

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
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: " Система управління процесом грануляції аміачної селітри "

Керівник роботи
доцент, к.ф.-м.н.

Журба В.О.

Дипломник
студент гр. СУ.м-01

Бойко А.О.

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

_____ Т. В. Коротка

“ ___ ” _____ “ 2020р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську роботу студенту

Бойко Андрій Олегович

1. Тема проекту: Система управління процесом грануляції аміачної селітри
Затверджено наказом ректора університету № 0866-VI від «19»листопада 2021
р.
2. Термін здавання студентом закінченого проекту «___» _____ 2021 р.
3. Вихідні дані до проекту: звіт з переддипломної практики, наукові публікації, статті, технічна документація та перелік літературних джерел з матеріалами опису технологічного процесу відповідної установки.
4. Перелік графічних матеріалів:
 - А) Схема моделювання об'єкта керування
 - Б) Схеми ПЕЗ ЕЗ ВО
 - В) Алгоритм
 - Г) Система диспетчеризація
5. Календарний план проектування

№	Зміст етапу проектування	Термін виконання (початок - кінець)
1	Розгляд технічного процесу	01.07.2021
2	Підбір та аналіз літератури	20.07.2021
3	Розробка функціональної схеми	23.07.2021
4	Розробка математичної моделі в середовищі MATLAB	11.09.2021
5	Розробка електричних схем	17.09.2021
6	Розробка та написання алгоритма	17.10.2021
7	Створення системи диспетчеризації	10.11.2021
8	Технічне оформлення проекту.	01.12.2021

б. Дата видачі завдання «__» ____ 2021 р.

Керівник проекту:

к.ф.-м.н., доц. Журба В.О.

Студент-дипломник:

гр. СУ.м-01 Бойко А.О.

РЕФЕРАТ

Бойко Андрій Олегович. Система керування процесом грануляції аміачної селітри. Магістерська робота. Сумський державний університет. Суми, 2021. Проект містить 40 сторінки пояснювальної записки, 25 рисунків.

Приведений опис процесу грануляції аміачної селітри; фактори, що впливають на отримання високої якості гранул аміачної селітри; математична модель процесу; розроблена математична модель об'єкту керування. Розроблено схеми, електричні креслення, алгоритм, та система диспетчеризації.

ABSTRACT

Boyko Andrey Olegovich. The control system for the ammonium nitrate granulation process. Master thesis. Sumy State University. Sumy, 2021. The project contains 40 pages of explanatory note, 25 figures.

A description of the granulation process of ammonium nitrate is given; factors influencing the production of high quality granules of ammonium nitrate; mathematical model of the process; developed a mathematical model of the control object. Schemes, electrical drawings, algorithm, and scheduling system have been developed.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ГРАНУЛЮВАННЯ	9
1.1. Башиний гранулятор	9
1.2. Барабанний гранулятор.....	10
1.3. Вихровий гранулятор.	14
2. ФУНКЦІОНАЛЬНІ ЗАВДАННЯ	16
3.ФОРМУВАННЯ КРИТЕРІЇВ КЕРУВАННЯ	21
4.РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ	24
5.ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА	37
5.1. Scada система.....	37
5.2. Технічна документація.....	37
5.3.Алгоритм.....	39
ВИСНОВОКИ	47
ЛІТЕРАТУРА	48

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

1. ПІ-регулятор – пропорційно-інтегральний регулятор.
2. АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом.
3. ОУ – об'єкт управління.
4. ПЛК – програмований логічний контролер.
5. САУ – система автоматичного управління.
6. ФСА – функціональна схема автоматизації.

ВСТУП

Амонійна селітра NH_4NO_3 використовують як добриво в сільськогосподарській діяльності, а також використовується для виготовлення вибухових речовин в оборонній промисловості. Продуктивність промислових підприємств в Україні становить 750—820 тис. т/рік. «Світове виробництво амонійної селітри складає 33 млн. т/рік, в тому числі 25 млн. т/рік амонійної селітри високої щільності. Якість амонійної селітри повинна відповідати вимогам. Якість готової селітри по ДСТУ 7370:2013»[1].

Показники якості	Марка А	Марка Б гатунку		
		вищого	першого	другого
Вміст NH_4NO_3 , % мас	98,0	Не нормовано		
Вміст азоту, % мас	—	34,4	34,4	34,0
Вміст води, % мас не більше	0,3	0,3	0,3	0,3
pH 10 %-го водяного розчину, не менш	5,0	5,0	5,0	5,0
Нерозчинних в 10 % розчині нітратної кислоти, %	$\leq 0,2$	Не нормовано		
Масова частка гранул, %				
Від 1 до 3 мм	≥ 93	Не нормовано		
Від 1 до 4 мм	—	95,0	95,0	95,0
Менш 1 мм	$\leq 4,0$	3,0	3,0	4,0
Більше 6 мм	0,0	0,0	0,0	0,0
Міцність гранул, Н/гранулу	5,0	—	7,0	5,0
Розсипчастість, % не менш	100	100	100	100
Добавка для кондиції	Магній нітрат			

Актуальність: на даний час процес вироблення аміачної селітри є дуже енергоефективний і застарілий, якість вихідного продукту є не високою. На даний час для виготовлення аміачної селітри в промислових масштабах використовують тільки два типа інженерних споруд: барабані та башиний гранулятор. Дані інженерні споруди є застарілі і потребують оновлення та нових інженерних рішень. Оскільки вихідний продукт є не високої якості, та має великі затрати на енергоресурси. На даний час вони мають на сімдесят процентів застарілий комплекс автоматизації і не дають тієї ефективності якої потребує ринок.

На сьогоднішній день є перспективним використанням вихрового гранулятора: він дає змогу, зменшити енергетичні витрати, і дасть змогу збільшити ефективність та якість гранул за рахунок автоматизованої системи.

Мета роботи. Метою роботи є розробка математичної моделі вихрового гранулятора та інженерної частини. Математична модель дасть змогу дослідити поведінку системи на збурення та як система відпрацьовує на завдання. Це нам дасть змогу застосувати рішення які підвищать ефективність системи. Інженерна частина дасть змогу більш детально розробити проект для дослідження.

Предметом дослідження є сукупність теоретичних, та методологічних і практичних завдань, пов'язаних з моделюванням математичної моделі для процесу грануляції аміачної селітри.

Методи та засоби досліджень. У роботі використовуються методи моделювання програмування.

1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ГРАНУЛЮВАННЯ

1.1. Башиний гранулятор

Основним промисловим способом гранулювання аміачної селітри є спосіб гранулювання з розплаву в баштах. Гранулювання у вежі є без ретурним процесом, і вимагає установки обладнання для розсівання продукту і подальшої повторної переробки частини його. Башений гранулятор дозволяє гранулювати любе добриво яке має чітку температур плавлення і відносну малу в'язкість. Подібні вежі застосовуються у виробництвах аміачної селітри і карбаміду, висота їх залізобетонного або металевого корпусу досягає 40 м, діаметр 12-16 м. Зверху розміщені розприскувачі плаву і повітровідвідник пристрій, а внизу - щілини для забору повітря і пристрій для вивантаження гранул. «Концентрований розчин аміачної селітри (NH_4NO_3) надходить з випаровуючої установки і розпорошується вниз з верхньої частини башти для розпилювання на дрібніші частини. Далі подається потік повітря на вхід вежі для розпилення охолодження гранул, далі розчин NH_4NO_3 охолоджується і розпадається на дрібніші частини, які потім падають в низ вежі для подальшого транспортування»[4].

Після розпилення гранул аміачної селітри, відбувається розпад NH_3 та HNO , які швидко рекомбінують у туман NH_4NO_3 і захоплюються повітрям, що піднімається до витяжних вентиляторів на даху де в подальшому виходить до атмосфери.

Навантаження туману може сильно варіюватися залежно від конструкції та віку башти, від 150 мг/м^3 до більш ніж 2000 мг/м^3 , і з невеликим розміром частинок, наприклад 1 мікрон.

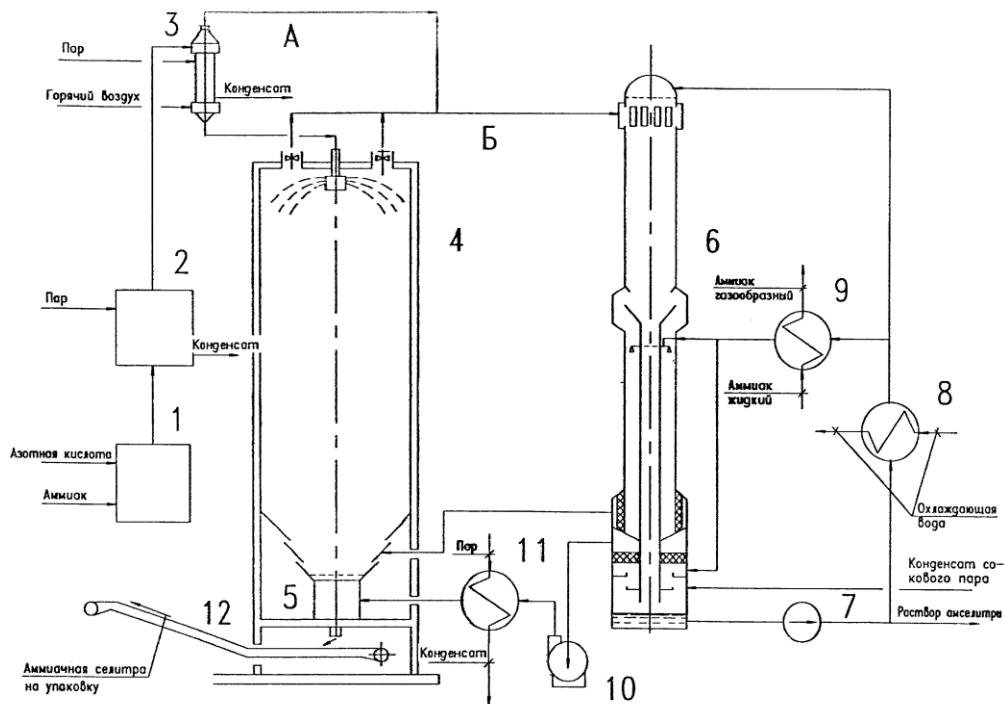


Рис 1.1. Башенный гранулятор

Проблеми: забруднення повітря, великі витрати енергетичного ресурсу, втрата продукту (зібрана рідина може бути перероблена на заводі).

1.2. Барабанный гранулятор

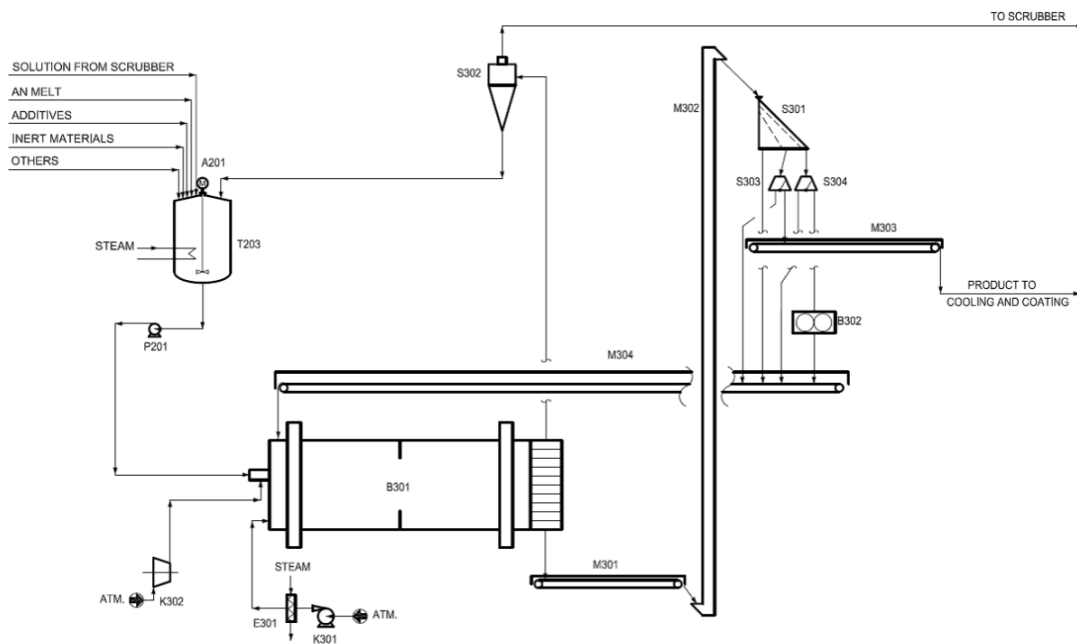


Рис 1.2. Барабанний гранулятор

Барабанний гранулятор є різновидом обладнання для виробництва гранульованого сировини, яке широко використовується в сільськогосподарській промисловості. Барабанний гранулятор можна використовувати як самостійне обладнання або в комплексі з іншим обладнанням для виробництва добрив. Тверда сировина з бункерів поступає на стрічковий транспортер, де потім з регульованою швидкістю подається в змішувач. Тверді частинки змішуються з розчином нітрату амонію, який надходить з цистерни s302 із заданою швидкістю та пропорцією. Для кращого змішування здійснюється обігрів змішувача він здійснюється паром через вбудований змішувик. У змішувач також подається пил з системи очищення повітря і розбавлений розчин нітрату амонію після скрубера.

Продуктивність установки і надходження твердого сировини регулюється по потоку нітрату амонію.

Для регулювання рівня рН іонів водню, невелика кількість аміаку подається в змішувач в залежності від заданої пропорції та швидкості потоку розчину нітрату амонію. Перегріта суспензія нітрату амонію перекачується насосом і транспортується в сферодайзер.

Час перебування в змішувачі регулюється з метою контролювання можливого утворення CN.

«Гранулювання і сушка продукту здійснюються в сферодайзері. Суспензія розпорошується через спеціальні форсунки за допомогою гарячого повітря під тиском. Кількість і розташування форсунок розраховано з метою забезпечення однорідного розпилення суспензії на тверді частинки, які утворюються в результаті обертання сферодайзера»[4]. Температура і тиск процесу розпилення розраховані для отримання оптимального покриття рідиною

твердих частинок. Рециркульованих твердих частинок з сит і дробарка подаються в сферодайзер за допомогою стрічкового транспортера. Для того, щоб контролювати розмір утворюються в сферодайзері гранул, кількість і гранулометричний склад рециркулюємого продукту і робота дробарка регулюються.

Тепловий баланс підтримується за рахунок потоку повітря через сферодайзер, який забезпечується повітродувкою.

З сферодайзера гранули направляються на сито за допомогою транспортера і елеватора.

