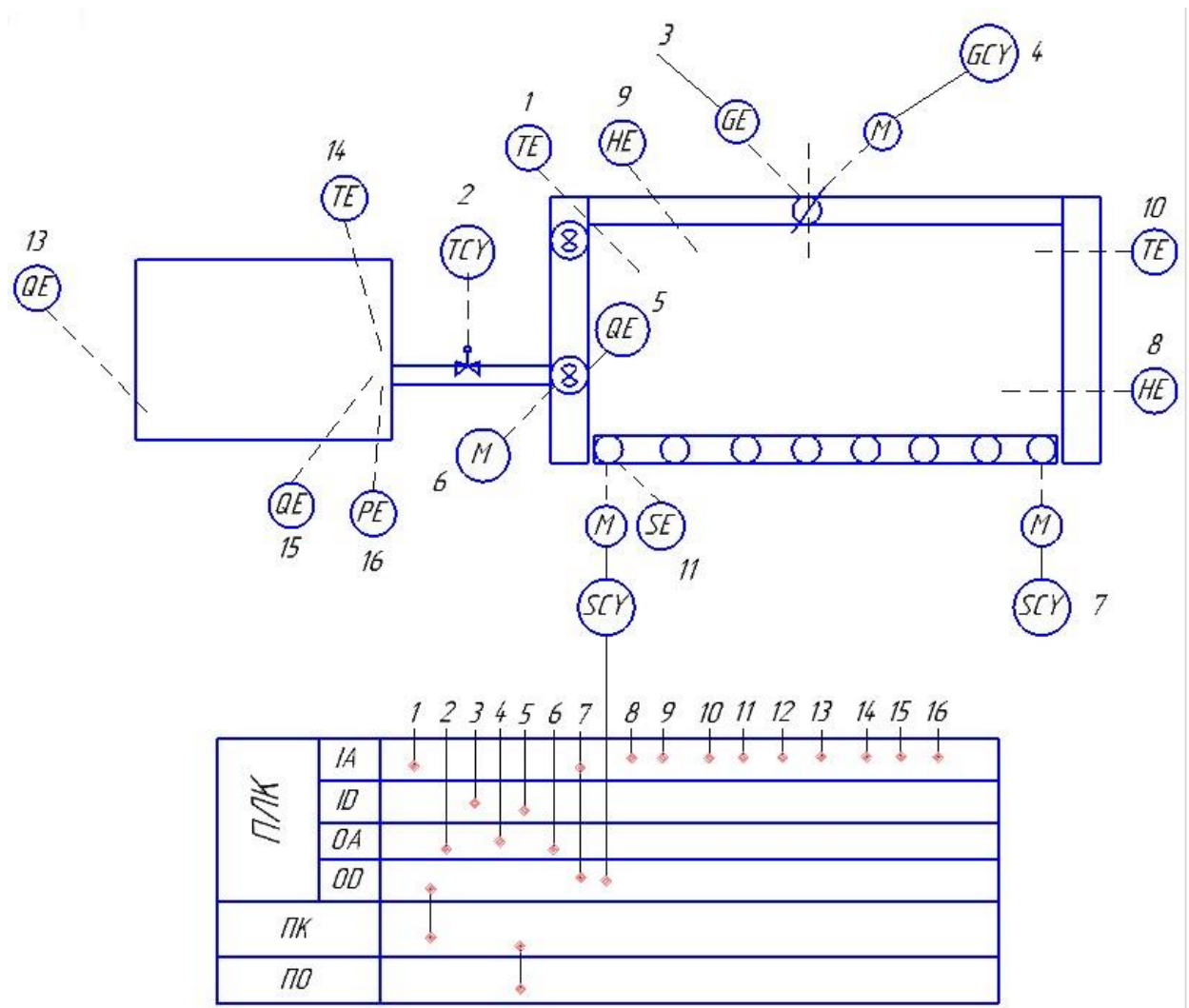


Рисунок 2 – Функціональна схема автоматизації

Під цифрами 1,10,14- позначені датчі температури ; 8,9-датчі вологи ; 2- механізм відкриття/закриття клапану подачі пару в камеру сушіння; 3-датч положення відкриття витяжки; 4-механізм відкриття/закриття витяжки; 5,13,15- датчі об'єму пару ; 6-двигун; 7-механізм контролю швидкості руху конвеєру ; 11-датч швидкості; 16- датч тиску;

Згідно Рисунку 2 виходить що процес протікає так: По конвеєру рухається конопляна сировина, з котла до камери сушіння подається гаряче повітря(пар) , кількість та об'єм пару контролюється клапаном . В самій камері сушіння підтримуються необхідні параметри , з допомогою симбіозу між системою

подачі пари та вентиляцією вдається контролювати та підтримувати необхідні параметри.

Як писалося вище наступним кроком після ФСА є виділити контури керування . При сушінні ,не важливо чого хоч технічних конопель хоч льону чи чогось іншого, найважливішим параметром є вологість, бо саме її ми виводим з сировини для сушіння, отже і головними контурами керування будуть ті що пов'язані з вологою . Згідно ФСА маємо два контури: подачі пару(Рисунок 3) та виводу пару(Рисунок 4) .

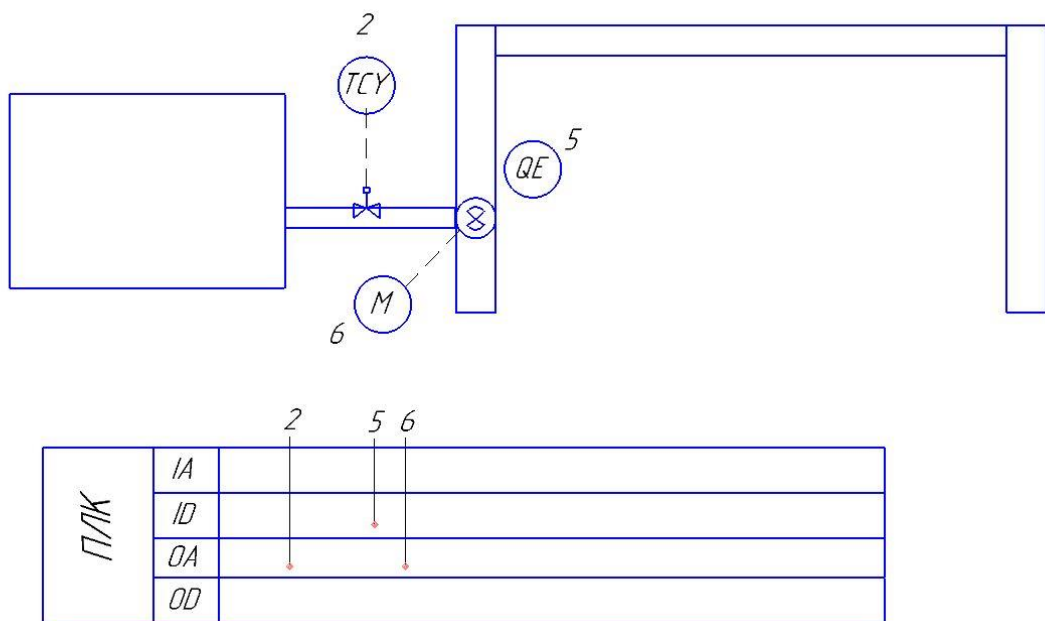
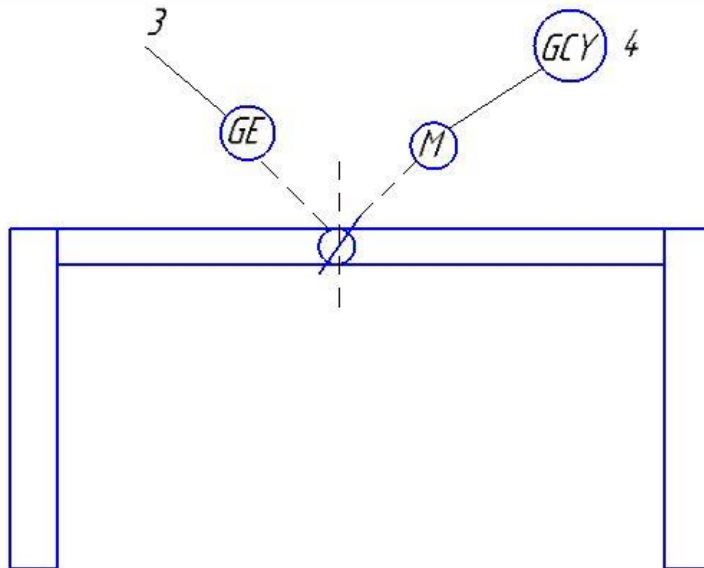


Рисунок 3- Контур подачі пару



ПЛК	IA	3 4
	ID	
	OA	
	OD	

Рисунок 4 –Контур виводу пару

Так як ці два контури взаємопов'язані то і опис їх роботи буде одночасний на двох прикладах: коли треба підвищити рівень параметрів(вологості та температури) або навпаки зменшити .

При ситуації коли необхідно підвищити рівень параметрів камери сушіння необхідно більше відкрити клапан подачі пару і закрити повністю або сильніше ніж є вентиляцію , щоб те що наганяє клапан подачі пару не вилетіло в трубу.

При ситуації коли необхідно зменшити рівень параметрів відбуваються значення протилежні попередній ситуації. Частково або повністю закривається клапан подачі пару і в той же час сильніше відкриваємо витяжку. Головне пам'ятати що є межі значень параметрів які не можна перевищувати та робити занадто малими, бо в якому випадку отримаємо бракований кінцевий продукт.

Як основний параметр для розробки моделі був обраний параметр *вологість*. Це зроблено не випадково, так як сушіння це перший з процесів обробки технічних конопель, то в певній мірі великий відсоток якості кінцевого продукту залежить від нього. Хоч при слові сушіння першою асоціацією на думку приходить температура, це заблудження, головна задача сушіння це вивести вологу з сировини сушіння а не просто прогріти її, тому і вся система буде побудована на контролі рівню вологи в камері сушіння та в конопляній сировині.

2. ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ

2.1 ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ

«Вміст вологи в коноплях як і інших речовинах, характеризують величиною відношення маси вологи в до маси речовини.»[9] Це відношення, виражене у відсотках, називають вологістю. В технології прийнято розраховувати вологість як відношення маси вологи, що міститься, до її маси в абсолютно сухому стані. Вологість W (у %) визначають у цьому випадку згідно виразу:

$$W = \frac{m_{\text{вол}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100 = \frac{m - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100 \quad (1)$$

де m — загальна маса сировини, г;

$m_{\text{сух}}$ — маса сировини в абсолютно сухому стані, г;

$m_{\text{вол}}$ — маса вологи в сировині, г.

