

Міністерство освіти і науки України  
Шосткинський інститут  
Сумського державного університету  
Центр дистанційної і заочної форми навчання  
Кафедра системотехніки та інформаційних технологій  
Спеціальність 6.151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

\_\_\_\_\_ Худолей Г.М.

«\_\_»\_\_\_\_\_2022. р.

Бакалаврська робота на тему:  
«Система управління агрегатом  
отримання аміачної селітри»

Керівник роботи:  
(к.т.н., викладач)

Андрусенко О.О.

Бакалаврант:  
студент групи СУз-81ш

Біловський В.А.

## ВСТУП

Аміачна селітра (нітрат амонію  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) широко застосовується у сільському господарстві як просте азотне добриво та є перспективним компонентом для приготування комплексних добрив.

Для нормального розвитку рослин потрібно багато хімічних елементів. Особливо велика роль належить азоту. Без нього не може нормально розвиватися жодна рослина. При вирощуванні високоврожайних культур значення азотних добрив різко зростає. Аміачна селітра є найпоширенішим видом азотних добрив. Її застосовують практично під всі технічні культури (бавовник, цукровий буряк, льон, чай та ін.), а також під зернові та овочеві культури.

Аміачна селітра має низку переваг перед іншими азотними добривами. Вона містить 34,5% азоту і в цьому відношенні поступається тільки карбаміду  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , що містить 46% азоту. Однак кожне з азотних добрив містить азот лише в одній формі – амонійній або нітратній. Аміачна селітра є універсальним азотним добривом, оскільки містить одночасно і амонійну та нітратну форми азоту. Вона ефективна у всіх зонах, майже під всі сільськогосподарські культури.

Відповідно до ГОСТ 2-85 аміачну селітру випускають двох марок:

марка А – гранульована аміачна селітра для промисловості; марка Б – гранульована аміачна селітра для сільського господарства. Вміст нітратного і аміачного азоту нормується лише у селітрі марки А. Для сільськогосподарського споживача важливо знати сумарний вміст діючої речовини - азоту у цьому добриві. Необхідно підвищувати врожайність сільськогосподарських культур з метою забезпечення продовольчої безпеки і одним із заходів є збільшення випуску мінеральних добрив.

В даний час ринкова економіка змушує знижувати собівартість аміачної селітри, підвищувати якість готового продукту до світових стандартів з метою підвищення конкурентоспроможності продукції на світовому ринку.

Головні вимоги до гранульованих добрив:

- високий вміст корисного компонента у продукті;
- сталість гранулометричного складу;
- висока міцність гранул;
- неналежність продукту при тривалому зберіганні.

Для виконання цих вимог, а також вимог, пов'язаних із необхідністю забезпечення охорони навколишнього середовища та економії енергоресурсів, необхідно вдосконалювати технологію отримання аміачної селітри, проводити модернізацію основного обладнання, оснащувати виробництво передовою технікою.

В той же час людина в силу фізіологічних обмежених можливостей людського організму за часом реакції і прийняття рішень, за одночасністю аналізу великої кількості інформації про зміну значень параметрів і режимів протікання технологічних процесів, не може в повній мірі контролювати і управляти цими процесами. Якщо враховувати, що у процесах хімічної технології існують шкідливі для людини умови праці (отруйні і небезпечні речовини, екстремальні температури), використовуються пожежо- і вибухонебезпечні речовини, то однозначно можна зазначити, що автоматизація технологічних процесів у хімічній галузі – це нагальна вимога сучасності.

Основні принципи автоматизації великотоннажних агрегатів.

Сучасні великотоннажні агрегати хімічних виробництв мають низку специфічних особливостей, які слід враховувати під час розробки систем автоматизації таких об'єктів:

- послідовна технологічна структура з жорсткими зв'язками між окремими стадіями процесу за відсутності проміжних ємностей;

- велика продуктивність окремих апаратів, розрахована на повну потужність агрегату;

- територіальне розосередження робочих місць апаратників.