«Класифікація проводиться на двох грохотах. На верхньому гуркоті гранули більшого розміру відокремлюються і направляються безпосередньо на скат в дробарка. Ламані гранули великого розміру направляються безпосередньо на транспортер. Потік продукційних гранул необхідного розміру поділяється на дві частини: необхідний вироблену кількість прямує в охолоджувач продукту по стрічковому транспортеру М303, а надмірна частина направляється на транспортер. Продукт необхідного розміру надходить в охолоджувач. Далі охолоджений продукт подається в обертовий барабан за допомогою транспортера і елеватора. У обертовий барабан де продукт обробляється атислежуючою добавкою, після чого направляється в сховище»[5].

1.3. Гранулятор з пневморозрідженим слоєм

Сушарки з киплячим шаром, як випливає з їх назви, використовуються для сушіння таких матеріалів, як гранули, таблетки, порошки, добрива та пластмаси.

«Сушарки з псевдо зрідженим шаром працюють за принципом псевдо зрідження, це процес, коли матеріал переходить зі статичного твердо

подібного стану в динамічний, подібний до рідинного. У цьому процесі гарячий газ або повітря подається через перфоровану розподільну пластину в зону, де утримується матеріал. Цей гарячий газ прокачує проміжки між твердими частинками. Зі збільшенням швидкості руху газу або повітря сили висхідних сил на частинки зростають, змушуючи їх дорівнювати нижчим гравітаційним силам»[5].

Це створює стан псевдо зрідження, коли частинки зависають у так званому киплячому шарі рідини. Те, що колись рухалося твердим шляхом, тепер може текти як вода. Кожна частинка безпосередньо контактує з гарячим газом або повітрям і оточується ними, створюючи ефективний та рівномірний процес сушіння.

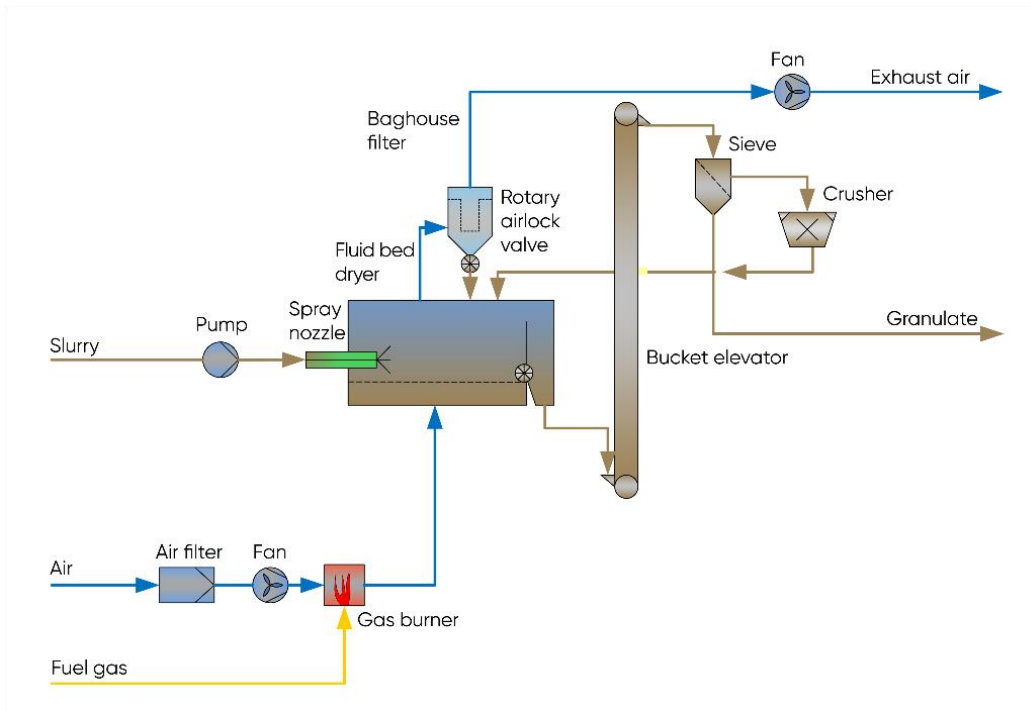


Рис 1.3 Гранулятор з пневморозрідженим слоєм

1.4. Вихровий гранулятор.

«Вихровий гранулятор застосовують переважно в хімічній промисловості, він може бути використаний для гранулювання різних речовин з розчинів і розплавів. Вихровий гранулятор дозволяє отримувати гранульовані продукти без застосування грануляційних башт. В основу його роботи покладено спосіб грануляції з розплавів, розчинів і суспензій, що ґрунтується на удосконаленні динаміки руху потоку гранул. Вихровий гранулятор має потужність до 10 т/год за готовим продуктом, кінцевий продукт має ступінь монодисперсної до 98 %, вологість – до 0,2 %, утримувана здатність по відношенню до дистилляту дизельного пального становить 7–8 %, міцність гранул становить 300–350 г/гранулу» [10].

Порівняння зі світовими аналогами, основні переваги розробки

- можливість істотного зменшення габаритних розмірів (зокрема, висоти) робочого простору;
- збільшення часу перебування гранули в робочому просторі вихрового апарата;
- можливість керування рухом гранули в робочому просторі гранулятора;
- можливість створення в об'ємі робочого простору гранулятора інтенсивної турбулентності;
- універсальність (можливість проведення процесів грануляції та сушіння в об'ємі одного пристрою);
- технологічність і простота виготовлення;
- можливість швидкого переналагодження та зміни конструктивних і технологічних параметрів за необхідності.

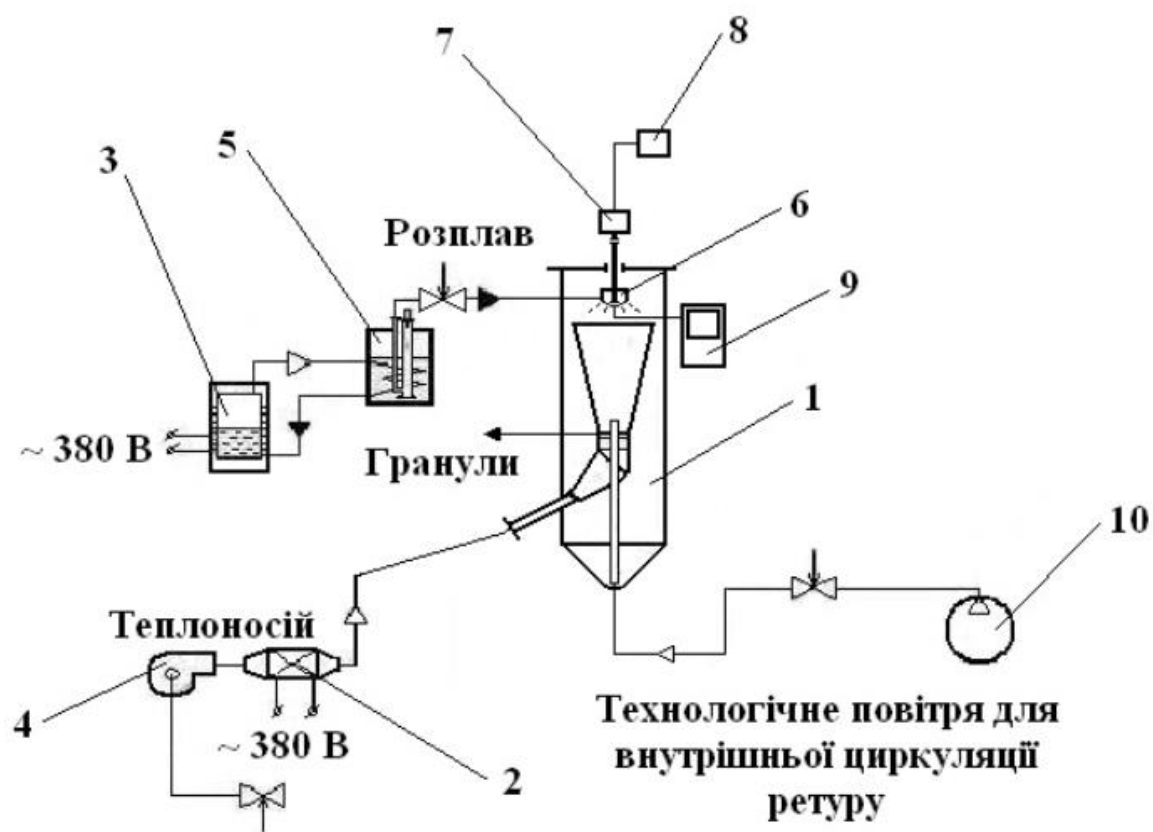


Рис1.4 Вихровий гранулятор.

1 – вихровий гранулятор; 2 - електрокалорифер; 3 - парогенератор; 4 - газодувка; 5 – заглиблений насос; 6 – розпилювач; 7 – електромагнітний вібратор; 8 – електронний регулятор; 9 - частотомір; 10 – компресор.

2. ФУНКЦІОНАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Щоб дослідити об'єкт для цього нам потрібно розробити контури управління, потім розробити Функціональну схему автоматики і утвердження всі виконавчих механізмів з їхніми параметрами. Далі можемо переходити до наступного етапу це розробка математичної моделі та розробка інженерної частини.

Технічний процес виробництва гранул в вихровому грануляторі

Гранули попадають в проміжний бункер, де готуються до партійного транспортуватися в гранулятор. Перед подачею гранул в гранулятор, подається підігріте повітря. Потім починається подача гранул, і в залежності від кількості гранул, збільшуємо обмін повітря. Збільшуємо температур повітря, і поступово подаємо команду на розпилення розчину доки не достигне норми. Далі починається цикл сушки він проходить 5хв на заданих температурі повітря 110-120С. Після закінчення фази осушування потік повітря поступово зменшується, та зменшуємо подачу тепло носія в гранулятор. Далі гранули попадають в сушарку де проходять подальше досушування в залежності від режиму роботи сушарки.

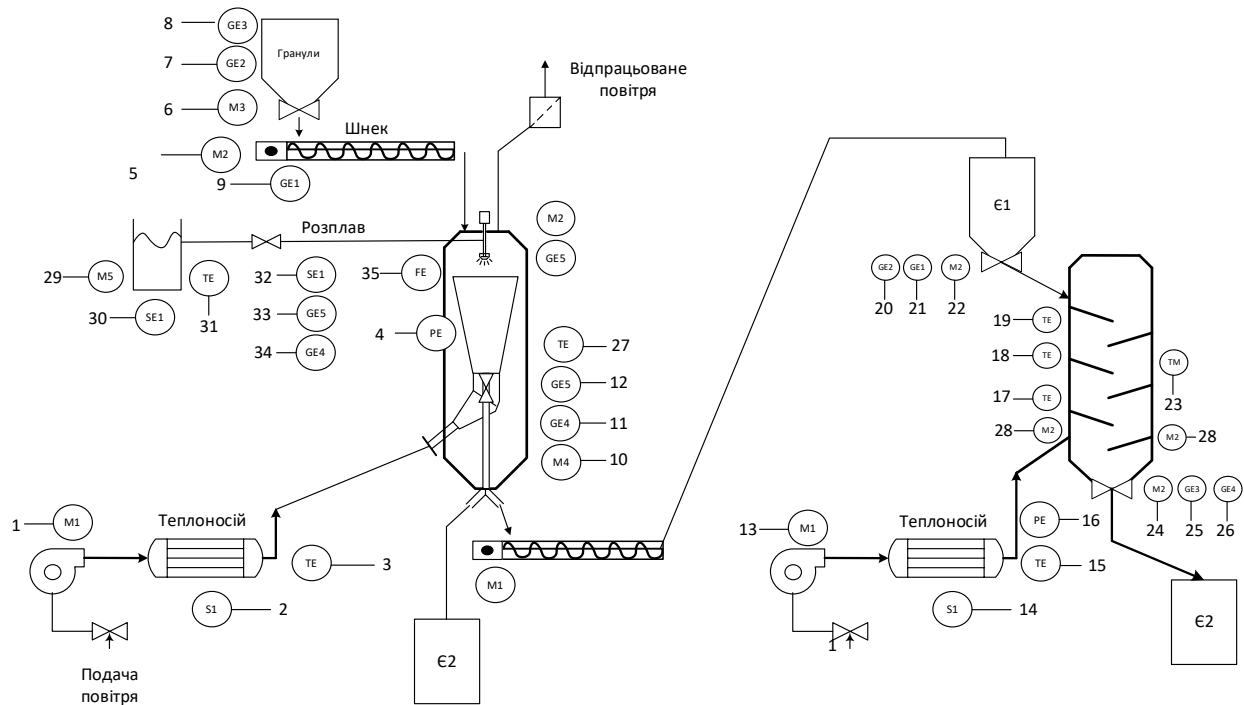


Рис 2.1. Функціональна схема об'єкта управління

Контур управління транспортування гранул в гранулятор

Другим фактором є ступень завантаження гранулятора. Отже потрібно досягти точне дозування гранул та розчину NH_4NO_3 для досягнення на виході більш якісної продукції і зменшити кількість неякісної сировини. Функціональна схема процесу дозування зображена на рис 2.2.

Готова сировина поступає в проміжний бункер, і готується для подальшого по партійного транспортування. По команді включається гвинтовий конвеєр M2, і подається команда на відкриття засувки M3. Коли гранули поступили на конвеєр, далі за допомогою індуктивного датчика відраховуємо порцію та закриваємо засувку M3, та вимикаємо конвеєр.

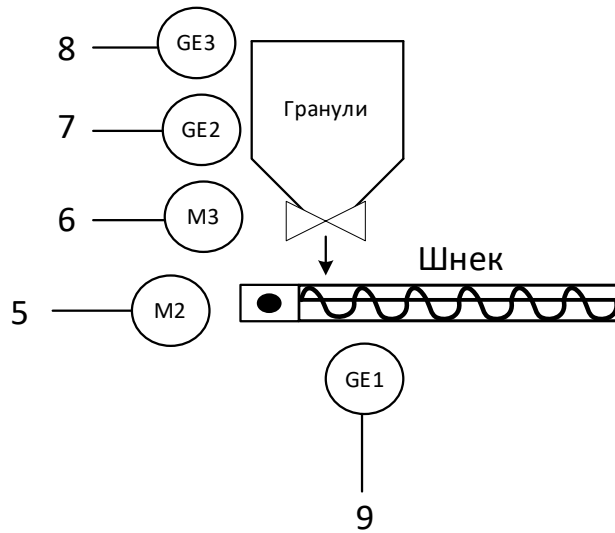


Рис 2.2. Контур транспортування гранул

Контур управління гранулятором

Після завантаження гранулятора, включається вентилятор M1 на малих оборотах відповідно від заданої уставки датчик PE1 контролює тиск повітря, Далі подається команда на включення теплоносій на відповідну температуру, TE1 контролює температуру самого теплоносія, і два датчика температури TE1 та TE3 повідомляють температуру гранул. Після підготовки всіх виконавчих механізмів, починається перша фаза роботи гранулятора, збільшуються обороти двигуна вентилятора, і підвищуємо температуру теплообмінника на 70С, при проходженні 3 мин. Далі подаємо команду на розпилювач, включається засувку SE1 і подається команда на включення насос M5, далі підраховуємо витрати розчину за допомогою Fe1 при досягненні уставки вимикаємо насос перекриваємо клапан SE1, і переходимо до другої фази роботи гранулятора. Друга фаза починається з того що збільшуємо обороти вентилятора до 50 гц і збільшуємо температуру до 120С, і триває друга фаза 4-5мин. Після закінчення другої фази, зменшуємо температур теплоносія, і зменшуємо обороти вентилятора, час зменшення частоти вентилятора повинен становити 3. При

досягненні часу включається транспортер M23, відкривається засувка M4, після вивантаження всіх гранул, закривається засувка M4 і відключається вентилятор до наступної партії.