«Волога в може знаходитися як у порожнинах кліток, заповнюючи макрокапілярну систему, так і в їхніх стінках. Вологу, що знаходиться в порожнинах кліток і в просторах між клітками, називають вільною, а в клітинних стінках—зв'язаною чи гігроскопічною.»[2] Вміст зв'язаної вологи в обмежений. Стан, при якому стінки кліток мають максимальну вологість при зіткненні їх з рідкою вологою, називається межею їхнього насичення. Вологість межі насичення ($W_{M.H}$) практично не залежить від породи і складає

в середньому 30%. Якщо вологість деревини більша $W_{M.H}$, тобто вище 30%, значить у деревині міститься вільна волога.

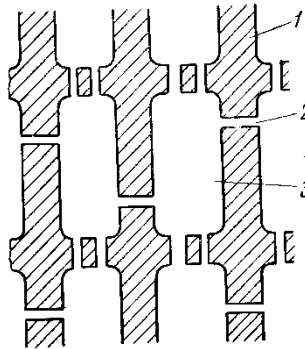


Рисунок 5-Схема макрокапілярної структури

Де, 1-стінка клітини ; 2-пора ; 3-порожнина клітини.

Постійну вагу приймають рівною її вазі в абсолютно сухому стані $m_{сyx}$.

Вологість (в %) розраховують згідно рівняння

$$W = \frac{m_n - m_{сyx}}{m_{сyx}} \cdot 100 \quad (2)$$

По відомих величинах початкової вологості і початкової маси розраховують масу абсолютно сухого контрольного зразка:

$$M_{сyx} = \frac{M_{II} \cdot 100}{W_{II} + 100} \quad (3)$$

Таким чином, його вага в абсолютно сухому стані відома перед початком сушіння.

Поточну вологість W_T зразків знаходять по виразу

$$W_T = \frac{M_T - M_{сyx}}{M_{сyx}} \cdot 100 \quad (4)$$

де M_T – маса зразка в момент визначення поточної вологості, г.

Рівномірність кінцевої вологості. Показником рівномірності вважають середнє квадратичне відхилення, що обчислюється по формулі

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (W_i - W_{CP})^2}{n-1}} \quad (5)$$

де W_i – вологість окремої секції, %;

W_{CP} – середня вологість, %;

n – число секцій вологості.

Продуктивність сушильної камери, в якій відбувається сушіння, визначається в кубічних метрах за рік виразом:

$$П = \frac{335}{\tau_{об}} \cdot E \quad (6)$$

де 335— число діб роботи камери в році; $\tau_{об}$ – тривалість одного обороту камери при сушінні фактичного матеріалу, діб; в камерах неперервної дії вона дорівнює тривалості сушіння, а в камерах періодичної дії – тривалості сушіння, збільшеної на час завантаження і розвантаження камери, що складає 0,1 доби; E — місткість сушильної камери, м³.

Кількість фактично просушеного матеріалу Φ переводиться у кількість умовного матеріалу $У$ по співвідношенню

$$У = \Phi \cdot \frac{E_{ум} \tau_{\phi}}{E_{\phi} \tau_{ум}} \quad (7)$$

Отже, для перекладу фактичного обсягу в обсяг умовного матеріалу необхідно встановити місткість камери на умовному ($E_{ум}$) і фактичному (E_{ϕ}) матеріалі, а також тривалість сушіння умовного ($\tau_{ум}$) і фактичного (τ_{ϕ}) матеріалу.

Місткість камери E (м³ деревини) визначають по рівнянню

$$E = \Gamma \beta \quad (8)$$

де Γ — обсяг матеріалу, одночасно розміщених в камері;

β — коефіцієнт об'ємного заповнення .

Планову продуктивність камери $П_{ум}$ у м³ умовного матеріалу в рік розраховують по формулі

$$П_{ум} = \Gamma \beta_{ум} \cdot 335 / \tau_{об \cdot ум} = \Gamma n_{ум} \quad (9)$$

де $n_{ум}$ – питома продуктивність камери в рік в умовному матеріалі, на 1 м^3 обсягу штабелів; значення $n_{ум}$ для камер основних типів.

Розглянемо камеру як об'єкт регулювання температури агента сушіння. Кількість тепла, яке передається від калорифера в камеру за час dt визначається рівнянням теплового балансу

$$\theta = k_K F_K (\theta_{П} - \theta_{С}) dt \quad (10)$$

де k_K – коефіцієнт теплопередачі калориферу, $\text{ккал}/\text{м}^2\text{град}$;

F_K – поверхня калорифера, м^2 ;

$\theta_{П}$ і $\theta_{С}$ — температура пари в калорифері й агента сушіння в камері, $^{\circ}\text{C}$.

Розглядаючи динаміку об'єкта по каналі «температура пари— температура агента сушіння в камері», припускають, що температура агента сушіння по обсязі однаковий і відхилення температури пари невеликі: $\theta_{П} = \theta_{П.о.} \pm \Delta_{П}$.

Тепло, передане в камеру від калорифера за нескінченно малий проміжок часу dt , витрачається на:

нагрівання калорифера $c_{М} m_K d\theta_K$;

металу в камері $c_{М} m_M d\theta_C$;

покриття втрат $k_{ОГ} F_{ОГ} (\theta_K - \theta_{НАР}) dt_K$;

теплообмін $\alpha F_D = (\theta_K - \theta_D) dt$.

Рівняння теплового балансу запишеться:

$$k_K (\theta_{П.о.} \pm \Delta_{П} - \theta_{С}) dt = c_{М} m_K d\theta_K + c_{М} m_M d\theta_C + k_{ОГ} F_{ОГ} (\theta_C - \theta_{НАР}) dt + \alpha F_D (\theta_C - \theta_D) dt \quad (11)$$

Перепишемо рівняння у вигляді:

$$k_K (\theta_{П.о.} \pm \Delta_{П} - \theta_{С}) dt = c_{М} m_K (d\theta_K) / dt + c_{М} m_M (d\theta_C) / dt + k_{ОГ} F_{ОГ} (\theta_C - \theta_{НАР}) + \alpha F_D (\theta_C - \theta_D) \quad (12)$$

де c_M – теплоємність металу; m_K – маса металу в камері, кг ; $F_{ОГ}$ – поверхня огорожень, м^2 ; $\theta_{НАР}$ — температура зовнішнього середовища, $^{\circ}\text{C}$; $k_{ОГ}$ – середній коефіцієнт теплопередачі огорожень; α – коефіцієнт теплообміну

агенту сушіння в процесі сушіння; F_D – поверхня агента, m^2 ; θ_D — температура агента.

В встановленому режимі, коли $d\theta_k/dt=0$, рівняння буде:

$$k_k F_k (\theta_{\text{п.о}} - \theta_{\text{с.о}}) = k_{\text{ог}} F_{\text{ог}} (\theta_{\text{с.о}} - \theta_{\text{нар}}) + \alpha F_D (\theta_{\text{с.о}} - \theta_D) \quad dt \quad (13)$$

При невеликих змінах температури агента сушіння в камері $\theta_D = \text{const}$.

Із рівнянь вище отримаємо:

$$\frac{c_m m_k}{k_k F_k + k_{o_2} + \alpha F_D} \frac{d\Delta\theta_k}{dt} + \frac{c_m m_m}{k_k F_k + k_{o_2} + \alpha F_D} \frac{d\Delta\theta_c}{dt} + \frac{k_k F_k}{\Delta\theta_c = k_k F_k + k_{o_2} + \alpha F_D} \quad (14)$$

Позначимо $\frac{k_k F_k}{k_k F_k + k_{o_2} + \alpha F_D} = k_0 \frac{\Delta\theta_c}{\Delta\theta_n}$, тоді при $\Delta\theta_k = \Delta\theta_{\text{п}}$ та $\frac{d\theta_k}{dt} = \frac{1}{k_0} \frac{d\Delta\theta_c}{dt}$

Рівняння набуде вигляду :

$$T \frac{d\Delta\theta_c}{dt} + \Delta\theta_c = k_0 \Delta\theta_{\text{п}}; \quad T = \frac{c_m m_m}{k_k F_k} + \frac{c_m m_m}{k_k F_k + k_{o_2} + \alpha F_D} \quad (15)$$

де T — постійна часу.

Розглянута математична модель не враховує час запізнювання в реальних умовах.

2.2 ОПИС РЕГУЛЯТОРА

В системі регулювання вибираємо двопозиційний регулятор. «Регулятор настраюється так, щоб його статична характеристика $\mu = f(\varepsilon)$ була розміщена косиметрично відносно заданого приросту регулюємої величини, а значення μ та ε відраховувались в приростах від умовної рівноваги об'єкту

регулювання, що відповідає розрахунковим значенням μ_0 та ε_0 , прийнятим за початок відліку»[3]

Статична характеристика регулятора:

$$\begin{cases} \mu = \mu_1 & \text{при } \varepsilon \geq a; \\ \mu = \mu_1 & \text{при } -a < \varepsilon < a \text{ і } d\varepsilon/dt < 0; \\ \mu = -\mu_2 & \text{при } \varepsilon \leq -a; \\ \mu = -\mu_2 & \text{при } -a < \varepsilon < a \text{ і } d\varepsilon/dt > 0 \end{cases} \quad (16)$$

З попереднього рівняння() видно, що регулятори постійно здійснюють на об'єкт регулювання вплив, відмінний від значення необхідного для рівноважного стану системи ($\varepsilon=0$). В результаті цього автоматична система з регулятором працює в автоколивальному режимі в околі її рівноважного положення. Статична характеристика $\mu=f(\varepsilon)$ зображена на рис.6.

Для визначення оптимальних параметрів настроювання регулятора складемо структурну схему автоматичної системи з регулятором (рис. 7).