Велика потужність і послідовна структура агрегату задають підвищені вимоги до надійності контролю, регулювання та захисту, тому що вихід з ладу окремого елемента часто призводить до повної зупинки агрегату і, як наслідок, великих економічних втрат. Територіальна роз'єднаність робочих місць за великої кількості взаємозалежних вузлів регулювання ускладнює координацію дій апаратників. Тому потрібна єдина технічна система з урахуванням всіх взаємозв'язків та взаємного впливу окремих пристроїв один на одного. Результатом є відмова від традиційних приміщень щитових на окремих стадіях процесу, концентрація управління в руках однієї людини. Зосередження всієї інформації та управління агрегатом в руках одного оператора вимагає організації раціонального її представлення. Для цього всі органи управління регуляторами та виконавчими механізмами розміщені на пульті; тут же виконано мнемосхему виробництва з вмонтованими в неї кнопками виклику параметрів і сигнальними лампами. Для зниження психічного навантаження на оператора, спричиненого інформаційною насиченістю, пульт забезпечується системою сигналізації відхилень параметрів від норми та системою групового виклику. Це дозволяє оператору за відсутності сигналів вибірково перевіряти стан різних параметрів, а за наявності сигналу одним натисканням кнопки викликати на контроль всю групу параметрів, пов'язаних із порушеним параметром. За необхідності додаткову інформацію оператор отримує із записуючих приладів.

У бакалаврській роботі виконано роботу по розробці автоматизації агрегату одержання аміачної селітри, обрані засоби автоматизації, сучасні керуючі пристрої, що забезпечують нормальну роботу агрегату з використанням різних автоматичних пристроїв контролю,

регулювання, сигналізації та ін., а також автоматичне керування пуском і зупинкою обладнання для проведення ремонтних робіт і у критичних ситуаціях.

Цілі, які планується досягти при розробці автоматизації агрегату одержання аміачної селітри при виконанні бакалаврської роботи:

- скасування участі людини при вимірюванні параметрів процесу, зменшення впливу людини на функції управління технологічними параметрами;
- ведення технологічного процесу на основі автоматичного контролю технологічних параметрів;
- автоматичне керування виконавчими механізмами;
- запобігання виникненню аварійних ситуацій і забезпечення безпечного завершення процесу за заданим алгоритмом;
- безаварійний пуск/зупинку і перемикання технологічного обладнання;
- візуалізація параметрів технологічного процесу в номінальних і аварійних ситуаціях;
- можливість інтегрування нижніх і верхніх рівнів системи з отриманням інформації з верхнього рівня системи управління з метою формування керуючих впливів на виконавчі механізми передачею, відповідно, інформації з нижніх рівнів системи управління з метою аналізу роботи виробництва.

## 1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

Аміачна селітра – один з основних видів азотних добрив; містить щонайменше 34,2% азоту. Сировиною для отримання гранульованої аміачної селітри служать неконцентрована 58-60% азотна кислота і газоподібний аміак.

Як кондиціонуючу добавку використовують 92,5%-у сірчану кислоту, яка нейтралізується аміаком разом з азотною кислотою до сульфату амонію. Для обприскування готових гранул застосовують поверхнево-активну речовину 40% водний розчин диспергатора «НФ».

Основними стадіями виробництва аміачної селітри є: нейтралізація азотної кислоти газоподібним аміаком; випарювання розчину аміачної селітри для отримання висококонцентрованого плаву аміачної селітри; гранулювання плаву; охолодження гранул аміачної селітри; обробка гранул поверхнево-активною речовиною - диспергатором "НФ"; очищення повітря та сокової пари перед викидом в атмосферу; пакування.

На рис. 1.1 наведена схема сучасного великотоннажного агрегату з виробництва аміачної селітри АС-72 потужністю 1360 т/добу.