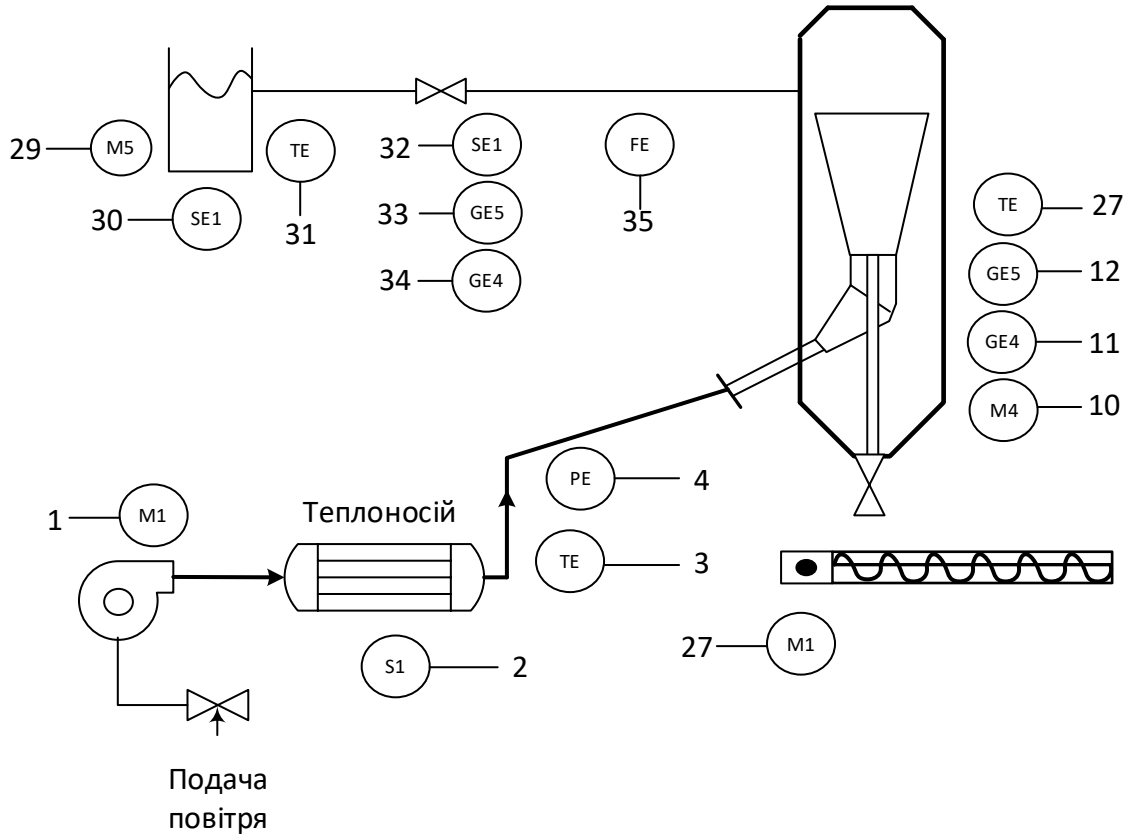


Рис 2.3. Контур управління гранулятором

Контур сушарки

“Повітря з навколишнього середовища через забірник засмоктується за рахунок створюваного зрідження радіальним M1 вентилятором високого тиску та подається до електрокалорифера S1, де відбувається його нагрівання до температури, передбаченої технологічним процесом сушіння. За рахунок енергії, що отримана при проходженні радіального вентилятора, нагріте повітря по трубопроводу надходить до робочого простору сушарки, контроль температури відбувається за допомогою датчиків температури TE1 та TE2. Після

закінчення процесу гранули через шибєрну заслінку, потрапляють на подальше фасування”[1].

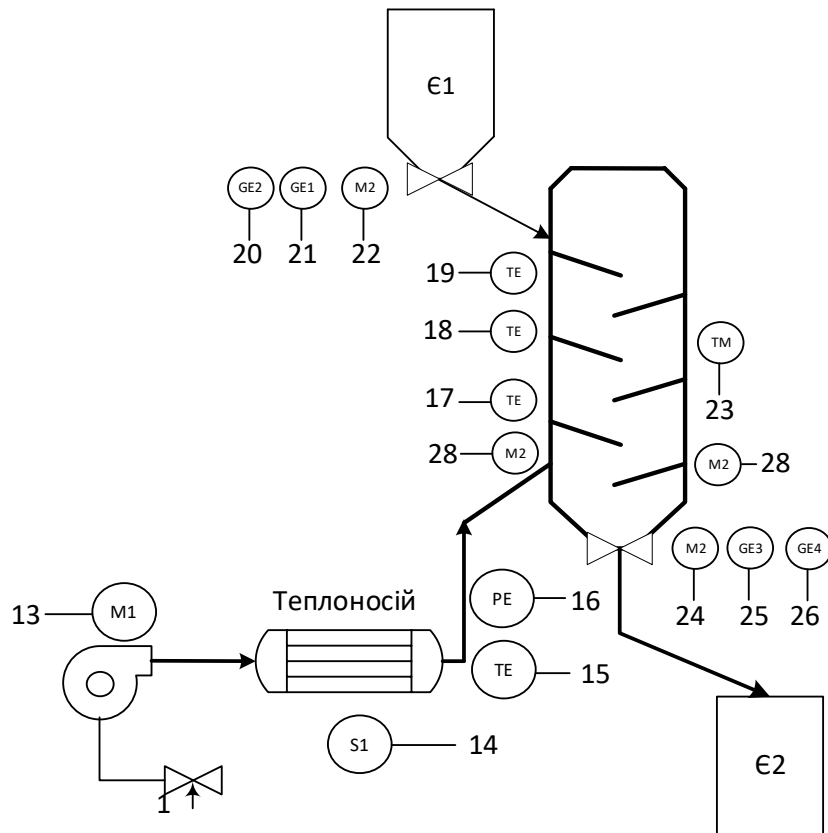


Рис 2.4. Контур управління сушарки

3. ФОРМУВАННЯ КРИТЕРІЇВ КЕРУВАННЯ

Для нашого процесу було використано модель балансу вона використовується для моделювання процесів вологої грануляції в яких розподіл щільності гранул за розмірами розвивається як функція часу. «Популяційний баланс – це числовий баланс навколо кожної розмірної частки розподілу за розміром, заснований на законі збереження чисел» **Помилка! Джерело посилання не знайдено..** «Швидкість зміни кількості частинок в інтервалі розмірів дорівнює швидкості, з якою гранули входять і виходять з цього інтервалу розмірів в результаті різних явищ, таких як зародження, агрегація і руйнування в системі» **Помилка! Джерело посилання не знайдено..**

Для нашої моделі доцільно використовувати модель балансу оскільки в нашому процесі присутні механічні руйнування гранул, вони утворюються при транспортуванні та утворенні нових гранул, що призводить до зниження якості вихідної продукції. Для розглянемо математичне описання руйнування гранул, та утворення нових гранул.

«Позначимо щільність популяції як $n(L, t)$, виходячи із загальної кількості частинок у псевдозрідженому шарі. Щільність популяції гранул – це функція діаметра частинок L та часу t . Припускаємо просторову гомогенність населення в псевдозрідженому шарі. Величина $n dL$ позначає кількість частинок в межах розмірного класу $[L, L + dL]$. Рівняння балансу популяції в загальному має вигляд» **Помилка! Джерело посилання не знайдено..**

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \frac{\partial(Gn)}{\partial L} = B - Dn + 0$$

де G – швидкість росту частинок;

B – це величина яка відображає утворення нової гранули;

Dn – це величина яка описує руйнування гранул .

По технологічному процесу утворення нових гранул пов'язане з розбрикуванням розчину на вже існуючі частинки. Але потрібно передбачити що температура шару гранул буде висока і потрібно передбачити що буде швидке висихання розпалюваного розчину, таким чином, температура, стан насичення і вологість не відображаються в системі рівнянь.

«Моделюється загальний об'єм, який додається до існуючих частинок за проміжок часу dt на $(1 - b)\Phi dt$, де $(1 - b)$ – частка в діапазоні від 0 до 1, Φ – ефективний об'ємний потік розпилення з одного боку, доцільно припустити, що кількість розпорошеного розчину на частинку розміру L за часовий проміжок dt пропорційний його поверхні πL^2 . З іншого боку, збільшення об'єму частинки дорівнює об'єму нанесеного шару на поверхні частинки $\pi L^2 \left(\frac{1}{2} G dt\right)$, що також пропорційний L^2 що також пропорційний L^2 . Тому швидкість росту G не залежить від L . Загальний обсяг нових шарів на гранулі дорівнює (формула 2.2)» **Помилка! Джерело посилання не знайдено.:**

$$\frac{1}{2} G dt \pi \int_0^{\infty} n L^2 dL$$

де G – швидкість росту діаметру гранули,

$\frac{1}{2} G$ – швидкість росту радіуса.

Порівнюючи об'єм нових шарів на гранулах з $(1 - b)\Phi$, виходить рівняння швидкості зростання гранул, що є функцією часу.

$$G = \frac{2(1 - b)\Phi}{\pi \int_0^{\infty} n L^2 dL}$$

Утворення нових гранул відповідної фракції, при розпилюванні деякі краплі розчину висихають і не сприяють росту гранул, а утворюють нові гранули більш менших фракції.

«Далі позначимо фракцію розпилення, від якої зароджуються частинки b , тоді отримаємо об'ємний потік зародження часток $b\Phi$. Отже найпростіша модель зародження часток має вигляд» **Помилка! Джерело посилання не знайдено..**

$$B = \frac{b\phi}{\frac{1}{6}\pi L_0^3} \delta(L - L_0)$$

Інтеграл об'єму матиме наступний вигляд.

$$\int_0^\infty \frac{1}{6}\pi L^3 B dL = \phi dt$$

«Найпростіший спосіб моделювання руйнування гранул (функція руйнування D) – це використання функції Хевісайда до діаметру просіювання L , помножену на постійну величину s – швидкість руйнування гранул» **Помилка! Джерело посилання не знайдено..**

$$D = sH(L - L_1)$$

«Остання величина O прирівнюється до нуля. Завдяки цьому ми ігноруємо виснаження та агрегацію. Підводячи підсумок, основна модель балансу популяції матиме вигляд» **Помилка! Джерело посилання не знайдено..**

$$\frac{\partial n}{\partial t} + G \frac{\partial n}{\partial L} = \frac{b\phi\delta(L - L_0)}{\frac{1}{6}\pi L_0^3} n - sH(L - L_1)n,$$

$$G = \frac{2(1 - b)\phi}{\pi \int_0^\infty n L^2 dL}$$

4. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

Для того щоб отримувати відповідну якість гранул і додержуватися високо ефективності установки потрібно підтримувати тиск та температуру сушіння. Для цього будемо багатовимірну систему з урахуванням того, що повинна відпрацьовуватися цю залежність.

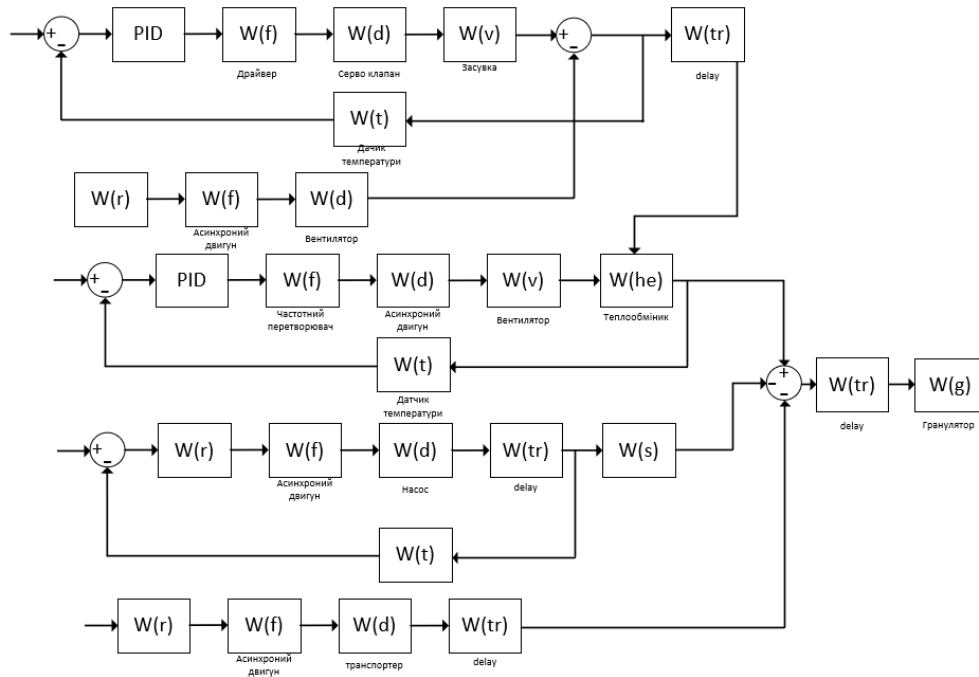


Рис 4.1 Структурна схема регулювання температури та тиску в грануляторі.

Для початку розрахуємо та змоделюємо модель без ПІД регулятора, щоб в подальшому мали змогу отримати графіки перехідних процесів.