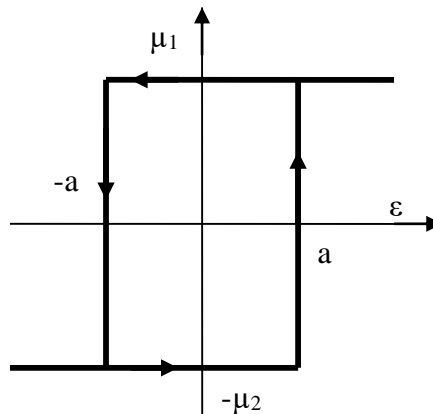


Рисунок 6- Статична характеристика регулятора з зоною нечутливості

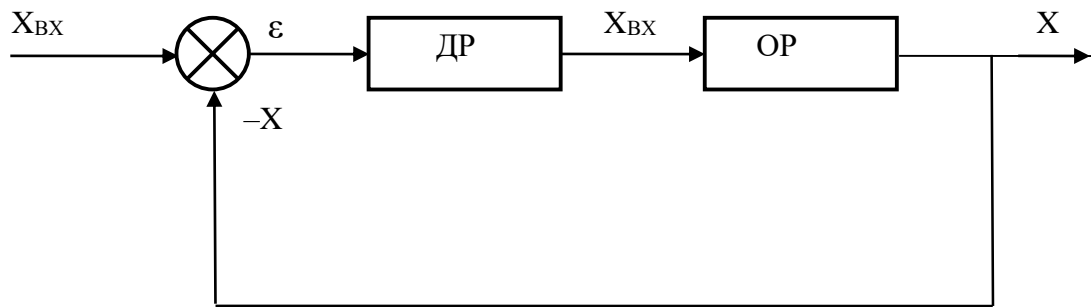


Рисунок 7 – Структурна схема автоматизованої системи з регулятором
В першому наближенні об'єкт регулювання ОР (камера сушіння) описується передаточною функцією :

$$W_{об} = \frac{k_{об} \cdot e^{-\tau_0 p}}{T \cdot p + 1} \quad (17)$$

$k_{об}$ – коефіцієнт передачі об'єкта регулювання;

τ_0 – стала запізнення об'єкта регулювання;

T – постійна часу об'єкта регулювання.

Розрахуємо $k_{об}$, використовуючи формулу :

$$k_{об} = \frac{k_k F_k}{k_k F_k + k_{oz} F_{oz} + \alpha F_D} = \frac{13 \cdot 12}{13 \cdot 12 + 2 \cdot 170 + 5,1 \cdot 80} = 0,0872 \quad (18)$$

де k_k – коефіцієнт теплопередачі калориферу, $k_k = 13$ ккал/м²град;

F_k – поверхня калорифера, $F_k = 12$ м²;

$k_{ог}$ – середній коефіцієнт теплопередачі огорожень $k_{ог} = 2$;

α – коефіцієнт теплообміну в процесі сушіння

$\alpha = 5,1$ ккал/год·м²·град;

F_D – поверхня об'єкту сушіння, $F_D = 80$ м².

Постійна часу об'єкта буде рівна:

$$T = \frac{c_m m_m}{k_k F_k} + \frac{c_m m_m}{k_k F_k + k_{oz} F_{oz} + \alpha F_D} = \frac{37,5 \cdot 120 \cdot 0,11}{13 \cdot 12} + \frac{1700 \cdot 0,11}{13 \cdot 12 + 2 \cdot 170 + 5,1 \cdot 80} = 3,37 \quad (19)$$

Згідно характеристик лісосушильної камери вибираємо, що відношення

$$\tau_0/T = 0,26. \text{ Тоді } \tau_0 = 0,26 \cdot T = 0,879 \text{ хв.}$$

Параметри регулятора вибираємо за допомогою середовища MATLAB. У середовищі MATLAB система регулювання має вигляд (рис. 8).

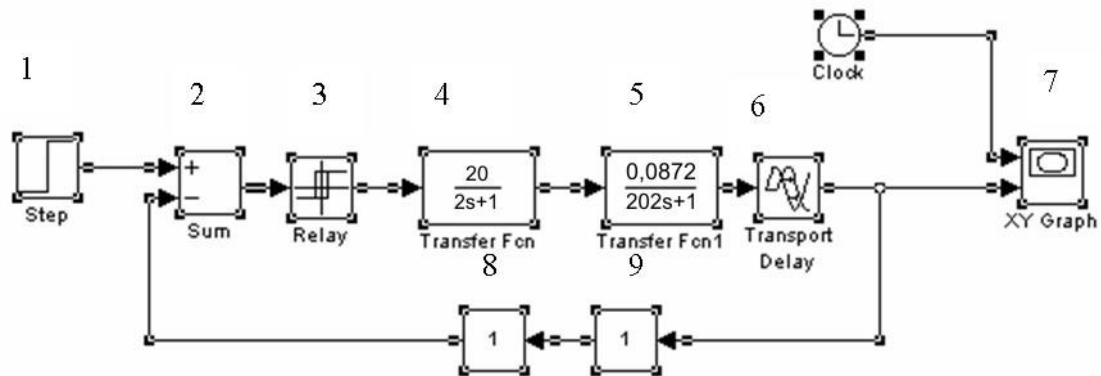


Рисунок 8-Система регулювання в середовищі MATLAB

Опишемо блоки зображені на рисунку:

- 1– генерує одноступінчату входну функцію (одиничний стрибок);
- 2– суматор;
- 3– блок, який реалізує двопозиційне реле з зоною неоднозначності;
- 4– блок, який описує передаточну функцію виконавчого механізму;
- 5 і 6 – блоки які описують передаточну функцію об'єкта регулювання.
- 7 – блок, що реалізує графічне відображення результатів дослідження;
- 8,9 – блоки, що описують передаточні функції перетворювача та давача.

Ввівши розраховані коефіцієнти в відповідні блоки отримали перехідну характеристику (рис 9).

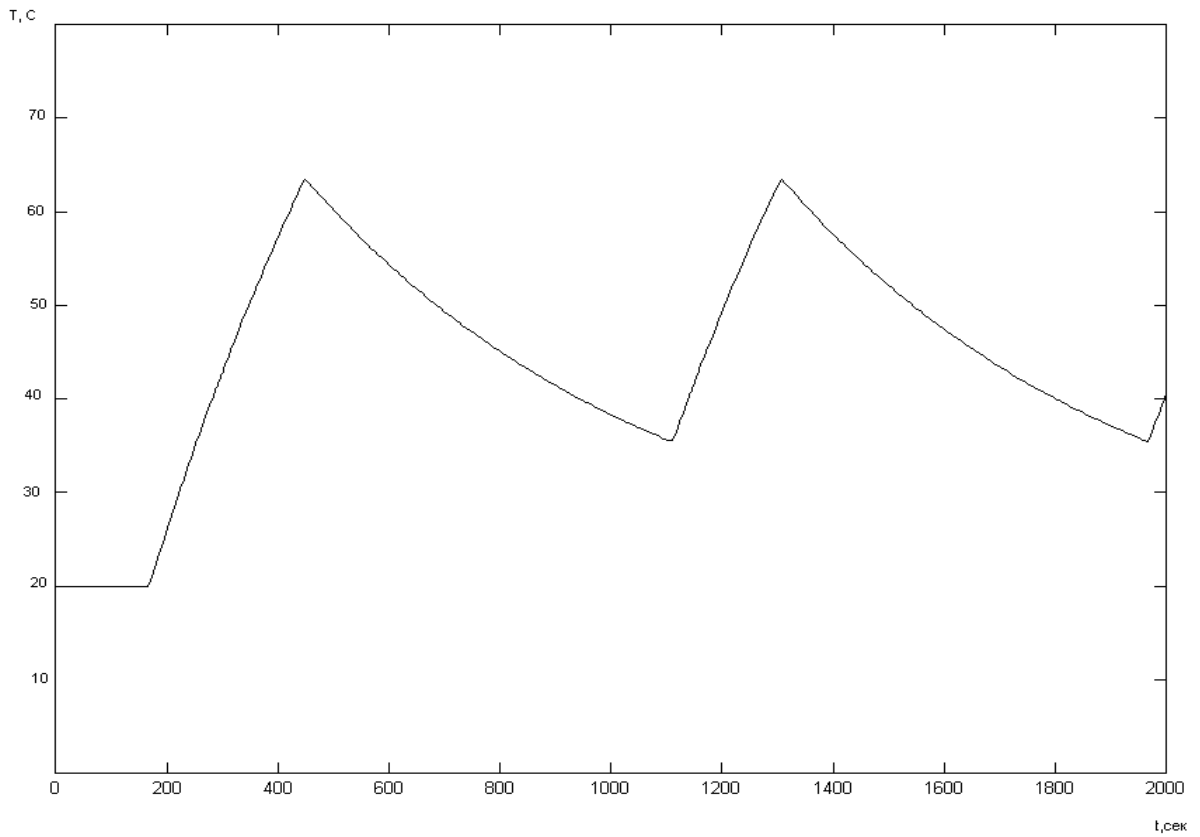


Рисунок 9 –Перехідна характеристика камери сушіння.

Перевіримо систему на стійкість за загальною умовою стійкості, для цього побудуємо карту нулів та полюсів системи:

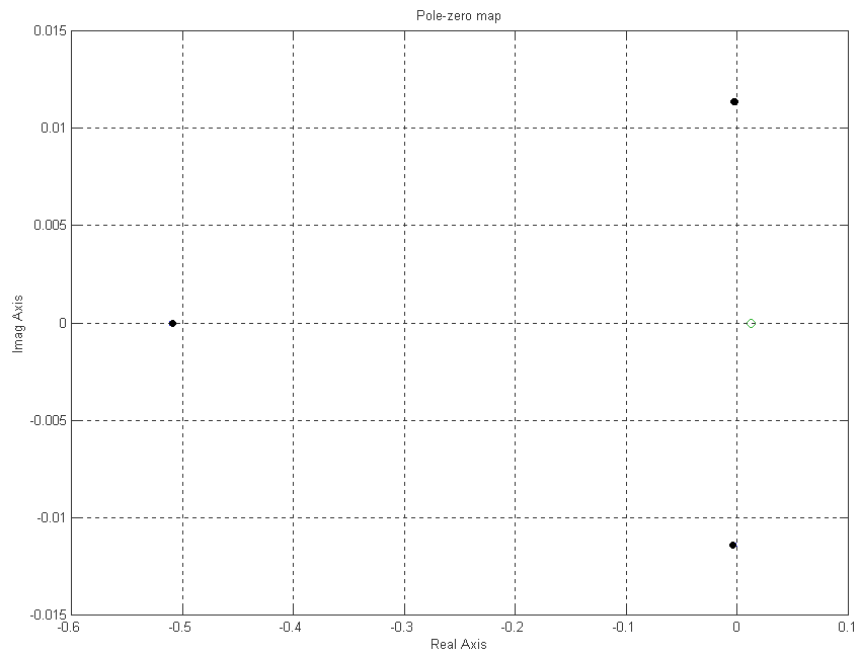


Рисунок 10-Карта нулів та полюсів системи

На основі загальної умови стійкості та рис.10 можемо зробити висновок, що система є стійкою, оскільки всі корені характеристичного рівняння (нулі системи) знаходяться в лівій частині комплексної площини коренів.