Підігрівач азотної кислоти призначений для підігріву 58–60 % азотної кислоти від температури, при якій вона зберігається складі, до температури 80 – 90 °С за рахунок тепла сокової пари з апарату ВТН. Є вертикальним кожухотрубчастим чотирьохходовим теплообмінником з поверхнею нагрівання 125 м<sup>2</sup> із трубчаткою з титану.

У теплообміннику встановлена 261 трубка розміром 25×2×5000 мм, поверхня теплообміну 94 м<sup>2</sup>. Матеріал трубок, трубної решітки та кришок - титан ВТ 1-0, корпуси - нержавіюча сталь.

Підігрівач газоподібного аміаку призначений для нагрівання аміаку до 120-180 °С. Є вертикальним одноходовим кожухотрубним теплообмінником типової конструкції діаметром 800 мм та висотою 6575 мм з поверхнею теплообміну 226 м<sup>2</sup>; забезпечений 478 трубками розміром 25×2×6000 мм, виконаний із вуглецевої сталі.

Газоподібний аміак надходить у трубний простір, розрахований на тиск 1,28 МПа, температуру нагрівання 180°С; у міжтрубний простір подають гарячий паровий конденсат під тиском 1,3-1,4 МПа з початковою температурою до 197°С.

Апарат ВТН призначений для отримання розчину аміачної селітри шляхом нейтралізації 58–60 % азотної кислоти газоподібним аміаком з використанням тепла реакції для часткового випарювання води з розчину під атмосферним тиском.

Вертикальний циліндричний апарат, загальна висота 11160 мм, складається з двох частин: реакційної – діаметром 1600 мм та сепараційної – діаметром 3800 мм; виконаний із нержавіючої сталі марок 03X18H11, 12X18H10T, титану ВТ 1-0.

Реакційний стакан діаметром 1200 мм та висотою 5300 мм забезпечує час перебування реагентів у реакційній зоні 0,5 – 1 с. У нижній частині реакційний стакан має отвори загальною площею 1,5 м<sup>2</sup>. Вище отворів розташований кільцевий барботер газоподібного аміаку, що має 6650 отворів діаметром 3 мм. Аміачний барботер виконаний у вигляді шести ліхтарів, верхня конічна частина яких перфорована. Така конструкція дозволяє вільно замінювати барботери; крім того, покращується розподіл аміаку, зменшується забрудненість сокової пари домішками селітри та кислоти. Швидкість аміаку у отворах барботера 30 – 50 м/с. Вище барботера газоподібного аміаку розташований кільцевий барботер азотної кислоти (відстань між барботерами-600 мм) з рівномірно розташованими отворами у нижній частині кільця. Діаметр отворів 1,5 мм, загальна кількість 2150, що забезпечує швидкість тікання кислоти з отворів 2–3 м/с. Барботери газоподібного аміаку та азотної кислоти виконані з титану.

Верхня частина реакційного стакану закінчується дифузором, що забезпечує поступове наростання швидкості на виході зі стакану, тим самим запобігаючи виникненню гідроударів великих мас парорідинної суміші, виведення якої проводиться через завихрювач з висотою щілини 70 мм, занурений на 200 мм в розчин.

Верхня частина апарату діаметром 3600 мм є промивачем з ковпачковими тарілками, що мають 180 ковпачків діаметром 150 мм з вільним перетином 1,37 м<sup>2</sup>. Діаметр апарату 3600 мм забезпечує швидкість пари перерізом апарату не вище 0,7 м/с при максимально допустимих навантаженнях на апарат.

Конструкція промивної частини передбачає створення двох контурів зрошення: верхні дві тарілки зрошуються конденсатом сокової пари з виведенням його з апарату та забезпечують відмивання сокової пари від селітри та азотної кислоти; на нижніх двох тарілках, на які подають кислий 20 - 25% розчин аміачної селітри, уловлюється газоподібний аміак з реакційної частини, а також відбувається деяке упарювання розчину перед його зливом в реакційну частину апарату. У перших апаратах ВТН були встановлені сітчасті тарілки, потім вони були замінені ковпачковими, що забезпечують кращу очистку сокової пари у великому діапазоні навантажень.