Передаточна функція асинхронного двигуна вентилятора

Проведемо розрахунки передаточної функції асинхронного двигуна.

$$T_m = 10\text{мс} = 0,01$$

$$n_{\text{xx}} = 3000\text{об/мин}$$

$$u_{\text{уном}} = 40\text{В}$$

$$M_n = 23 * 10^{-4} \text{Nm}$$

$$i_{pn} = 12A$$

Кутова швидкість двигуна при холостому ході

$$\omega_{xx} = \frac{2\pi n_{xx}}{60} = 314 \text{ рад/с}$$

Розрахунок передаточної функції коефіцієнтів двигуна

$$k_{d1} = \frac{\omega_{xx}}{u_{уном}} = 7,8 \text{ рад/с}$$

$$k_{d2} = \frac{M_n}{i_{pn}} = 2.08 * 10^{-4} \frac{\text{Нм}}{\text{А}}$$

Передаточна функція двигуна матиме такий вигляд.

$$W_{uw}(s) = \frac{7,8}{1+0,01s}$$

Передаточна функція перетворювача частоти

$$W(p) = K_{пч} \frac{K_j}{p * T_j + 1}$$

$K_{пч}$ – коефіцієнт перетворення частоти

K_j – коефіцієнт передачі

T_j – постійна часу

Визначаємо $K_{пч}$

$$K_{пч} = \frac{f_{max}}{U_{3fmax}} = \frac{50 \text{Гц}}{24\text{В}} = 5 \frac{\text{Гц}}{\text{В}}$$

f_{max} – максимальна частота струму статора

U_{3fmax} – Максимальна напруга що подається з пристрою управління.

$$K_j = \frac{\omega_{Vmax}}{F_{max}}$$

$$\omega_{Vmax} = \frac{3000 \text{ об}}{\text{мин}} = \frac{3000 * 6,28}{60} \frac{\text{рад}}{\text{сек}} = 314 \text{ рад/сек}$$

Тоді K_j буде дорівнювати

$$K_j = \frac{314}{50 \text{ Гц}} \text{ рад/сек} = 6,28 \frac{\text{рад*Гц}}{\text{сек}}$$

Постійна часу T_j визначаємо за вираз $t_{пп} = \frac{3}{5} * T_{пп}$ виходячи з фактичного часу розгону двигуном вентилятора яке становить $T_{разг} = 10 \text{ сек}$

$$T_j = \frac{T_{разг}}{T_{пп}} = \frac{10 \text{ сек}}{3} = 3,33 \text{ сек}$$

Передаточна функція частотного перетворювача має вигляд

$$W(p) = \frac{K_{пч} * K_j}{T_j * p + 1} = \frac{12}{3,33s + 1}$$

Вибір датчика температури

Для коректної роботи системи та підтримки заданої температури у granulаторі, необхідне використання датчика температури.

Технічні характеристики пристрою.

Похибка приладу, $S_0 \pm 1,0$.

Межа вимірюваної температури, S_0 від мінус 50 до плюс 170.

Опір датчика, Ом (при $t=1000$) 75,58.

Відносна вологість повітря, % 30÷95.

Постійна часу приладу, з 25.

Маса приладу, кг трохи більше 0,3.

Число чутливих елементів 1.

Напруга живлення, 24.

Передаточна функція датчика температури матиме вигляд:

$$W_{\text{дт}}(p) = \frac{k_{\text{дт}}}{T_{\text{дт}}p + 1}$$

$T_{\text{дт}}$ – постійна часу датчика;

$k_{\text{дт}}$ – коефіцієнт передачі:

$$k_{\text{дт}} = \frac{R}{Q} = \frac{76\text{Ом}}{150^{\circ}\text{C}} = 0,506(\text{Ом}/^{\circ}\text{C})$$

$R=76$ Ом – опір датчика;

$Q=150^{\circ}\text{C}$ – верхня межа температури.

Передаточна функція датчика температури матиме вигляд:

$$W_{\text{дт}}(p) = \frac{0,506}{25p+1}$$

Передаточна функція вентилятора

Технічні характеристики вентилятора.

Продуктивність, м3/год 1,5 ÷ 4.

Повний тиск, кг/м2 60 ÷ 80.

Частота обертання, 1/хв 3000.

Постійна вентилятора часу 2,5.

Потужність двигуна, кВт 4.

Передаточна функція вентилятора має вигляд

$$W_B(p) = \frac{k_B}{T_B p + 1}$$

T_B – постійна часу вентилятора;

k_B – коефіцієнт передачі:

$$k_B = \frac{p}{\omega} = \frac{1350 \text{ Па}}{50 \text{ об/с}} = 27 (\text{Па} \cdot \text{с/об}),$$

де $p=100 \text{ кГ/м}^2 = 1350 \text{ Па}$ – повний тиск; $\omega=3000 \text{ об/мин} = 50 \text{ об/с}$ – швидкість обертання вала двигуна.

Підставимо числений вираз, одержимо передаточна функція виразу для вентилятора:

$$W_B(p) = \frac{27}{2,5p+1}$$

Розрахунок передаточної функції датчика тиску.

Діапазон тиску в системі від 0 до 1 Бар.

Технічні характеристики датчика тиску:

- діапазон вимірюваного тиску, від 0 до 1 Бар;
- вихідний сигнал, мА від 4 до 20;

Передаточна функція датчика тиску буду

$$W_{\text{дд}}(p) = \frac{k_{\text{дд}}}{T_{\text{дд}} p + 1}$$

де $T_{\text{дд}}=0.4$ – постійна часу датчика тиску(паспортна величина)

$k_{\text{дд}}$ - коефіцієнт передачі

$$k_{\text{дд}} = \frac{I_{\text{вих}}}{P_{\text{вих}}} = \frac{0,02}{12000} = 0,00167$$

$I_{\text{вих}}$ —значення струму вихідного сигналу

Рвх–значення тиску на вході датчика

Загальна передаточна функція буде мати вигляд

$$W(p) = \frac{0,00167}{0,4p+1}$$

Передаточна функція засувки

-продуктивність регулюючого клапана 1,6 кг/с

-постійна часу 3 сек

-Вхідний тиск клапана варіюється від 3 до 15 фунтів на квадратний дюйм

Отримана передатна функція:

$$W_s(u) = \frac{0.13}{3s+1}$$

Очевидно, що вони розглядали клапан як передатну функцію першого порядку. Приріст Кр розраховували за формулою: (1,6 кг/сек)/(15-3)psi=1,6/12=0,133. Постійна часу = 3 секунди і все.

Процес тепловиділення наближено може бути описаний рівнянням інерційної ланки першого порядку з передавальною функцією топки:

$$W_T(p) = \frac{k_{QB}}{T_1 p + 1}$$
$$k_{QB}(p) = \frac{H_L}{\varepsilon} * \frac{k_q * k_r}{1 - k_3 * k_r}$$

де H_L - променево сприймаюча поверхня трубних екранів, м²; ε - наведений коефіцієнт термічного опору шару забруднень, м² * с * 0 С/кДж;

$$k_Q = \frac{Q_L}{B * V_r * C_r * \rho_r + \gamma * a_r * T_r^3}$$

де Q_L - промениста теплота, що сприймається поверхнями нагріву топки, кДж/м²;

$$B = \frac{B_p}{1 - q_\gamma}$$

де V_p - розрахункова витрата палива, кг/с або м³/с; q_p - втрати з механічним недопалом; V_{Γ} - обсяг продуктів згоряння на одиницю палива, наведений до нормальних умов, м³/кг або м³/м³; C_{Γ} - питома теплоємність продуктів згоряння, кДж/(кг*0 С); ρ_{Γ} - щільність продуктів згоряння, кг/м³; α_{Γ} - наведений коефіцієнт згоряння топки; T_{Γ} - температура газів на виході їхньої топки; k_{Γ} визначається з виразу:

$$k_{\Gamma} = \frac{4 \cdot \alpha_{\Gamma} \cdot T_{\Gamma}^3}{H_{\Gamma} \cdot \varepsilon + \gamma \cdot \alpha_{\Gamma} \cdot T_{\Gamma}^3}$$

де T_3 - середня температура забруднень, (золи, шлаку, футеровки, обмазки), k_3 знаходиться з:

$$k_3 = \frac{\gamma \cdot T_3 \cdot \alpha_{\Gamma}}{B \cdot V_{\Gamma} \cdot C_{\Gamma} \cdot \rho_{\Gamma} + \gamma \cdot \alpha_{\Gamma} \cdot T_{\Gamma}}$$

$$T_1 = \frac{G_3 \cdot C_3}{H_{\Gamma} \cdot \varepsilon + \gamma \cdot \alpha_{\Gamma} \cdot T_{\Gamma}^3}$$

де G_3 - маса шару забруднень, кг; C_3 - питома теплоємність шару забруднень, кДж/(кг*0 С). Величина T_1 коливається від кількох секунд до кількох десятків секунд, залежно від топки, виду палива та інших факторів. Теплова енергія, що виділилася в результаті згоряння палива, сприймається радіаційними і конвективними поверхнями нагріву топки. Динамію процесу теплопередачі може бути описана як теплообмінник по каналу регулювання температури. Теплообмінні апарати для спрощення моделювання приймають за послідовне з'єднання двох ланок - інерційного першого порядку і ланки запізнювання. Модель котлоагрегату має вигляд:

Для нагрівального об'єкта, як якого виступає теплообмінник, вихідним є рівняння теплового балансу, яке наведено в

$$C d\theta + A \theta dt = Q dt$$

де C - теплоємність об'єкта, Дж / °С; A - тепловіддача об'єкта, Дж С × с; θ - температура, С; Q - теплова енергія, що підводиться до об'єкта, Дж.

Обидві частини рівняння (3.1) поділимо на $A \cdot dt$, отримаємо:

$$\frac{C}{A} * \frac{d\theta}{dt} + \theta = \frac{1}{A} Q,$$

або, переходячи до операторної форми запису, шляхом підстановки $P = d\theta/dt$ отримуємо:

$$(Tp + 1)\theta(t) = k_i Q(t),$$

Де $T = \frac{C}{A}$ постійна часу об'єкта $k = \frac{1}{A}$ коефіцієнт передачі.

Отже передатна функція матиме вигляд:

$$w(p) = \frac{\theta(t)}{Q(t)} = \frac{k}{Tp+1}$$

Звідки можна бачити, що нагрівальний об'єкт може бути представлений типовою інерційною ланкою. Знайдемо ціле значення передавальної функції.

З вихідних даних, наведених у таблиці 4 відомо $F = 25 \text{ м}^2 \cdot 3 = 920$ кДж/(кг·К)

Розрахуємо за формулами, які наведені в [1] та [8], тепловіддачу об'єкта, постійну часу та коефіцієнт передачі:

Тепловіддача об'єкту:

$$A = CF = 23000 \text{ Дж}$$

Постійна часу та коефіцієнт передачі:

$$T = \frac{C}{A} = \frac{920}{2300} = 0.04 \text{ с}$$

$$k = \frac{1}{A} = \frac{1}{2300} = 0.0435$$

Отже, передатна функція має вигляд:

$$W(p) = \frac{0.0435}{0.04p+1}$$

Побудуємо математичну модель в середовищі Simulink, отримаємо перехідні характеристики першого та другого контура за тиском та температурою. Потім оцінимо як система відпрацює на збурення та завдання, і якщо

система не буде відпрацьовувати будемо додавати один із трьох регуляторів, і потім будемо оцінювати за пере регулюванням швидкістю, і затримок.

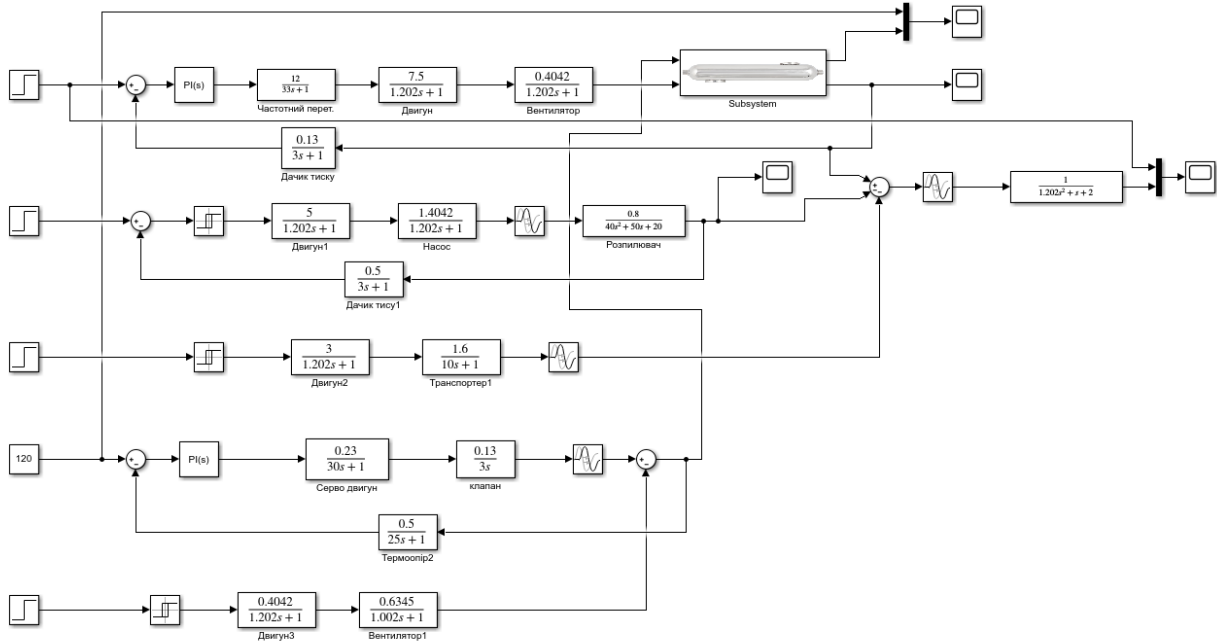


Рис.4.2. Математична модель вихрового гранулятора

Після побудови математичної моделі отримали перехідну характеристику за тиском. На даній характеристиці ми спостерігає вплив збурень від подачі матеріала та від вприскування розплаву, і як можемо бачити система не відпрацьовує на задану уставку по тиску.

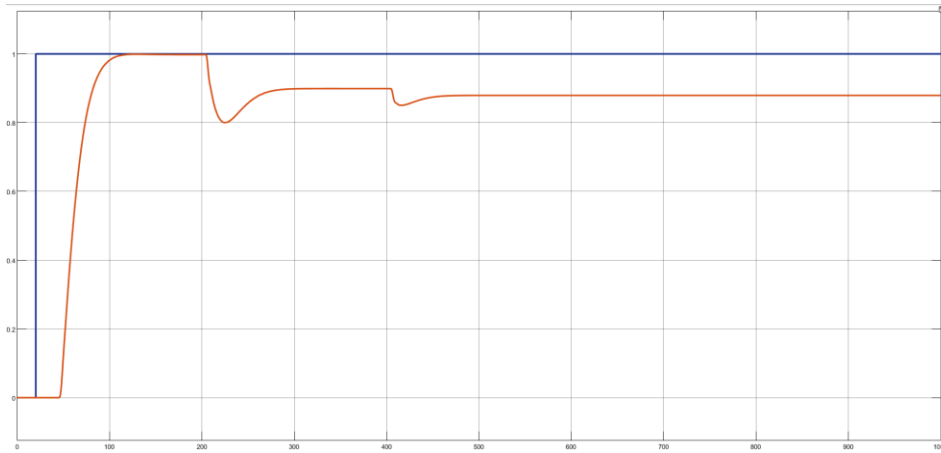


Рис.4.3.Перехода характеристика тиску в грануляторі

Зробивши висновки з даної перехідної характеристики маємо варіанта вирішення, це додавання ПД регулятора.