Проведемо більш детальні дослідження і визначимо запаси стійкості системи по амплітуді та фазі. Для цього в середовищі MATLAB побудуємо графіки АЧХ та ФЧХ системи:

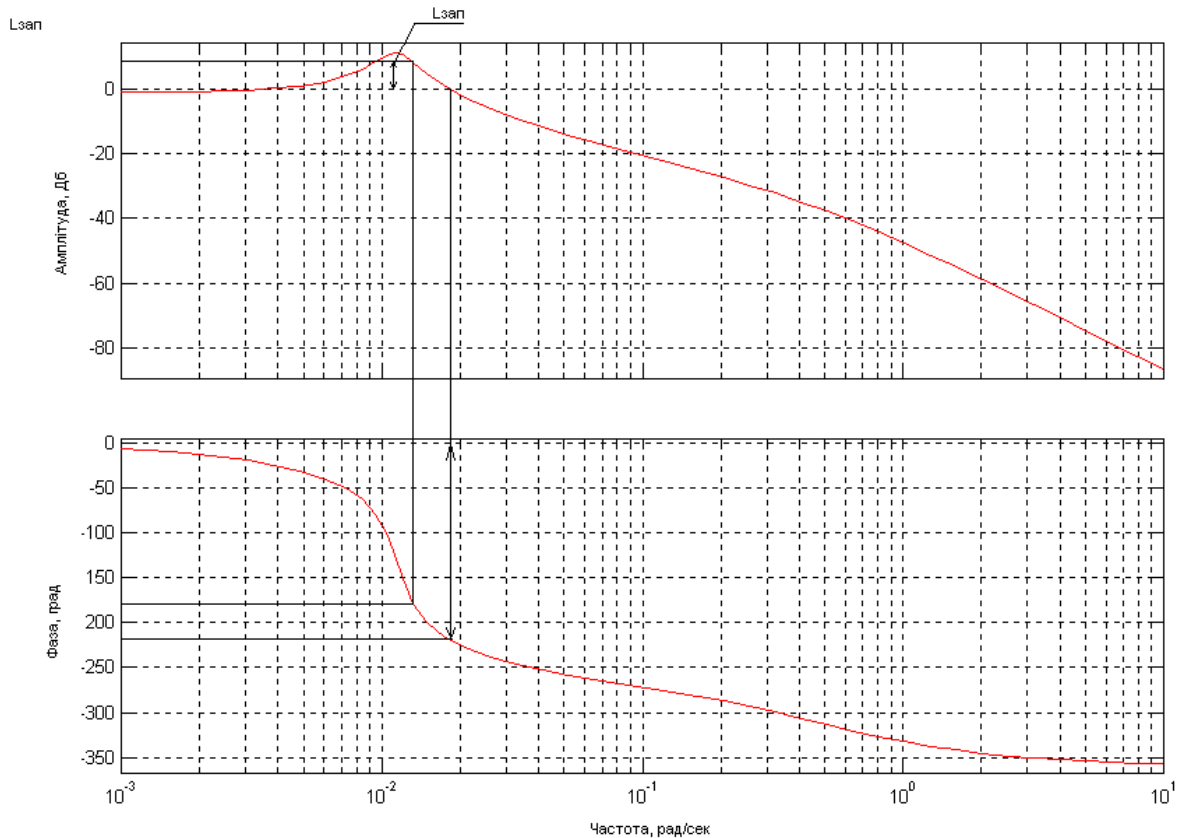
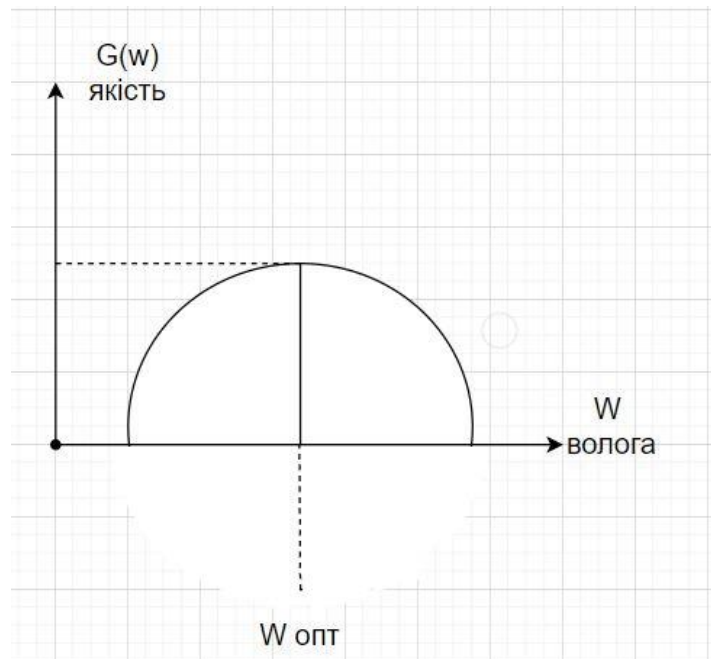


Рисунок 11 – АЧХ та ФЧХ системи

З побудованих графіків ми бачимо, що запас стійкості по амплітуді складає: $L_{зап}=10$ Дб, а запас стійкості по фазі: $f_{зап}=220$ градусів. Дані значення перевищують мінімально допустимі, а тому можна сказати, що система є стійкою.

Отже нам необхідно буде побудувати систему яка зможе адаптуватися під нові дані та адекватно змінювати вектор керування іншими словами для оптимізації процесу сушіння технічних конопель необхідна система адаптивного регулювання. Але перш за все необхідно зрозуміти що для системи є оптимумом. Так як тема роботи процес сушіння то головним

оптимумом буде вміст вологи в продукті. Якщо її буде забагато або замало то вийде брак. Другим фактором оптимальності буде збереження тепла для сушіння .



2.3 ОПИС СИСТЕМИ АДАПТИВНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

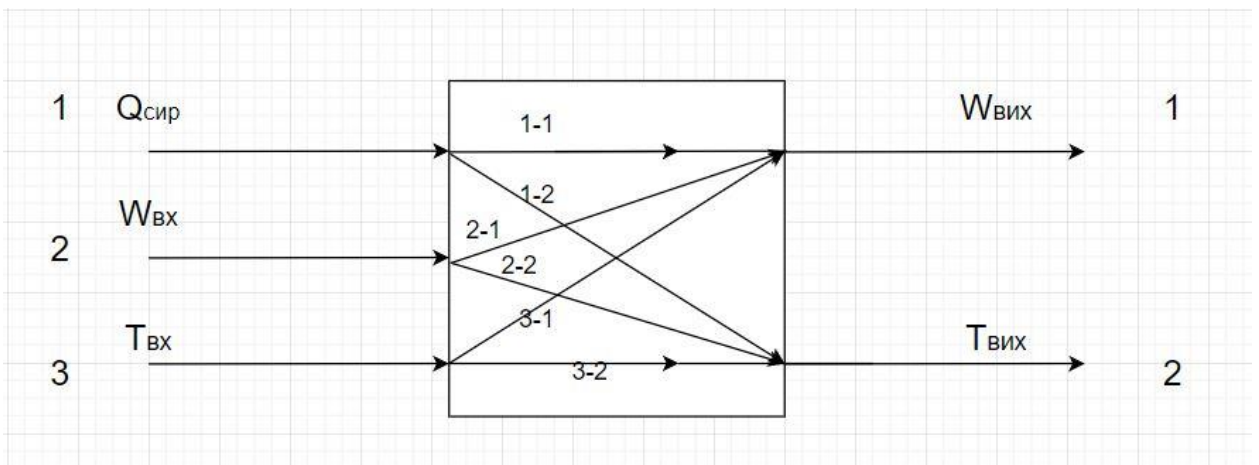


Рисунок 12 – Структурна схема системи

$Q_{сир}$ - витрата конопляної сировини(кг/с); $W_{вх}$ - початкова вологість конопляної сировини(%); $T_{вх}$ - температура сушильного агенту на вході до конвеєру($^{\circ}C$) . $W_{вих}$ –кінцева вологість конопляної сировини(%); $T_{вих}$ - температура сушильного агенту на виході конвеєру($^{\circ}C$) .

Як показано на схемі у нас декілька каналів регулювання, але на кожному з каналів регулювання передаточна функція являє собою аперіодичну ланку із запізненням(затримкою) . В загальному вигляді функція має таку формулу:

$$W_{ij}(p) = \frac{K_{ij}}{T_{ij} \cdot p + 1} \cdot e^{-\tau_{ij}p} \quad (20)$$

де i – порядковий номер на вході, j – порядковий номер на виході.

Також необхідні динамічні характеристики для кожної ланки , їх було отримано експериментальним шляхом , отримані дані показані на таблиці 1

Таблиця 1

	1-1	1-2	2-1	2-2	3-1	3-2
Канал/параметр	$Q-W$	$Q-T$	$W-W$	$W-T$	$T-W$	$T-T$
K	3	40	0,1	1	0,025	0,015
T , сек	420	300	120	280	240	150
τ , сек	240	90	30	80	120	30

K - коефіцієнт посилення; T (сек) – постійна часу; τ (сек)- транспортна затримка

Для вибору основного каналу регулювання зазвичай оцінюється динамічна характеристика об'єкту. Зазвичай обирається той канал у якого транспортна затримка(τ) та постійна часу(T) найменші , також надають перевагу каналу де співвідношення цих двох параметрів(транспортна затримка і постійна часу) найменше - τ/T .

Враховуючи описані вище правила то виходить що основний канал керування це вхідна і вихідна вологість конопляної сировини(Рисунок 13).