На виході із сепараційної частини сокова пара проходить через сітчастий відбійник діаметром 2200 мм із вільним перетином 97%. Тиск у апараті – 0,12 МПа, температура реакційної частини – до 180°C.

Безпека процесу нейтралізації забезпечується тим, що припиняють подачу сировини в апарати ВТН при порушеннях співвідношення витрат азотної кислоти та газоподібного аміаку або при зростанні температури реакційної зони вище 180 °С; в останньому випадку в ВТН автоматично подається конденсат водяної пари.

Донейтралізатор призначений для донейтралізації аміаком надмірної кислотності розчину аміачної селітри, що безперервно надходить з апарату ВТН, і вводиться як добавка сірчаної та

фосфорної кислот. Апарат вертикальний, циліндричної форми, діаметром 800 мм та висотою 7210 мм (ємність – 3,6 м<sup>3</sup>), виконаний з нержавіючої сталі марок ОЗХ18Н11, 12Х18Н10Т, розчин вводять у нижню частину апарату. Центральною трубою вниз подають газоподібний аміак. Нейтралізація надлишкової кислотності відбувається в реакційній вставці. Усередині корпусу є зливна труба для виведення розчину з апарату та підтримання рівня. Для кращого перемішування розчину з добавками є горизонтальні перегородки та кільцевий барботер газоподібного аміаку.

При нейтралізації за рахунок тепла, що виділяється, утворюється сокова пара. Парорідинна емульсія через верхні отвори з реакційної вставки виходить у сепараційну частину. Сокова пара відводиться через повітряник. Нейтралізований розчин переливається через вивідний штуцер, розташований лише на рівні 5200 мм від днища апарату.

Випарний апарат призначений для випаровування розведених розчинів від 30 - 50 до 92% під атмосферним тиском для отримання висококонцентрованого плаву в одну ступінь. Установка складається з вертикального кожухотрубного одноходового випарника та сепаратора. Упарювання йде за рахунок тепла конденсації насиченої пари тиском 0,8 МПа. У випарнику встановлена 261 трубка розміром 25×2×5000 мм; поверхня теплообміну 80 м<sup>2</sup>. Матеріал трубок, трубної решітки та кришок – титан ВТ-1-0, корпусу – нержавіюча сталь. Сепаратор - вертикальний циліндричний апарат для відокремлення сокової пари від концентрованого розчину. Діаметр апарату 1000 мм, висота 1400 мм, місткість 166 м<sup>3</sup>. На виході із сепараційної частини сокова пара проходить через відбійник. Тиск у апараті – 0,12 МПа.

Промивне та фільтруюче обладнання призначене для відмивання пилу аміачної селітри, що відноситься повітрям з вежі, аерозольних частинок аміачної селітри з паро-повітряної суміші випарного апарату, повітря з веж, сокової пари з апаратів ВТН, а також аміаку з цих потоків. Вертикальний циліндричний апарат. Усередині апарату розташовані фільтруючі елементи. Діаметр апарату 2800 мм, висота 8000 мм, об'єм 60 м<sup>3</sup>.

Підігрівач повітря є горизонтальним кожухотрубчастим одноходовим теплообмінником. Повітря, що нагнітається повітродувкою, надходить у трубний простір і нагрівається до 185 °С. У міжтрубний простір надходить насичена водяна пара тиском 1,2-1,4 МПа. Апарат діаметром 1400 мм та довжиною 5250 мм має поверхню теплообміну 515 м<sup>2</sup> (трубки 25×2×4000 мм), кількість трубок 1639 шт.