Додаємо П-регулятор отримуємо перехідну характеристику. На перехідній характеристиці спостерігаємо пере регулювання, також спостерігаємо що заданий параметр не відповідає заданій уставці по помилці регулювання.

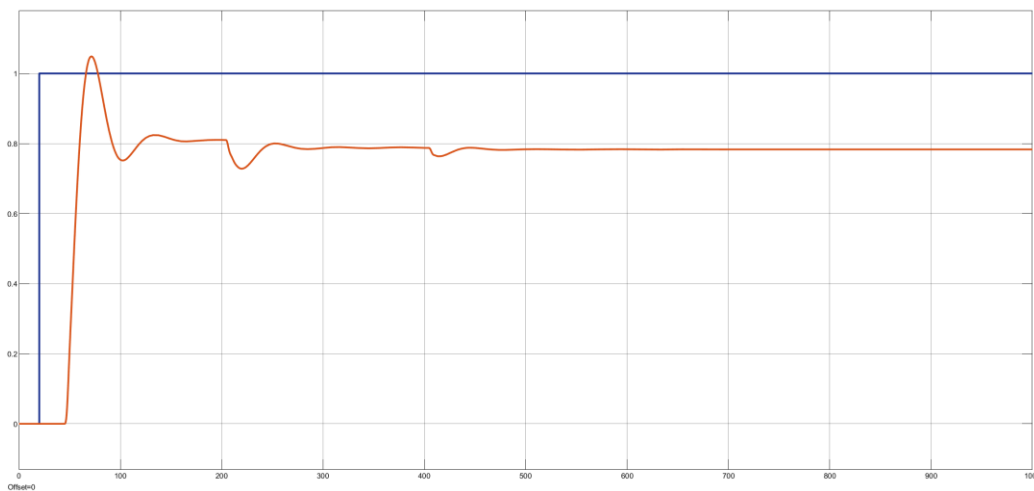


Рис.4.4.Перехода характеристика тиску в грануляторі з використанням П-регулятора

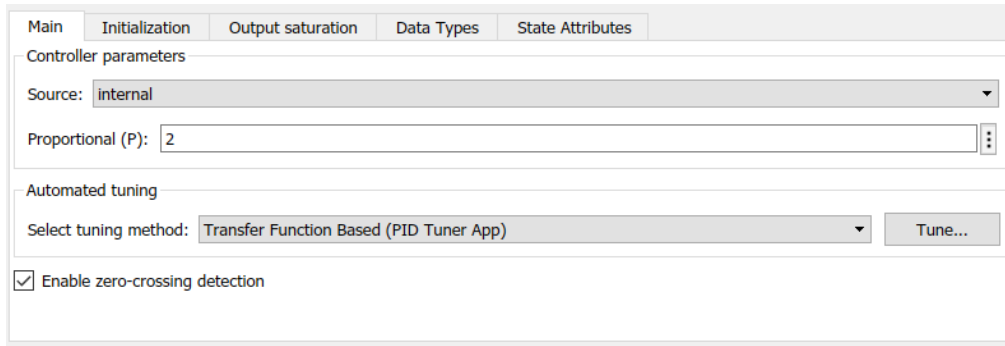


Рис.4.5. Параметри ПІ-регулятора

Додаємо ПІ-регулятор отримуємо перехідну характеристику. Параметр тиску дорівнює уставці, перегулювань немає, і регулятор відпрацьовує на всі збурення.

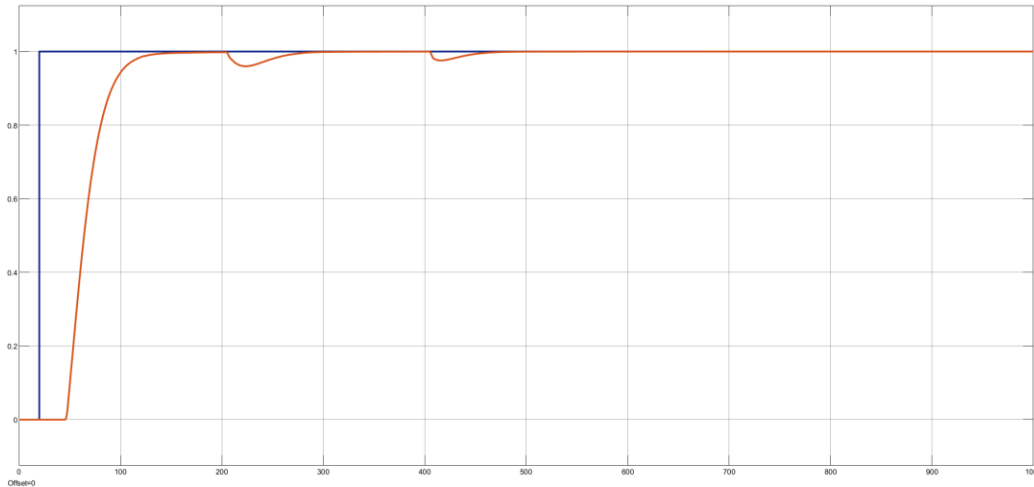


Рис.4.6. Переходна характеристика тиску в грануляторі з використанням ПІ-регулятора

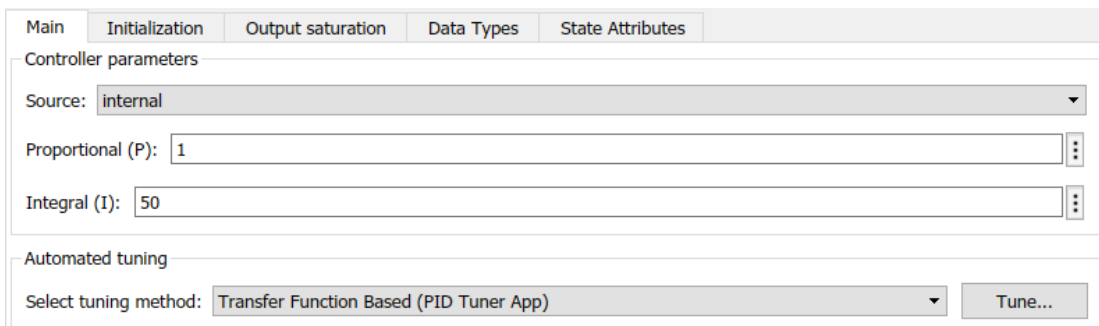


Рис.4.7. Параметри ПІ-регулятора

Отримуємо перехідну характеристику з топки, можемо спостерігати перегулювання, і параметр не відповідає уставці.

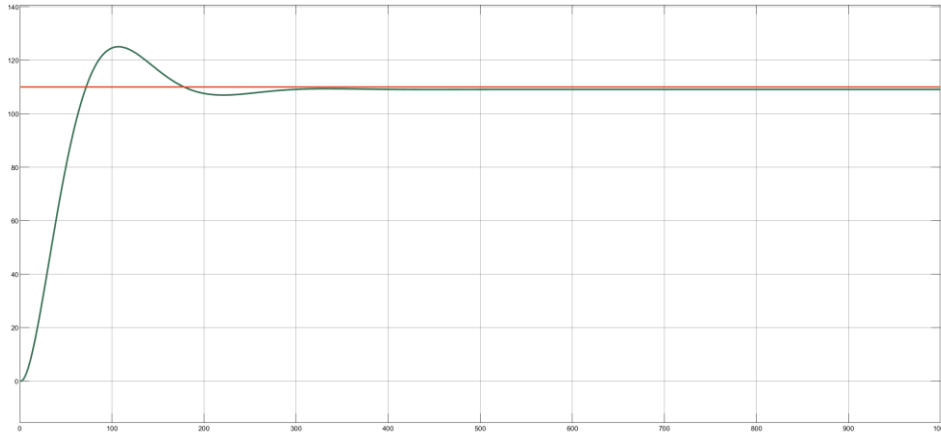


Рис.4.8.Перехода характеристика температури в грануляторі.

Додаємо П-регулятор отримуємо перехідну характеристику. На переходній характеристиці можемо спостерігати що параметр не дорівнює уставці по ошибці регулятора, і маємо невелике перегулювання.

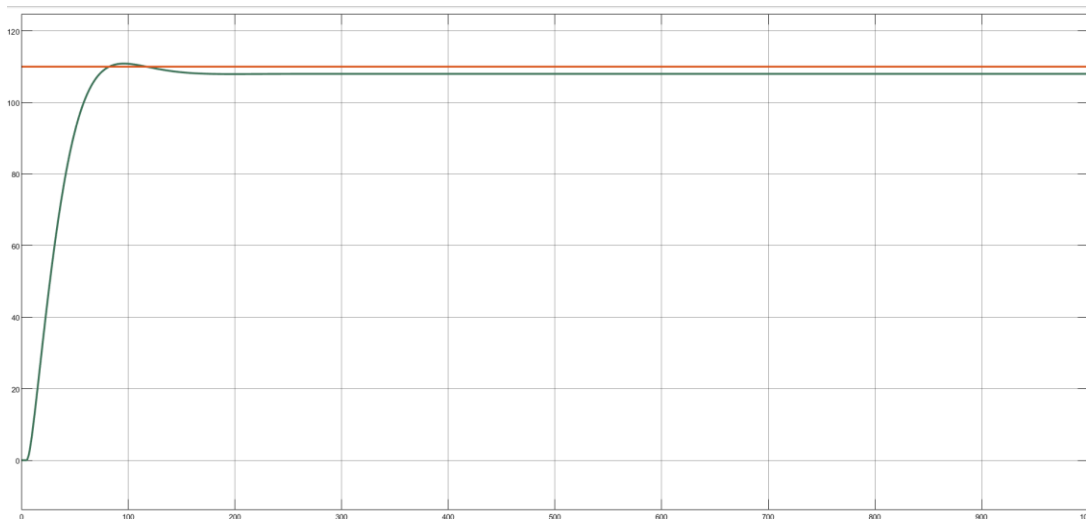


Рис.4.9.Перехода характеристика температури в грануляторі. З використанням ПІ-регулятора

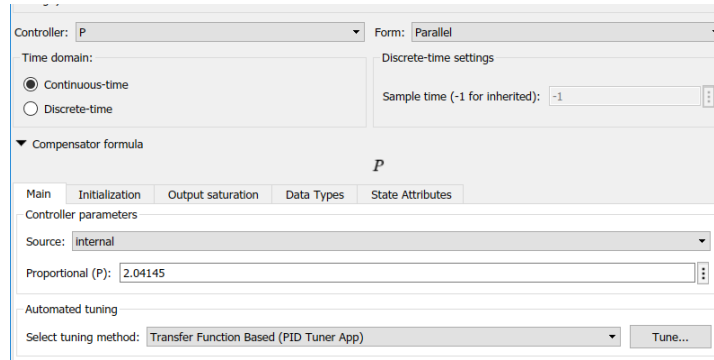


Рис.4.10. Параметри П-регулятора

Додаємо ПІ-регулятор отримуємо перехідну характеристику. Параметр температури дорівнює уставці, перегулювань немає, і регулятор відпрацьовує на всі збурення.

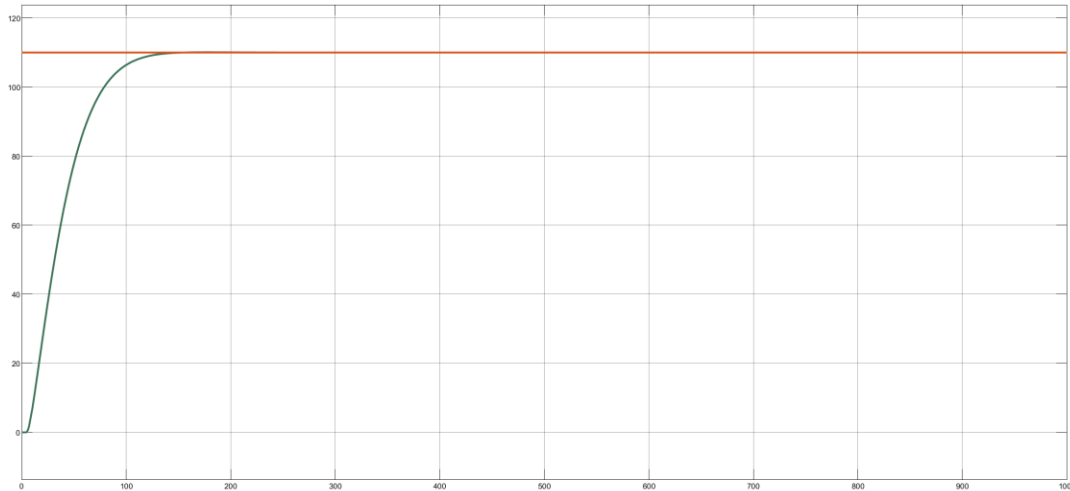


Рис.4.11. Параметри ПІ-регулятора

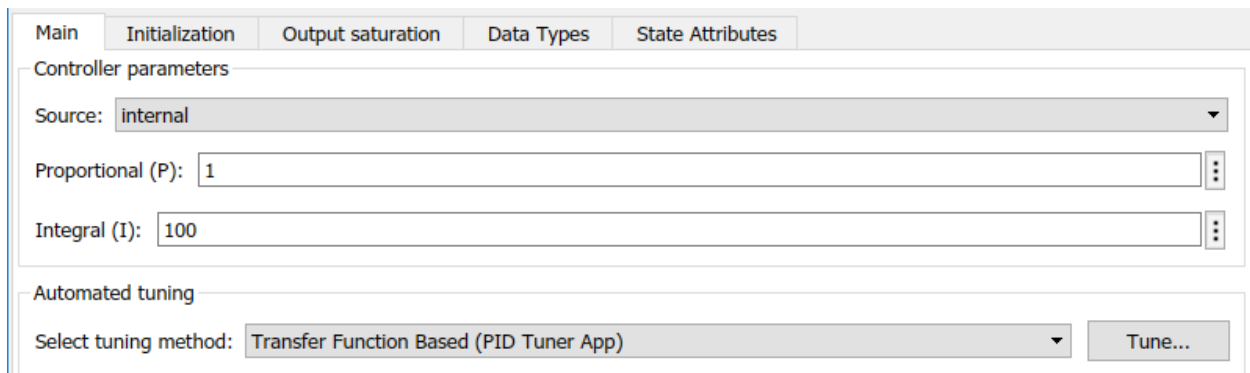


Рис.4.12. Параметри ПІ-регулятора

5.ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА

5.1. Scada система

Розроблена система диспетчеризації для контролю вихрового гранулятора на базі Wincc.