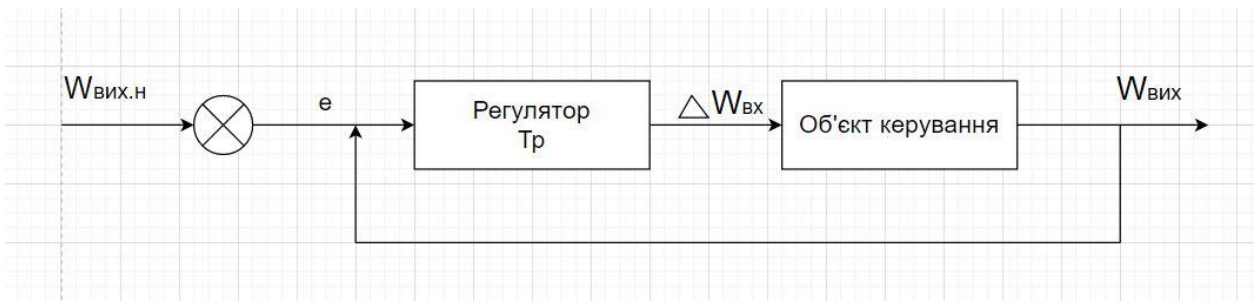


Рисунок 13-Блок схема САУ по відхиленню(без компенсатора)

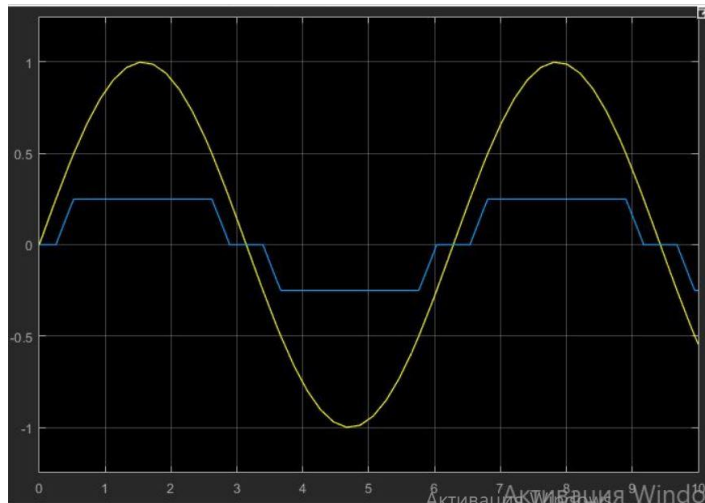


Рисунок 14 –Осцилограма моделювання САУ по відхиленню

Така САУ не дає тієї якості сушіння яка необхідна для нашої мети. Оптимальним варіантом рішення буде система адаптивного керування яка буде побудована на САУ по відхиленню основної величини яка регулюється($W_{вих}$) та компенсацією збурень по температурі($T_{вх}$) та витратам конопляної сировини($Q_{сир}$). Також додається блок налаштування параметрів регулятора та компенсаторів. Показана на Рисунок.15 та осцилограма моделювання Рисунок 16.

Параметри моделі можна оцінити з допомогою рекуррентного методу стохастичної апроксимації РМСА зроблену на основі вимірних значень вхідних та вихідних величин. «Блок налаштування коли отримує нову оцінку параметрів проводить перерахунок параметрів»[10], так відбувається кожного разу при переоцінці , цикл за циклом.

Параметри моделі це динамічні характеристики об'єкта(T, K, τ) та регуляторів(K_p, T_i, T_N).

Наш об'єкт керування це конвеєр для сушіння технічних конопель який можна описати як лінеаризовану модель у формі лінійної різниці рівнянь.

$$y_u(K) + a_1 * y_u(K-1) + \dots + a_m * y_u(K-m) = b_1 * u(K-d-1) + \dots + b_m * u(K-d-m)$$

$$u(K) = U(K) - U_{00}$$

$$y(K) = Y(K) - Y_{00}$$

(21)

Де d- затримка; m-число тактів квантування; u(K),y(K)варіації відхилення ; U(K)Y(K)-змінні значення.

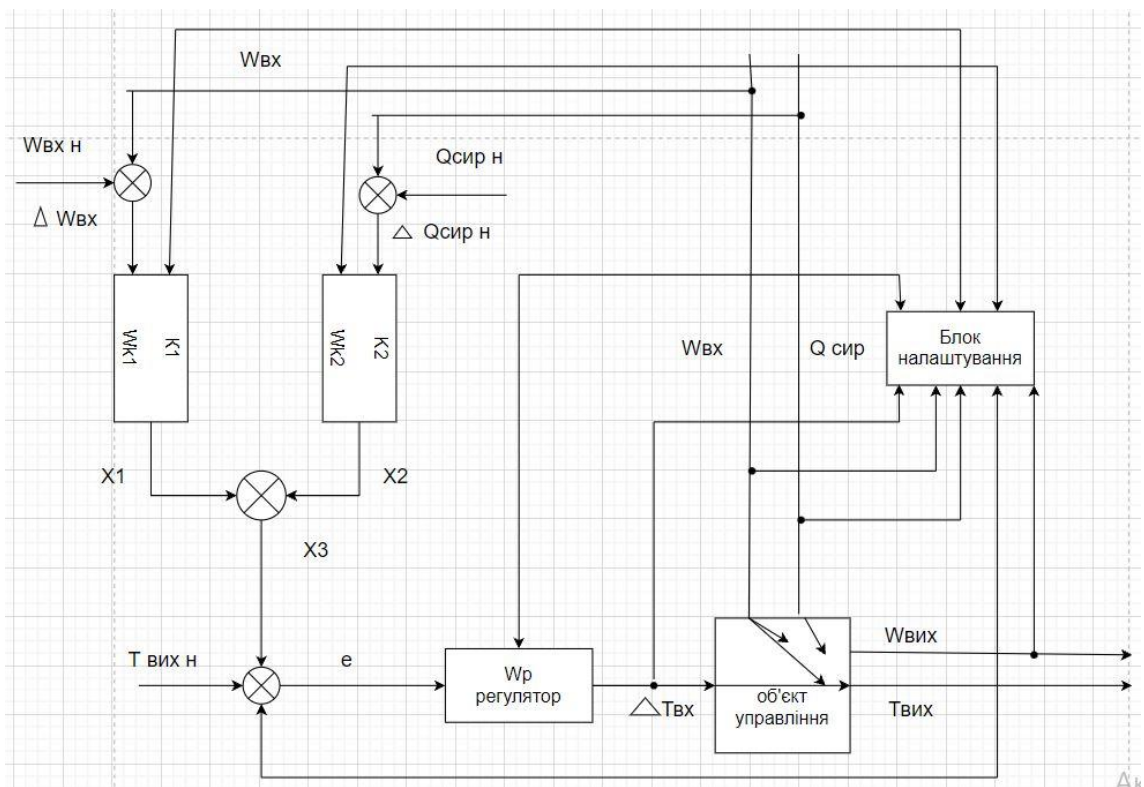


Рисунок 15- Модель САУ процесу сушіння конопляної сировини

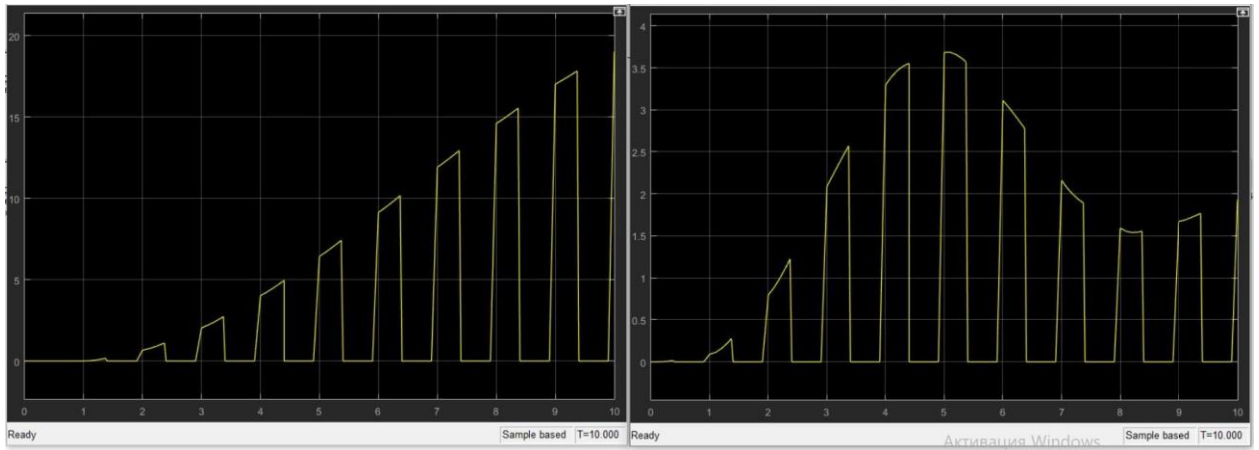


Рисунок 16 – Осцилограми моделювання системи адаптивного керування яка побудована на САУ по відхиленню основної величини яка регулюється ($W_{вих}$) та компенсацією збурень по температурі ($T_{вх}$) та витратам конопляної сировини ($Q_{сир}$).

$U_{00} Y_{00}$ – задані значення, Даному лінійному рівнянню відповідає дискретна передаточна функція :

$$W(p) = \frac{y_n(p)}{u(p)} = \frac{B(p^{-1})}{A(p^{-1})} \cdot p^{-a} = \frac{b_1 \cdot p^{-1} + \dots + b_m \cdot p^{-m}}{1 + a_1 \cdot p^{-1} + \dots + p^{-m}} \cdot p^{-a}$$

$$\Theta_j(k) = [a_{1j}(k); a_{2j}(k); a_{3j}(k); b_{1j}(k); b_{2j}(k); b_{3j}(k)]^T; \quad (22)$$

Згідно РМСА можна взяти наступний алгоритм оцінки параметрів моделі:

1. Вимірювання $y_j(k)$ та $U_i(k)$ ($j=1,2; i=1,3$) (23)

2. Похибка $e_j(k) = y_j(k) - \Psi_j^T * \Theta_j(k-1)$

$e_j(k)$ – похибка

$y_j(k)$ – нове вимірювання

$\Psi_j^T * \Theta_j(k-1)$ – номінальне значення.

3. Вираховуємо для параметрів нові значення

$$\Theta_j(k) = \Theta_j(k-1) - \xi_j(k-1) * e_j(k) \quad (24)$$

$\Theta_j(k)$ – нова оцінка параметрів ; $\Theta_j(k-1)$ – попередня оцінка параметрів;

$\xi_j(k-1)$ – корекційний вектор; $e_j(k)$ – похибка.

Саме ця формула дає можливість оптимізації процесу сушіння технічних конопель , бо як кажуть історики «Хто не знає минулого, той не має майбутнього». Дана формула дає можливість на основі попередніх даних прораховувати наступні значення параметрів , іншими словами зможемо привести всю систему до оптимального режиму роботи , але оптимальність – це компроміс між двома параметри, у випадку даної роботи це компроміс між вологістю яка випарюється з сировини і рівнем вологи в камері сушіння, тому що як писалось раніше при сушінні головним параметром є вологість. Відштовхуючись від даних слів в наступних главах буде підібраний ПЛК та реалізована SCADA система.