Нагнітач повітря призначений для подачі повітря у випарний апарат, відцентровий нагнітач типу 400-12-2 продуктивністю повітря 359 м<sup>3</sup>/хв при робочому тиску 19 кПа. Об'ємна подача нагнітача 24000 м<sup>3</sup>/год, споживана потужність 250 кВт, частота обертання 2965 хв<sup>-1</sup>. Нагнітач комплектується електродвигуном А-103-2 потужністю 250 кВт та маслососом для подачі мастила до підшипників. Ротор консольного типу має робоче колесо зі штампованими лопатками. Маслозмащування примусове, охолодження мастила водяне.

Насос для перекачування плаву призначений для перекачування 99 - 99,9% плаву при 175 °С, відцентровий, вертикальний, занурювальний, з центральною підвіскою та бічною напірною трубою, з безпосереднім приводом від електродвигуна через пружну муфту. Проточна частина насоса виконана із сталі 12Х18Н10ТЛ. Насос встановлюють на кришці бака діаметром 1600 мм із зовнішнім обігрівом.

У робочому стані корпус насоса з робочим колесом занурений у плав. Вихід валу з корпусу насоса не ущільнюється, розвантаження робочого колеса за допомогою імпелера. Для запобігання наростанню кристалів селітри в щілинному зазорі (у місці виходу валу насоса з кришки бака), на валу встановлюють крильчатку, яка при обертанні валу нагнітає повітря в щілину, перешкоджаючи виходу парів селітри. Основні параметри насоса: продуктивність 60 м<sup>3</sup>/год; тиск 90 – 100 м стовпа рідини (1,28 МПа); глибина занурення всмоктуючого патрубка 1580 мм; частота обертання 2900 хв<sup>-1</sup>; споживана потужність 52 кВт.

Грануляційна вежа складається з трьох частин: верхня частина – зі стелею та перехідником до промивного скрубера; середня частина – власне корпус; нижня частина – із приймальним конусом. Продукт вивантажується на реверсивний конвеєр через прямокутну щілину у нижньому корпусі.

Апарат для охолодження гранул у киплячому шарі призначений для охолодження гранул, що виходять з грануляційної вежі від 110 – 120 °С до 40 – 45 °С.

Під псевдозрідженням розуміють процес переходу шару зернистого матеріалу в «плинний» стан під дією потоку зріджувального агенту – повітря. Якщо під шар гранул з певною швидкістю подавати повітря, гранули починають інтенсивно переміщатися одна відносно іншої і їх шар набагато збільшується в обсязі. Після досягнення певної швидкості найбільш дрібні гранули починають залишати межі шару і відносяться потоком повітря. Таке явище відбувається, якщо тиск потоку повітря перевищує силу тяжіння гранул. Опір шару матеріалів майже не залежить від швидкості газу і дорівнює вазі матеріалу, що припадає на одиницю площі.

Киплячий шар гранул набуває властивостей, властивих краплинній рідині. Температура всього обсягу киплячого шару гранул, як будь-якої киплячої рідини, практично однакова.

Технологічна схема агрегату отримання аміачної селітри наведена на рис. 1.1.

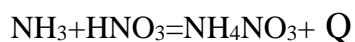
Процес проходить наступним чином: вихідна 58-60%-на азотна кислота підігрівається в підігрівачі 1 до 80–90 °С соковою парою з апарату ВТН 3 та подається на нейтралізацію. В Змішувачі перед апаратами 3 до азотної кислоти додають фосфорну та сірчану кислоти в таких кількостях, щоб в готовому продукті містилося 0,3-0,5% Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub> і 0,05-0,2% сульфату амонію.

В агрегаті встановлено два апарати ВТН, що працюють паралельно. Крім азотної кислоти в них подають газоподібний аміак, попередньо нагрітий у підігрівачі 2 паровим конденсатом до 120-130 °С. Кількості азотної кислоти і аміаку, що подаються, регулюють таким чином, щоб на



виході з апарату ВТН розчин мав невеликий надлишок кислоти (2-5 г/л), що забезпечує повноту поглинання аміаку.