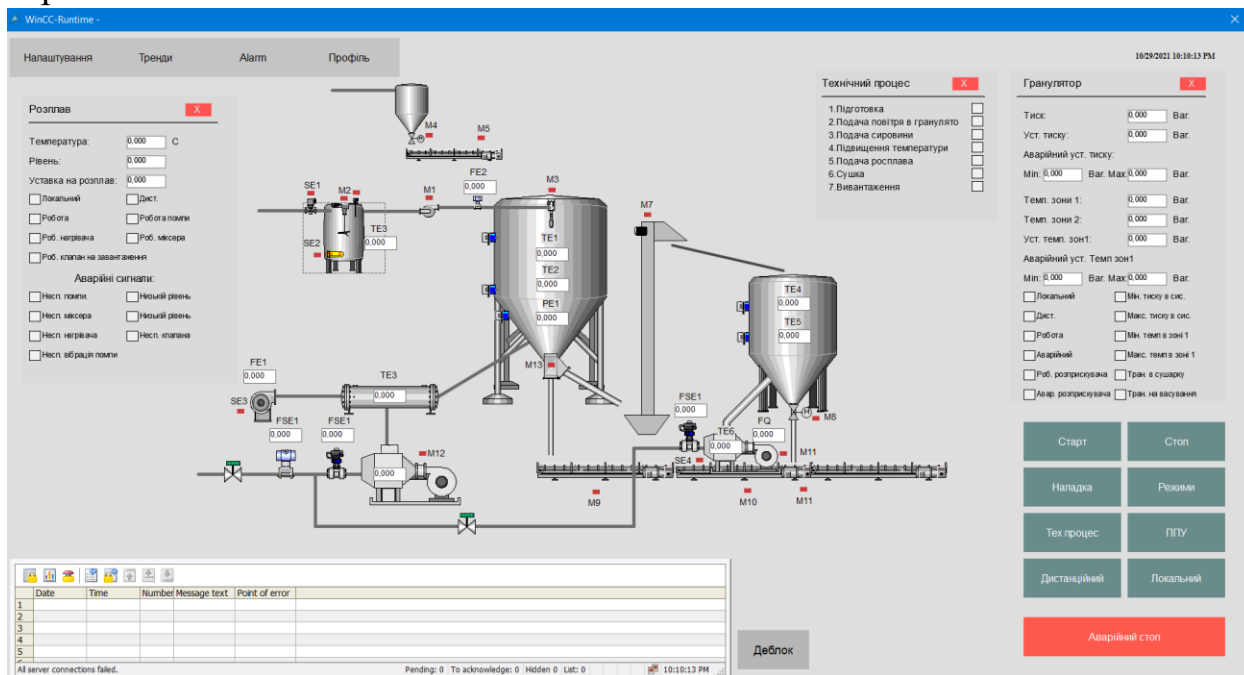


Рис 5.1. Система диспетчеризації для контролю вихрового гранулятора

Розроблені головні вікна системи диспетчеризації

alarms.Pdl	Process picture	10/29/2021 9:33:50 PM
granulator.Pdl	Process picture	10/29/2021 11:47:44 AM
NewPdl0.Pdl	Process picture	10/29/2021 10:09:48 PM
profil.Pdl	Process picture	10/29/2021 9:34:58 PM
rosplaw.PDL	Process picture	10/29/2021 12:53:52 PM
setting.Pdl	Process picture	10/29/2021 9:35:31 PM
technical_proses.Pdl	Process picture	10/29/2021 10:07:05 PM
Trends.Pdl	Process picture	10/29/2021 9:33:29 PM
vent_reg.Pdl	Process picture	10/29/2021 10:11:53 PM

Рис 5.1. Розроблені головні вікна системи диспетчеризації

5.2. Технічна документація

Розроблена технічна документація:

ЕЗ – схема електричних з'єднань

ПЕЗ – Специфікація

ВО – загальний вигляд

ФСА – Функціональна схема

Є4 – схема підключень

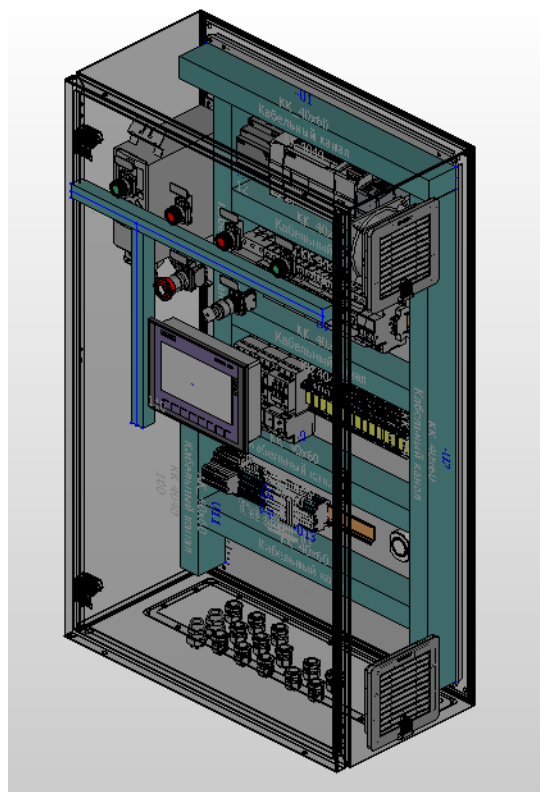
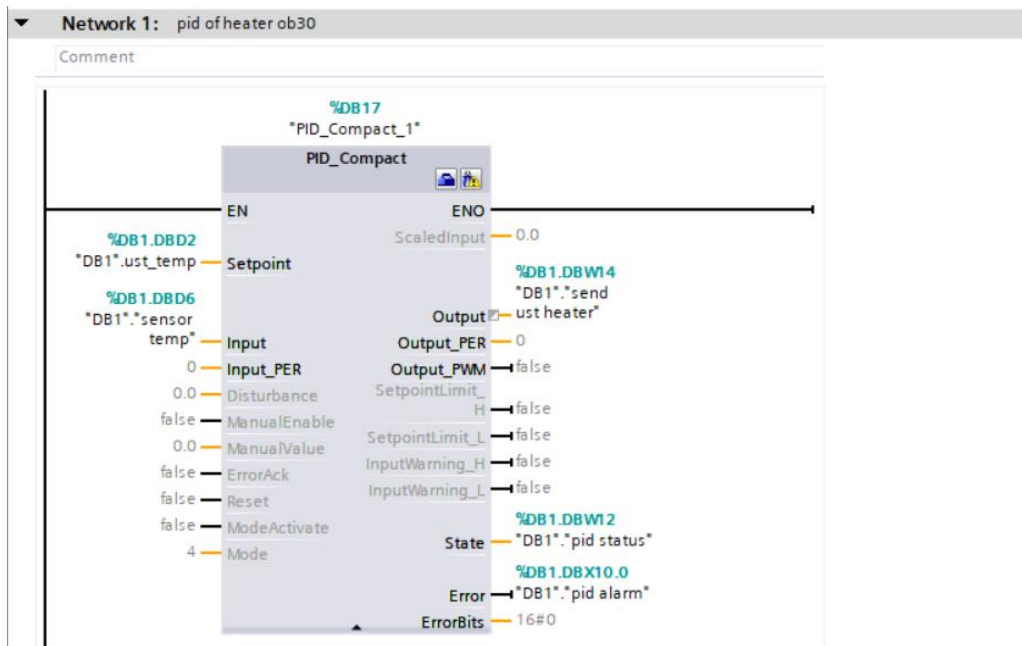


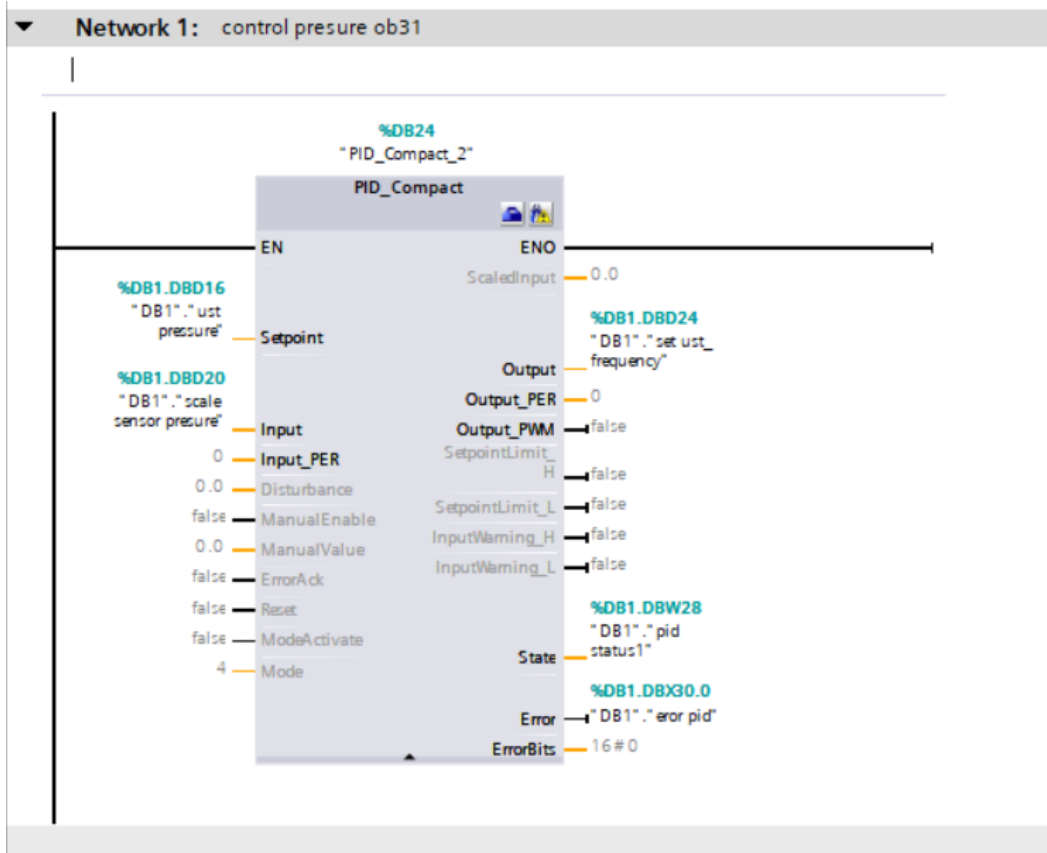
Рис. 5.2. Загальний вигляд електричної шафи управління вихровим гранулятором.

5.3.Алгоритм

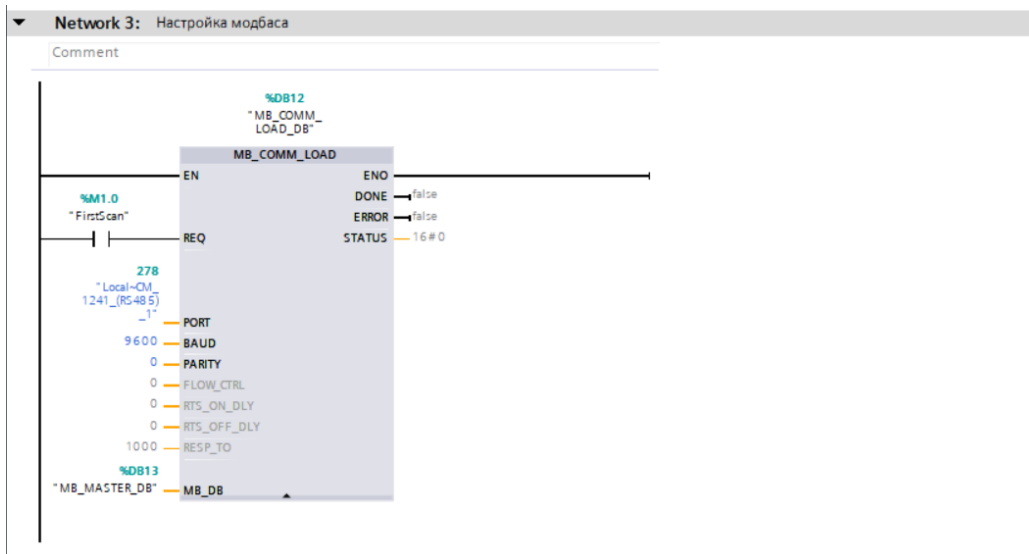
Створюємо блок ob30 де будемо визивати блок Pi регулятора температури раз в 30мс



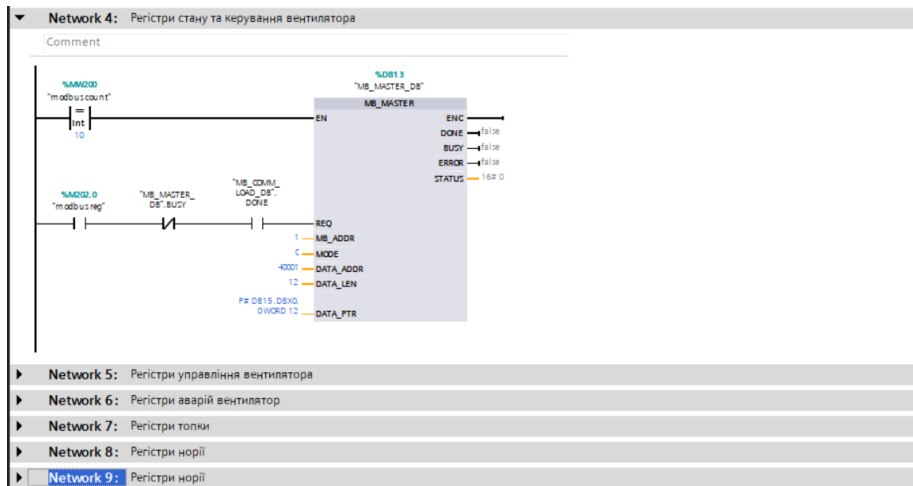
Створюємо блок ob31 де будемо визивати блок Pi регулятора тиску раз в 30мс



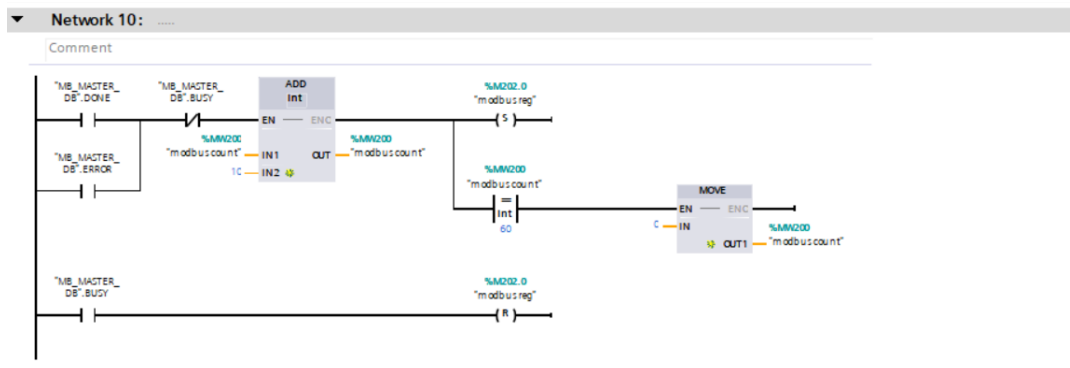
Прописуємо параметри швидкості, пріоритету, порт, і дб блоку опитування слейвів.