4.Необхідно сформуванати для даних нові вектори

$$\Psi_j^T(k+1)=[-y_{1j}(k); -y_{2j}(k); -y_{2j}(k); u_{1j}(k-dij); u_{2j}(k-dij); u_{3j}(k-dij)]$$

$$P_j(k) \cdot \Pi_j^T(k+1) = \begin{bmatrix} P_{11j}(k) & \dots & P_{16j}(k) \\ \vdots & & \vdots \\ P_{61j}(k) & \dots & P_{66j}(k) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -y_{1j}(k) \\ \vdots \\ -y_{6j}(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{1j} \\ \vdots \\ i_{6j} \end{bmatrix} = T \quad (25)$$

Вихід $y(K)$ має адаптивну аддитивну випадкову перешкоду $n(K)$. Сигнал даної перешкоди розглядається як авторегресійний процес :

$$n(K) + C_1 \cdot n(K-1) + \dots + C_p \cdot n(K-p) = V(K) + d_r \cdot V(K-1) + \dots + d_p \cdot V(K-p),$$

$V(K)$ – послідовність номінально розподілених статистично незалежних випадково розподілених величин .

Дискретна передаточна функція фільтру шуму:

$$G_v(p) = \frac{n(p)}{V(p)} = \frac{D(p^{-1})}{C(p^{-1})} = \frac{1 + d_1 \cdot p^{-1} + \dots + d_p \cdot p^{-m}}{1 + c_1 \cdot p^{-1} + \dots + c_p \cdot p^{-m}} \quad (26)$$

Тепер формується модель об'єкту , де приймає участь зовнішня перешкода:

$$y(p) = \frac{B(p^{-1})}{A(p^{-1})} \cdot p^{-d} \cdot u(p) + \frac{D(p^{-1})}{C(p^{-1})} \cdot V(p)$$

В параметричній ідентифікації задача складається в тому щоб отримати оцінки параметрів моделі , тобто коефіцієнтів поліномів $A(p^{-1})$ та $B(p^{-1})$ крім цього поліноми $C(p^{-1})$ та $D(p^{-1})$.

Також РМСА передбачає використання передаточних функцій

$$\bar{u} = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta Q_{ex} \\ \Delta W_{ex} \\ \Delta T_{ex} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta Q_{ex} - \Delta Q_{ex0} \\ \Delta W_{ex} - \Delta W_{ex0} \\ \Delta T_{ex} - \Delta T_{ex0} \end{bmatrix}$$

$$\bar{y} = \begin{bmatrix} \Delta W_{ex} \\ \Delta T_{ex} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta W_{ex} - \Delta W_{ex0} \\ \Delta T_{ex} - \Delta T_{ex0} \end{bmatrix}$$

$$\Delta W_{ex}(p) = \sum_{i=1}^3 W_{i1}(p) \cdot u_i(p)$$

$$\Delta T_{ex}(p) = \sum_{i=1}^3 W_{i2}(p) \cdot u_i(p)$$

$$y_1 = \sum_{i=1}^3 y_{i1} \quad y_2 = \sum_{i=1}^3 y_{i2}$$

$$\frac{y_{ij}(p)}{u_i(p)} = W_{ij}(p) = \frac{k_{ij}}{T_{ij} \cdot p + 1} \cdot e^{-p\phi_{ij}}$$

Переходимо до функції часу:

$$T_{ij} \cdot \frac{dy_{ij}(t)}{dt} + y_{ij}(t) = k_{ij} \cdot u_i(t - \phi_{ij}) \quad (27)$$

В момент часу $t=k$

$$\frac{T_{ij}}{\Delta t} (y_{ij}(k) - y_{ij}(k-1)) + y_{ij}(k) = k_{ij} \cdot u_i(k - d_{ij} - 1)$$

где

$$d_{ij} = \frac{\tau_{ij}}{\Delta t}$$

Переводим до вигляду:

$$y_{ij}(k) + a_{ij} y_{ij}(k-1) = b_{ij} u_i(k - d_{ij} - 1)$$

$$y_{ij}(k) \cdot (T_{ij} + \Delta t) - T_{ij} y_{ij}(k-1) = k_{ij} \cdot \Delta t u_i(k - d_{ij} - 1)$$

$$y_{ij}(k) - \frac{T_{ij}}{T_{ij} + \Delta t} \cdot y_{ij}(k-1) = \frac{\Delta t}{T_{ij} + \Delta t} \cdot k_{ij} \cdot u_i(k - d_{ij} - 1)$$

Звідси виходить що

$$a_{ij} = - \frac{T_{ij}}{T_{ij} + \Delta t} \quad b_{ij} = - \frac{\Delta t + k_{ij}}{T_{ij} + \Delta t} \quad (28)$$

Для побудови адекватного алгоритму ідентифікації перепишем модель в такому вигляді:

$$Y_{ij}(k) = \Psi_{ij}^T \cdot \Theta_j(k) + e_j(k)$$

где

$$\Psi_{ij}^T = [-y_{1j}(k-1); -y_{2j}(k-1); -y_{3j}(k-1); u_1(k-d_{1j}-1); u_2(k-d_{2j}-1); u_3(k-d_{3j}-1)]$$

$$\Psi_{ij}^T(k+1) \cdot P_j(k) \cdot \Psi_{ij}^T(k+1) = J$$

4. Вектор корекції

$$\xi_o(k) = \frac{1}{J + \lambda_j} \begin{bmatrix} i_{1j} \\ i_{6j} \end{bmatrix}$$

Після визначення параметрів $\Theta_j(k)$ визначаємо параметри k_{ij} та T_{ij} моделі

$$T_{ij} = \frac{\Delta t \cdot a_{ij}}{1 + a_{ij}} \quad k_{ij} = \frac{b_{ij}}{\Delta t} \cdot (T_{ij} + \Delta t) \quad (29)$$

Для блоку налаштувань параметрів необхідний алгоритм функціонування, пропонується наступний:

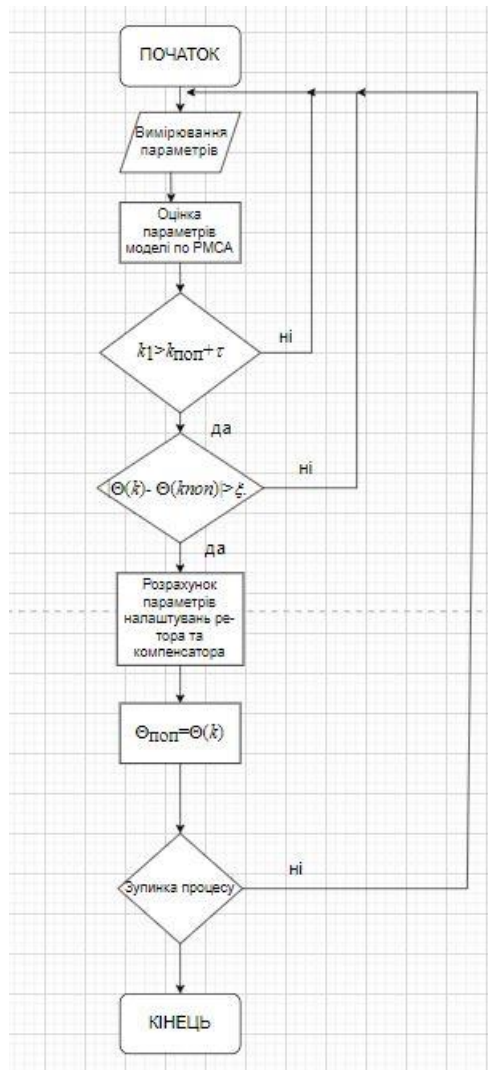


Рисунок 17- Алгоритм функціонування блоку налаштувань

Опис алгоритму:

1. Початок роботи алгоритму;
2. Вимірювання параметрів процесу;
3. Оцінка параметрів по РМСА;
4. Порівняння часу останнього перерахунку. Якщо умова виконується то переходим до блоку 5, якщо не виконується то перехід в блок 2.
5. Порівняння отриманих оцінок параметрів з попередніми оцінками параметрів моделі. Якщо умова виконується то переходимо в блок 6, якщо ні то в блок 2;
6. Розрахунок параметрів налаштувань регулятора та компенсатора;

7. Запис параметрів моделі при яких був здійснений розрахунок параметрів компенсатора та регулятора;
8. Зупинка процесу, якщо все правильно то перехід в блок 9, якщо ні повертаємося в блок 2 і повторюємо процес;
9. Кінець алгоритму.

Також необхідно обов'язково продумати систему вентиляції, при її відсутності волога що відпарилась буде осідати і знов випаровуватися, плюс буде додаватися нова що по суті робитиме процес циклічним і нескінченним.

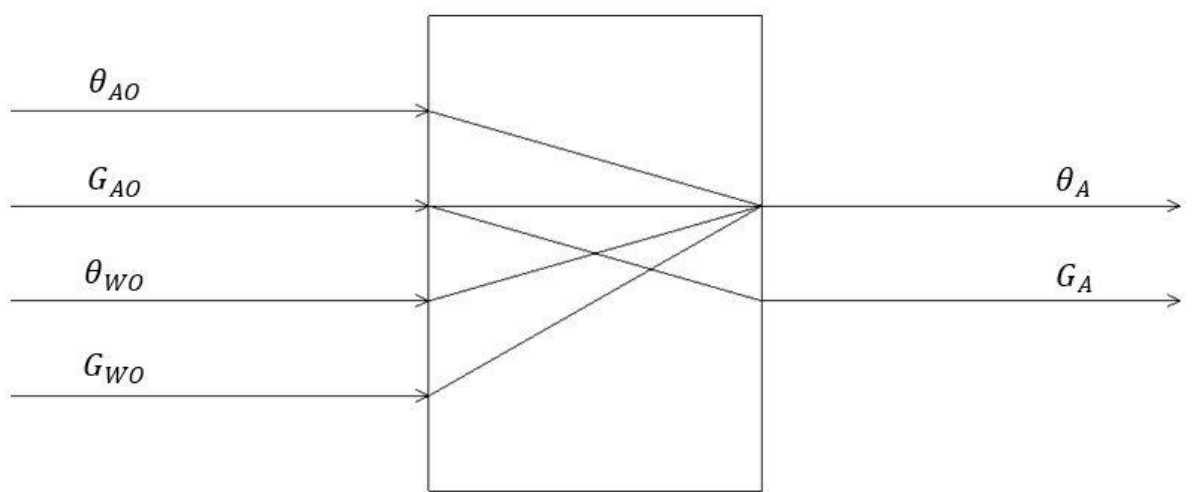


Рисунок 18-Схема потоків вентиляції

θ_{AO} – температура повітря в камері сушіння;

G_{AO} – об'єм пару в камері;

θ_{WO} – температура пару який надходить в камеру сушіння;

G_{WO} – об'єм пару який надходить в камеру сушіння;

θ_A – вихідна температура;

G_A – об'єм пару що виходить в навколишнє середовище.



Рисунок 19- Модель системи вентиляції

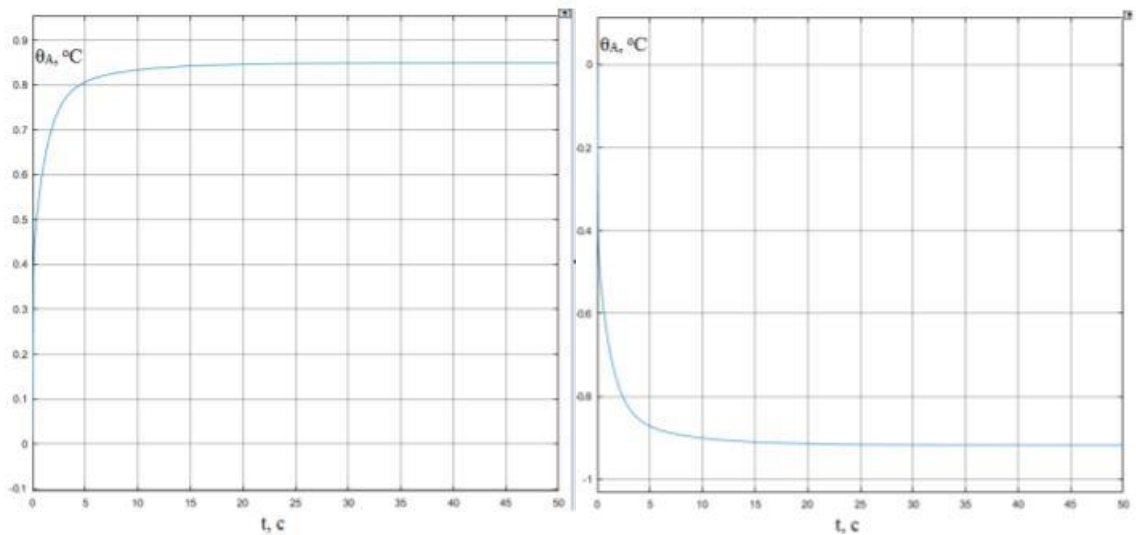


Рисунок 20- Перехідні процеси при режимах роботи (підвищення значень параметрів та їх зменшення)

3.ПРОГРАМНО-ЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЕР

«ПЛК(програмно-логічний контролер)- апаратно-програмна система реального часу задача якої запуск системи реального часу та програм що прикладають для реалізації потрібних алгоритмів.»[7] В цьому питанні мій вибір пав на ПЛК Мікрол-51. Такий вибір обумовлений декількома причинами:

1. Параметри експлуатації ;
2. Швидкодія ;
3. Даний ПЛК можна , за необхідності , переналаштувати за оптимально короткий проміжок часу;
4. Його можливості відповідають складності задач керування з якими

цьому ПЛК доведеться працювати ;

Але щоб марно не витратити слова , краще порівняти обраний мною ПЛК з іншими , бо як кажуть філософи «Істина народжується в суперечці» але в моєму випадку це буде порівняння, що в певній мірі є однією з форм суперечки. Порівняння буде наведено в Таблиці 2

Таблиця 2- Порівняння ПЛК по характеристикам

ПЛК	МК-51	ОВЕН 160	ОВЕН 150	Siemens CPU1212c
Інтерфейс	RS-485	RS-485,232	RS-485,232	
К-сть входів дискретних	До 35	16	6	До 42
К-сть входів аналогових	4	8	4	До 10
К-сть виходів дискретних	До 37	12	4	До 42
К-сть виходів аналогових	До 4	4	2	До 5

Зовнішній вигляд ПЛК показаний на Рисунку 23

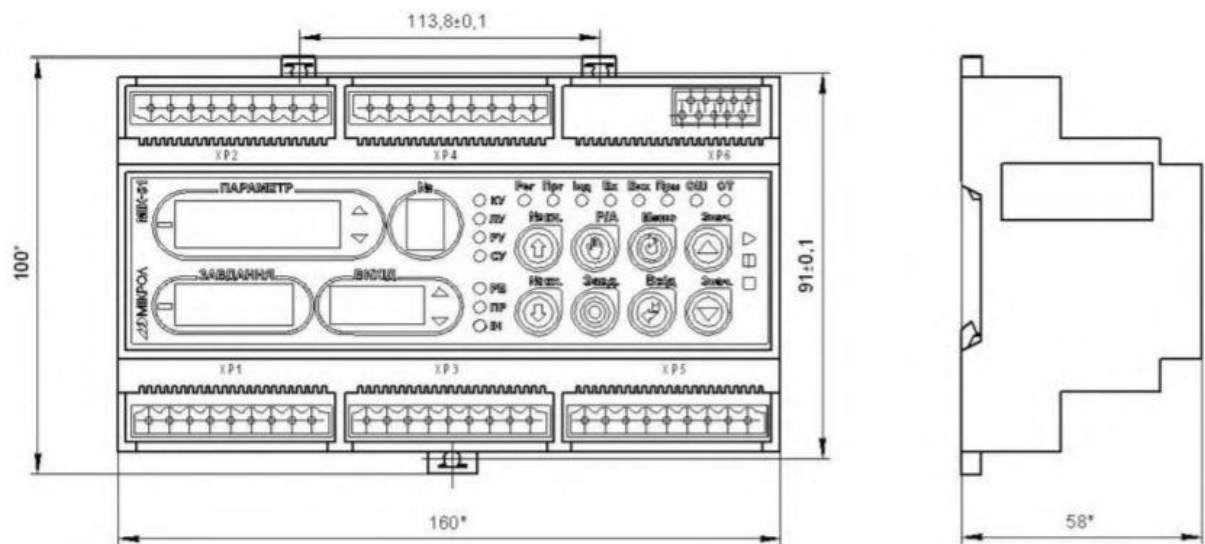


Рисунок 23-Структура ПЛК МІК-51

Згідно Рисунка 23 стає зрозуміло що складовим даного ПЛК є :

1. Пристрій вводу даних;
2. Пристрій виводу даних;
3. Пристрій налаштувань та оперативного керування;
4. Організація інтерфейсного каналу;
5. Бібліотека функціональних блоків.

Архітектура контролера зображена на Рисунку 24

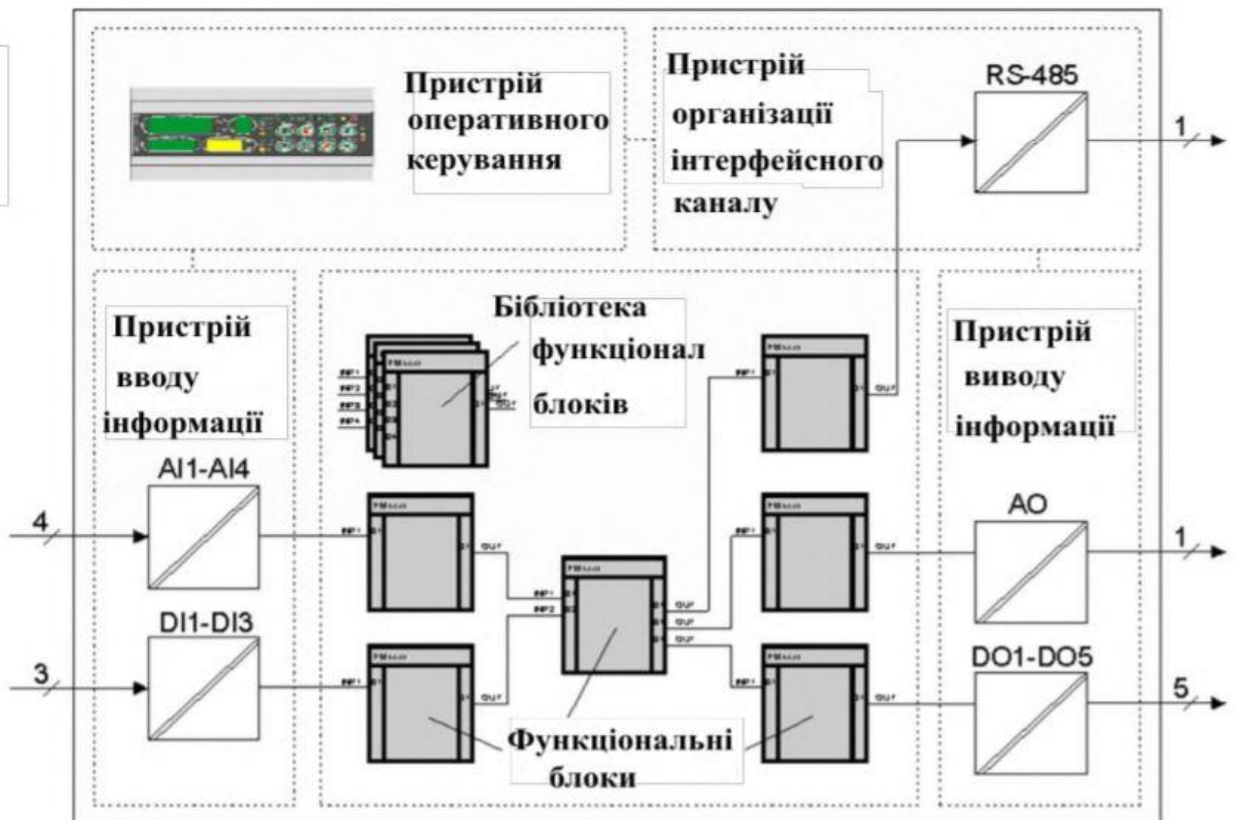


Рисунок 24 Архітектура ПЛК

Програмувати контролер найпростіше через програмний пакет редактора FBD-програм АЛЬФА . ПЗ створене на базі FBD блоків реалізують збір даних та контроль за керуючими сигналами в сукупності з функціональними блоками утворюється середовище управління програмно-логічного контролера. Прийом даних а також їх передача здійснюється через інтерфейс RS-485. Характеристика програмного пакету АЛЬФА зображена в Таблиці 3 а характеристика інтерфейсу на Таблиці 4.