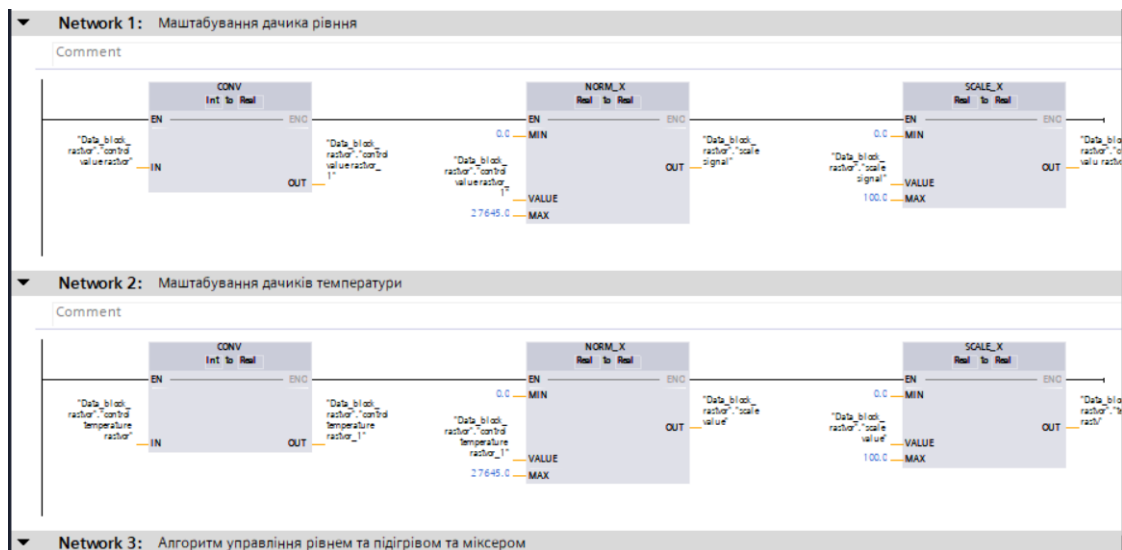
Прописуємо адрес опитування слейва, та прописуємо довжину зчитування та запис.



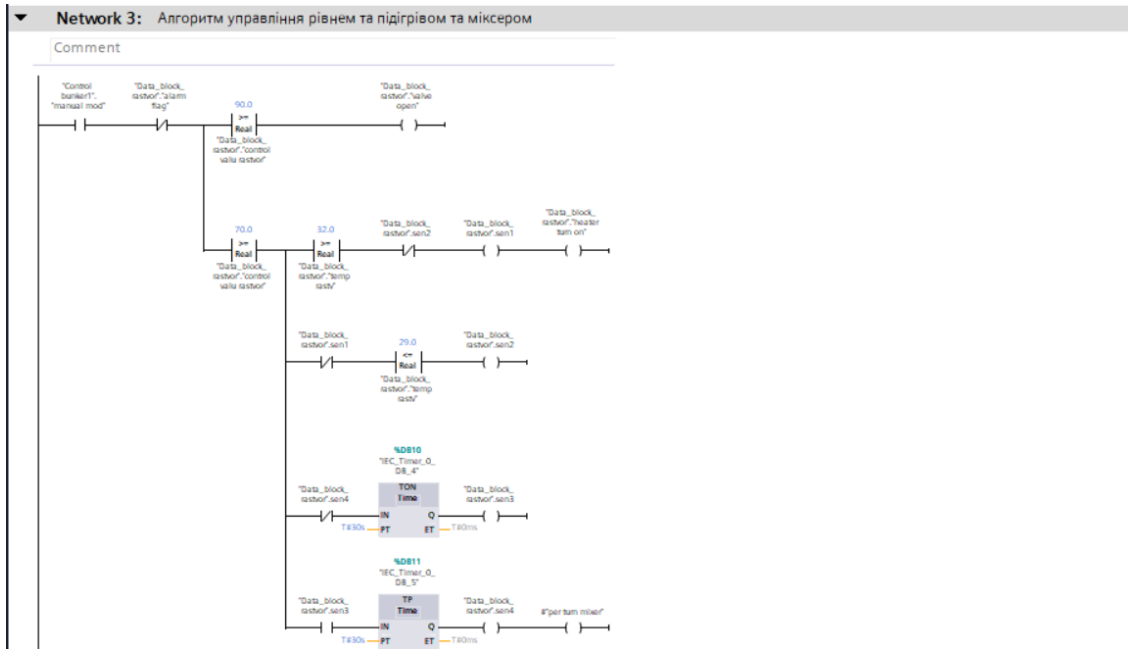
Алгоритм для почергового зчитування 1-6 адрес



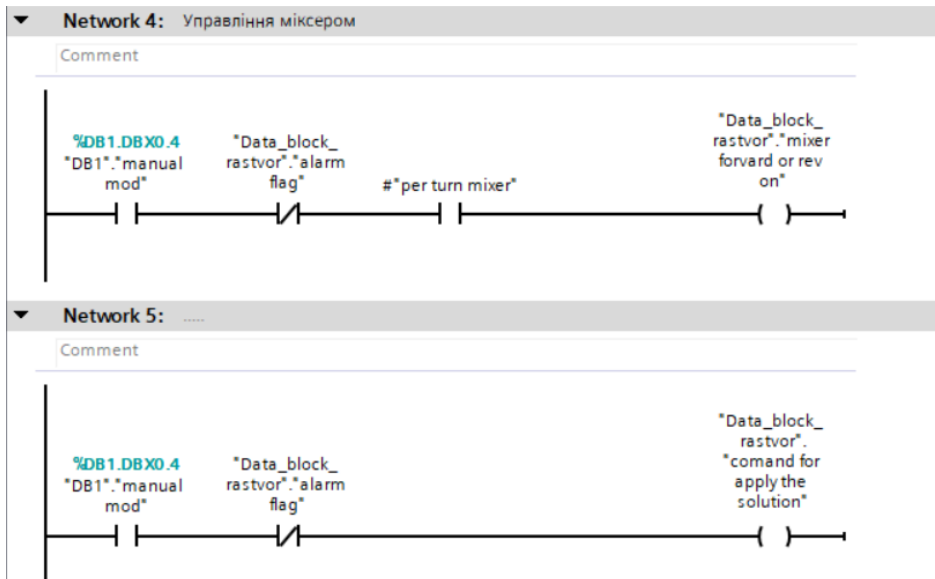
Робимо масштабування аналогових сигналів, датчика рівня та датчика температури



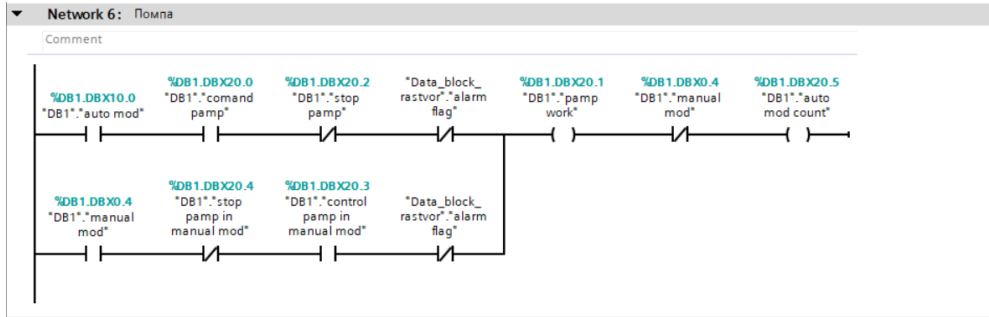
Прописуємо алгоритм включення міксеру та підігрів розчину.



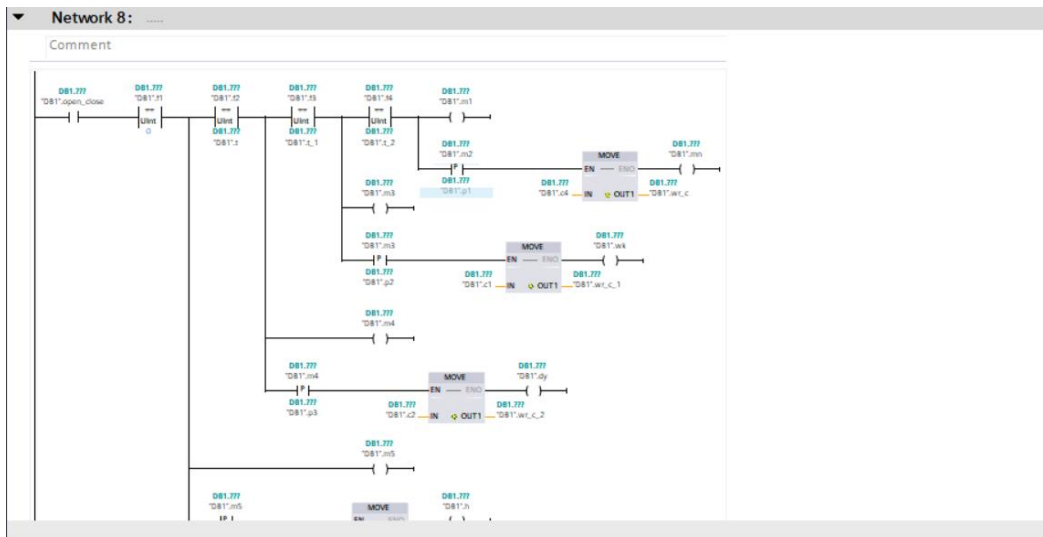
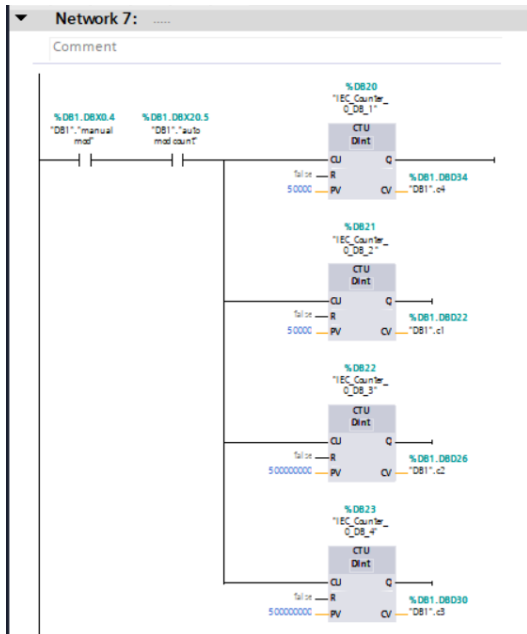
Прописуємо умову включення міксеру

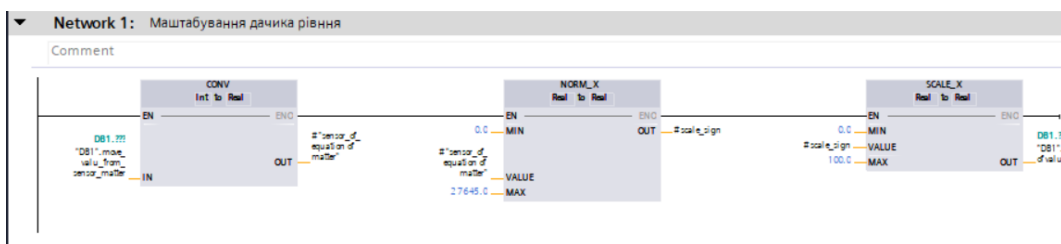
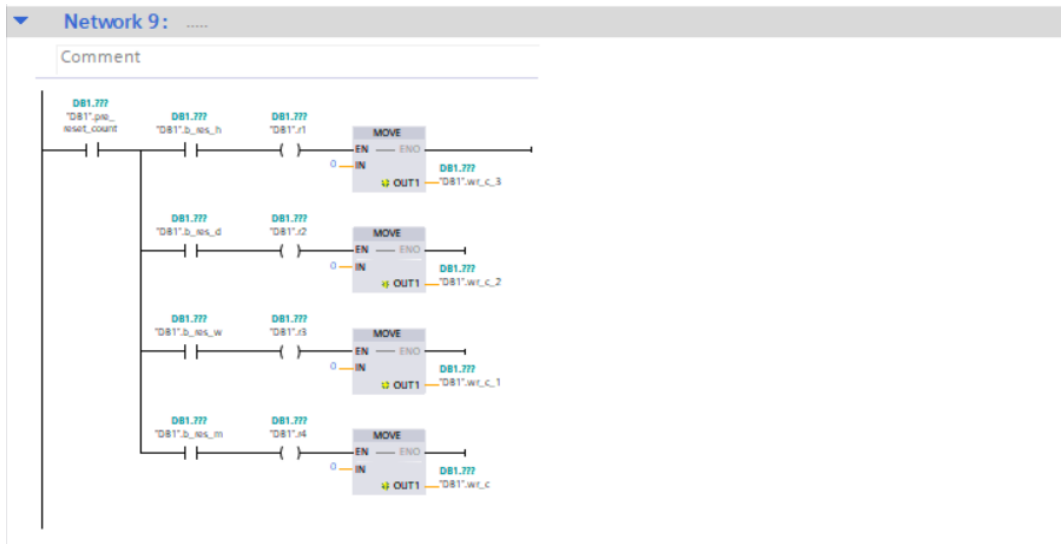


Прописуємо алгоритм управління помпи

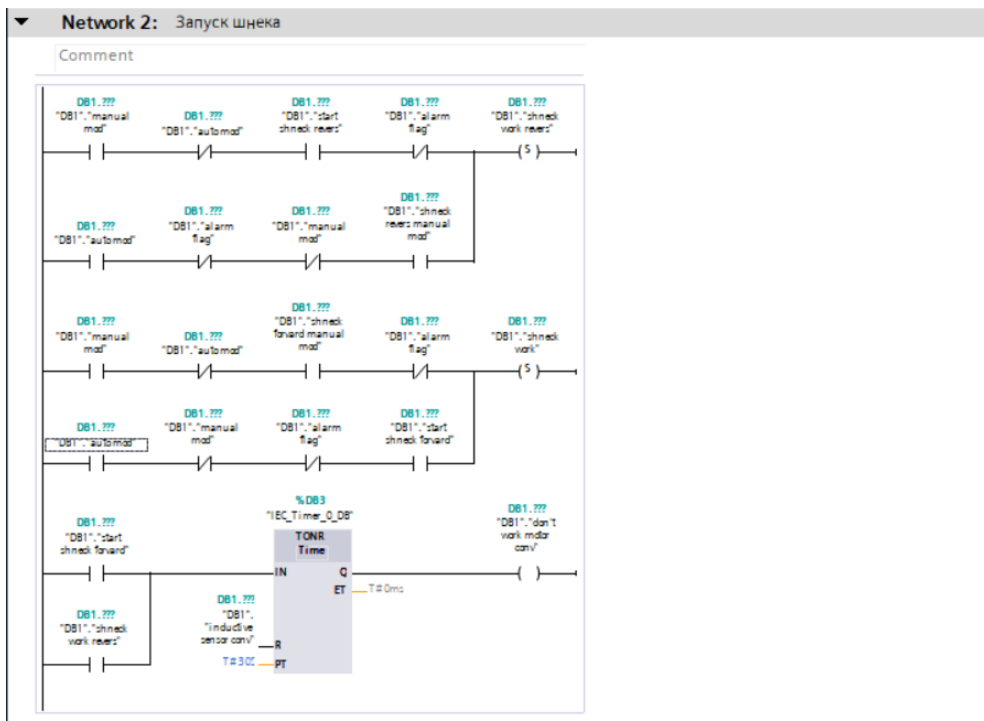


Алгоритм підрахунок раствора

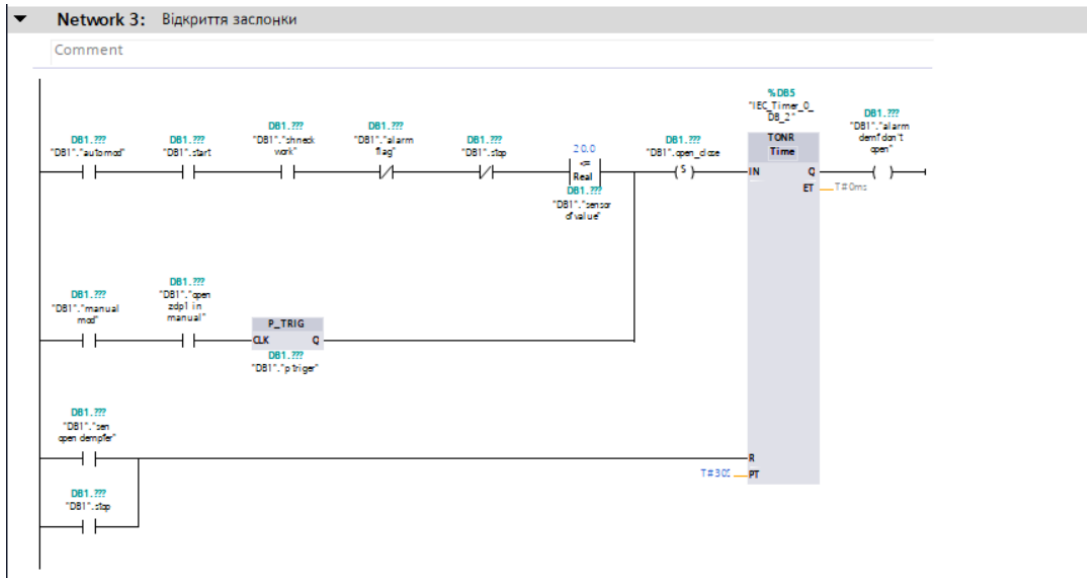




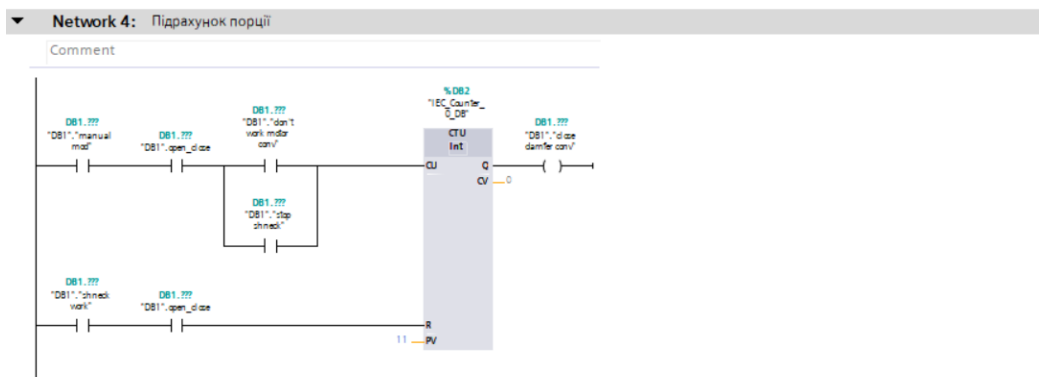
Прописуємо алгоритм управління шнеком



Алгоритм управління шиберної засувки

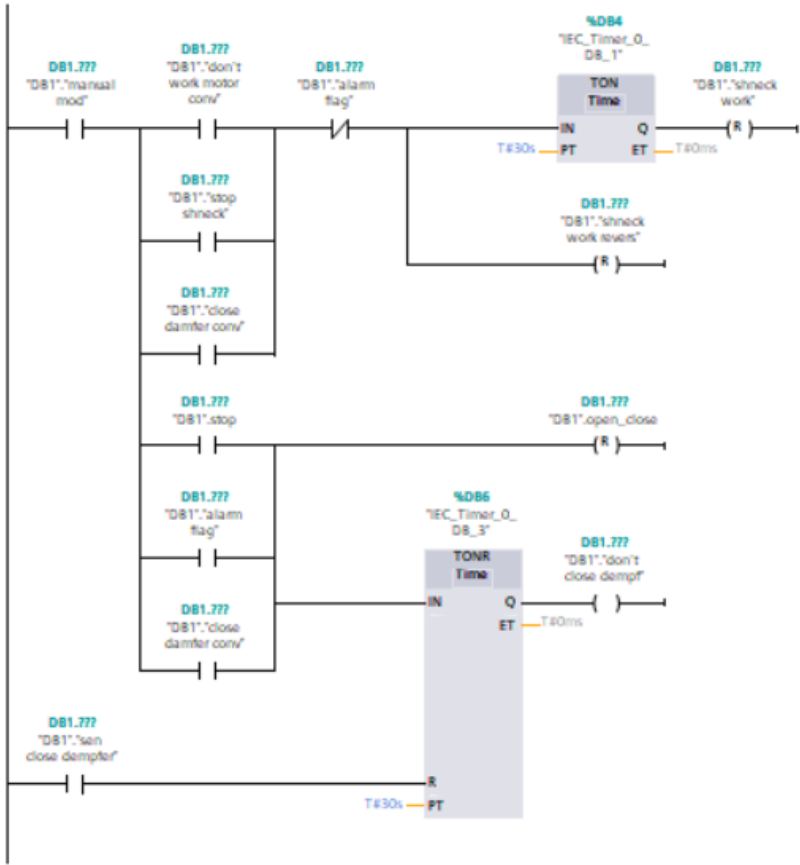


Алгоритм підрахунок порції за датчиком

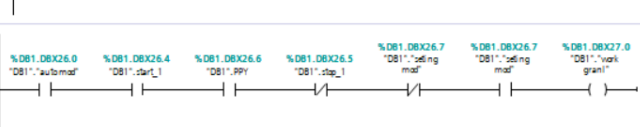


▼ **Network 5: Стоп шнека та закриття засувки**

Comment

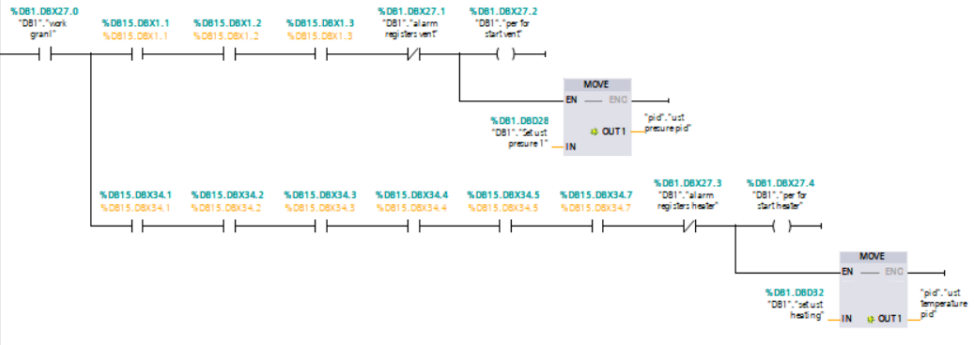


▼ **Network 2: permission**



▼ **Network 3: Send ust pid**

Comment



ВИСНОВОКИ

Розглянуто технічний процес виготовлення гранул аміачної селітри, було проаналізовано всі методи грануляції, також були взяті основні параметри для побудови функціональної схеми автоматизації та математичної моделі.

Розроблено функціональної схеми автоматизації, де розглянуто алгоритм управління гранулятором, і були взяті критерії для побудови математичної моделі вихрового гранулятора.

Розроблено математичну модель вихрового гранулятора, де було проаналізовано перехідні характеристики, які показали що система не відповідає на заданим критеріям. Далі було добавлено два регулятора II, III, з пропорційний регулятором система відпрацьовувала збурення на 70% але не вихідний параметр не відповідав уставці. Пропорційно інтегральний регулятор відпрацьовував на всі збурення на 95%, і вихідний параметр відповідав заданій уставці.

Розроблено інженерну частину: схеми електричних з'єднань, специфікації, загальний вигляд електричної шафи, функціональну схему автоматизації. Також було розроблено систему диспетчеризації вихрового гранулятора на базі WINCC, та розроблений алгоритм на базі ladder diagram та scl на базі контролера s7-1200.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Артюхов А.Є. Новітнє грануляційне обладнання. Вихровий гранулят р з вібраційним розпилом розплаву / А.Є. Артюхов // Наукові праці ОНАХТ. – 2006. – Випуск 28, Т. 2. – С. 24–27.
- [2] Апарати завислого шару. Теоретичні основи і розрахунок Юхименко М.П., Вакал С.В., Кононенко М.П., Філонов А.П. – Суми: Собор, 2003. – 304 с.
- [3] Патент №29950 Україна, МПК (2006) B01J2/16. Пристрій для гранулювання рідкого матеріалу / А.Є. Артюхов, В.І. Склабінський, А.С. Стеценко; заявник та патентовласник Сумський державний університет. – №u200512066; заявл. 15.12.2005; надрук 11.02.2008, Бюл. № 3.
- [4] Михалевич, С.С. Моделирование систем автоматического управления методом пространства состояний [Текст] / С.С. Михалевич, С.А. Байдали, Ю.А. Чурсин // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2012. – № 8. – С. 23-28.
- [5] Корнієнко Я. М. Кінетика процесу гранулоутворення комплексних мінерально-гумінових добрив/ Я. М. Корнієнко, А. Р. 113 Степанюк, П. М. Магазій, Б. Я. Корнієнко, Я. М. Заграй // Екологіядовкілля та безпека життєдіяльн. - 2007. - № 5. - С. 73-78. - Бібліогр.: 4.
- [6] Ротач В. Я. Теория автоматического управления [Текст]: учеб. для студ. вузов / В. Я. Ротач. – Москва: Изд. МЭИ, 2004. – 400 с. – Библиогр.: с. 394. – ISBN 978-5-903072-69-9.
- [7] Корнієнко Б.Я. Система керування процесом зневоднення та гранулювання у псевдозрідженому шарі / Б.Я. Корнієнко // Хімічна промисловість України. – 2011. – № 6. – С. 63–68.
- [8] https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/32277/1/Sopilniak_magistr.pdf
- [9] <https://innovation.sumdu.edu.ua/d19003/>
- [10] **WinCC V7.5 WinCC: Working with WinCC**
- [11] SIMATIC S7 Програмуємый контроллер S7-1200
- [12] Berger H. - Automating with SIMATIC S7-1200 with STEP 7 Basic 2013
- [13] Особливості багатовимірних систем – [Електронний ресурс]. – <http://masters.donntu.org/2013/fkita/pavlenko/diss/index.htm>
- [14] Багатовимірні системи з запізненням – [Електронний ресурс]. – https://openbooks.itmo.ru/read_pribor/6404/6404.pdf
- [15] Многомерные системы автоматического управления Павлов А.В., Журавлев А.Ю., Алексеенко Г.А., Конспект лекций – СумДУ, 2017 – 20с.

- [17] Нелинейные системы автоматического управления Павлов А.В., Журавлев А.Ю. Конспект лекций – СумДУ, 2016 – 7с.
- [18] Kürten, A. et al. Experimental particle formation rates spanning tropospheric sulfuric acid and ammonia abundances, ion production rates, and temperatures. *J. Geophys. Res.* **121**, 12377–12400 (2016).
- [19] ao, W.; Pan, Y.; Liu, Y.; Jiang, J. A novel method for predicting the flashpoints of binary mixtures from molecular structures. *Safety Science* **2020**, *126*, 104680, DOI: 10.1016/j.ssci.2020.104680
- [20] Yang, Q.; Sheng, M.; Li, X.; Tucker, C.; Vasquez Cespedes, S.; Webb, N. J.; Whiteker, G. T.; Yu, J. Potential Explosion Hazards Associated with the Autocatalytic Thermal Decomposition of Dimethyl Sulfoxide and Its Mixtures. *Org. Process Res. Dev.* **2020**, *24*, 916, DOI: 10.1021/acs.oprd.0c00159
- [21] Cheblanov, N. V. Sergeev, Iu. A., Soldatov, A. V. (2010). Prillirovannii i granulirovannii karbamid: svoistva i perspektivy. *Evraziiskii khimicheskii rynok*, 9, 26–33.
- [22] Skydanenko, Maksym, Vsevolod Sklabinskyi, Saad Saleh, and Shahzad Barghi. 2017. "Reduction of Dust Emission by Monodisperse System Technology for Ammonium Nitrate Manufacturing" *Processes* 5, no. 3: 37.
- [23] Artyukhov, A.E., Artyukhova, N.O., Ivaniia, A.V. (2018). Creation of software for constructive calculation of devices with active hydrodynamics. *Proceedings of the 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET 2018)*, 139-142.
- [24] European Fertilizer Manufacturers' Association. Production of ammonium nitrate and calcium ammonium nitrate: Booklet No. 6 of 8. Fisherprint Ltd, Peterborough, England (2000)
- [25] EFMA. Production of ammonium nitrate and calcium ammonium nitrate. BAT for pollution and control in the European fertilizer industry. Book No.6. 2000.
- [26] A.E. Artyukhov and V. I. Sklabinskyi, "3D nanostructured porous layer of ammonium nitrate: influence of the moisturizing method on the layer's structure", *J. Nano- Electron. Phys.*, vol. 8, no. 4, pp. 04051-1-04051-5, 2016.
- [27] A.E. Artyukhov and A.A. Voznyi, "Thermodynamics of the vortex granulator's workspace: the impact on the structure of porous ammonium nitrate", *6th International Conference Nanomaterials: Application & Properties (NAP-2016)*, vol. 5, no. 2, pp. 02NEA01, 2016.