Таблиця 3-Характеристика пакету АЛЬФА

Характеристика	Її значення
Час циклу	0,1 с.
Максимальне число функціональних блоків	99
Кількість функціональних блоків	50
Годинник реального часу	Для резервного живлення є батарея

Таблиця 4-Характеристика інтерфейсу

Характеристика	Її значення
Мережа	Багатоточечна
К-сть приладів на одному сегменті	32
Максимальна довжина лінії	1200 м.
Максимальна к-сть приладів в мережу	248(при підсилювачах)
Активних передавачів	1
Канал	Асинхронний напівдуплексний
Топологія мережі	«загальна шина»
Протокол для зв'язку	Modbus режим RTU
Приймачі	Потенційний , диференційний
Тип кабелю	Кручена пара або екранована пара
Гальванічна розв'язка	Інтерфейс гальванічно ізольований
Швидкість обміну інформації	38,4 ; 57,6 ; 115,2; 230,4; 460,8; 921,6 Кбод.

Структура зв'язку контролера та ПК по інтерфейсу показана на Рисунку 25

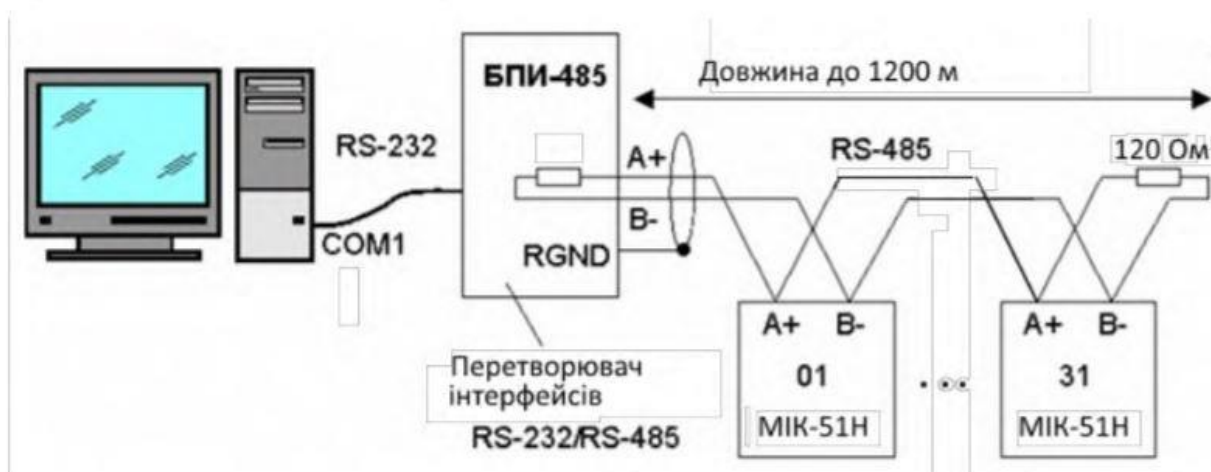


Рисунок 25 Схема мережі системи

4. РЕАЛІЗАЦІЯ SCADA СИСТЕМИ

SCADA система – це графічне відображення процесу методом комп'ютерної візуалізації, також є можливість слідкувати за ходом процесу та корегувати його хід. Також це носить назву мнемосхема.

Відображення процесу в графічній формі зображено на Рисунку 21

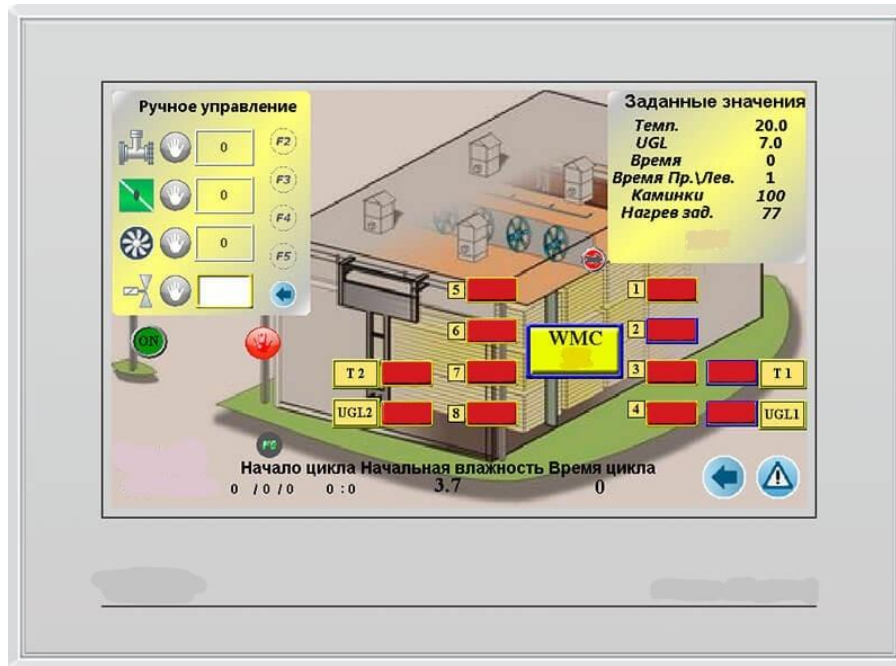


Рисунок 21- SCADA система

Хоч графічне відображення і дає можливість слідкувати за процесом у режимі реального часу, але не дає можливості проводити маніпуляції, змінювати уже готові налаштування, впливати на зони регулювання, впливати на параметри керування і так далі, тому необхідною частиною обов'язково є *панель оператора*, яка і дозволяє проводити вище описані маніпуляції. Схематичне зображення панелі оператора зображено на Рисунку 22

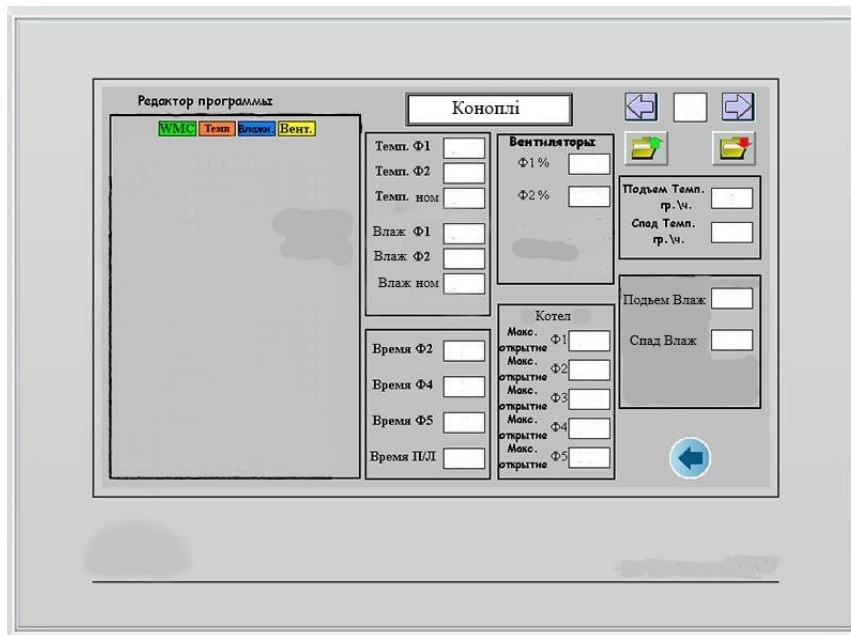


Рисунок 22- Панель оператора

Відбуватися це дійство буде за таким сценарієм : в системі адаптивного регулювання є регулятор , принцип його роботи описаний вище, він працює за своєю програмою і тримає систему у заданому діапазоні значень параметрів , знімає показники з датчиків, подає команди на виконавчі механізми і т.п. Якщо щось виходить з норми діапазону і регулятор не може своїми силами все привести до заданого стандарту то подається команда на панель або екран і оператор все вирішує проблему і відповідні зміни через панель вносить в систему .

ВИСНОВОК

В проекті описана система адаптивного регулювання для процесу сушіння технічних конопель .

Для цього були виконані наступні пункти:

1. Проаналізована ФСА та виділені контури керування;
2. Описана математична модель об'єкту управління;
3. Завдяки функції оцінки параметрів знайдена точка оптимуму;
4. Змодельований регулятор;
5. Описана система адаптивного регулювання;
6. Підібраний ПЛК та інтерфейс;
7. Реалізована SCADA система.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Alibas, I. 2007. Energy consumption and colour characteristics of nettle leaves during microwave, vacuum, and convective drying.
2. Altuhov I, Shamarova N, Suslov K, Gerasimov D, Shushpanov I, Lombardi P and Komarnicki P 2019 Stabilizing the control of a plant material drying process in off-grid power systems Elektroenergetika 1 363-67
3. Automation of the drying process of agricultural raw materials to obtain products of high nutritional value I V Altukhov, S M Bykova, G V Lukina and V D Ochirov 2020
4. Espinoza, O., & Bond, B. (2016). Vacuum Drying of Wood—State of the Art. Current Forestry Reports, 2(4), 223-235. <https://doi.org/10.1007/s40725-016-0045-9>
5. Schreiber, Gisela. The Hemp Handbook. Munich, Germany: Wilhelm Heyne Verlag GMBH & Co. KG, 1997.
6. Исследование перспективного способа продувки стеблей льна-долгунца, реализованного в инновационной машине для льнозаводов. Автора: Новиков Эдуард Валерьевич, Алтухова Ирина Николаевна, Безбабченко Александр Владиславович 2018 г
7. Кочетков Е.К., Савин Н.Г. Выбор микроконтроллера для технологических систем // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2015. Том 1. –с. 459-461.
8. Кочетков Е.К., Савин Н.Г. Выбор микроконтроллера для технологических систем // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2015. Том 1. –с. 422-435.
9. Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Казахстана, Монголии, Беларуси и Болгарии Материалы Международной научно-технической конференции (Минск, 19–21 октября 2016 г.)

10.Новиков, Э.В. Анализ реконструкций сушильных машин СКП-1-10ЛУ и СКП-1-10ЛУ1 на льнозаводах / Э.В. Новиков, И.А. Шемякин // Научный вестник Костромского гос.технолог. ун-та: электронный журнал [Электронный ресурс] / Костромс. госуд. технолог. ун-т. – 2016. Режим доступа: <http://vestnik.kstu.edu.ru/>.