У нижній частині апарату при температурі 155-180 °С відбувається реакція нейтралізації азотної кислоти аміаком:



При проходженні реакції виділяється тепло, яке використовується у технологічному процесі. Реакція незворотна. При цьому виходить концентрований розчин, що містить 91-92%  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ .

Азотна кислота та аміак дозуються таким чином, щоб на виході з апарату ВТН розчин мав деякий надлишок азотної кислоти (не більше 2-5 г/л), необхідний для забезпечення повноти поглинання аміаку в реакційній зоні. Кислотність розчину аміачної селітри після апарату ВТН в межах 1-4 г/дм<sup>3</sup>, вільної  $\text{HNO}_3$  (рН - 1,5-2,0). Сокова пара, що утворюється при випаровуванні розчину аміачної селітри в апараті ВТН і має ту ж температуру, що і розчин у реакційній зоні, надходить в сепараційну частину апарату, де промивається від домішок аміаку та аміачної селітри на чотирьох ковпачкових тарілках слабким розчином аміачної селітри та конденсатом сокової пари. У сепараційній зоні апарату ВТН сокова пара відокремлюється від киплячого розчину і надходить на очищення в промивну зону апарату ВТН, що складається з чотирьох тарілок та бризкоуловлювача. На верхню тарілку подається конденсат сокової пари. На виході з апарату ВТН сокова пара містить 2-5 г/л  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , 1-2 г/л  $\text{HNO}_3$ ; аміак при правильному веденні процесу промивання у парах відсутній.

У верхній частині апарату водяні пари (так звана сокова пара) відмиваються від бризок аміачної селітри та пари азотної кислоти. Частина теплоти сокової пари використовується для підігріву азотної кислоти. Потім сокову пару направляють на очищення та викидають в атмосферу.

Кислий розчин аміачної селітри направляють у донейтралізатор 4; куди надходить аміак, необхідний для взаємодії з азотною кислотою, що залишилася і створення лужного середовища розчину (надлишок аміаку повинен підтримуватися в межах до 0,1 г/л вільного  $\text{NH}_3$ ).

Далі розчин аміачної селітри прямує у відділення випарювання у випарний апарат 5.

Розчин, що випаровується, подається на верхній зріз вертикально розташованих робочих труб. У міжтрубний простір апарату надходить гріючий пар тиском 1,2 – 1,4 МПа.

Масообмін - відведення пари з розчину, забезпечується подачею повітря знизу всередину робочих труб, по стінках яких стікає назустріч йому плівка розчину. Потік повітря попередньо нагрівається до температури 180°С для того, щоб при контакті повітря з плавом не чинився охолоджуючий вплив на плівку плаву.

Отриманий плав, що містить 99,7-99,8% селітри, при 175 °С проходить фільтр 21 і відцентровим занурювальним насосом 20 подається напірний бак 6, а потім у прямокутну металеву грануляційну вежу 16.

У верхній частині вежі розташовані гранулятори 7 та 8, у нижню частину яких подають повітря, що охолоджує краплі селітри, що падають зверху. Під час падіння крапель селітри з висоти 50-55 м при обтікання їх потоком повітря утворюються гранули добрива. Гранули аміачної селітри, що утворюються, падають на конуси грануляційної вежі, захищені з внутрішнього боку транспортерною стрічкою, і через розвантажувальний отвір надходять на транспортер. Температура гранул на виході з вежі дорівнює 110÷120 °С. Гарячі гранули охолоджують у апараті киплячого шару 15. Це прямокутний апарат, що має три секції і має грати з отворами. Під грати вентиляторами подають повітря; при цьому утворюється псевдозріджений шар гранул селітри, що надходять по транспортеру з грануляційної вежі. Пройшовши колосникові грати у апараті киплячого шару, гранульована аміачна селітра надходить в апарат для охолодження гранул в киплячому шарі, проходить послідовно три секції апарату і охолоджується до температури не більше 50 °С.

Повітря після охолодження потрапляє у грануляційну вежу.

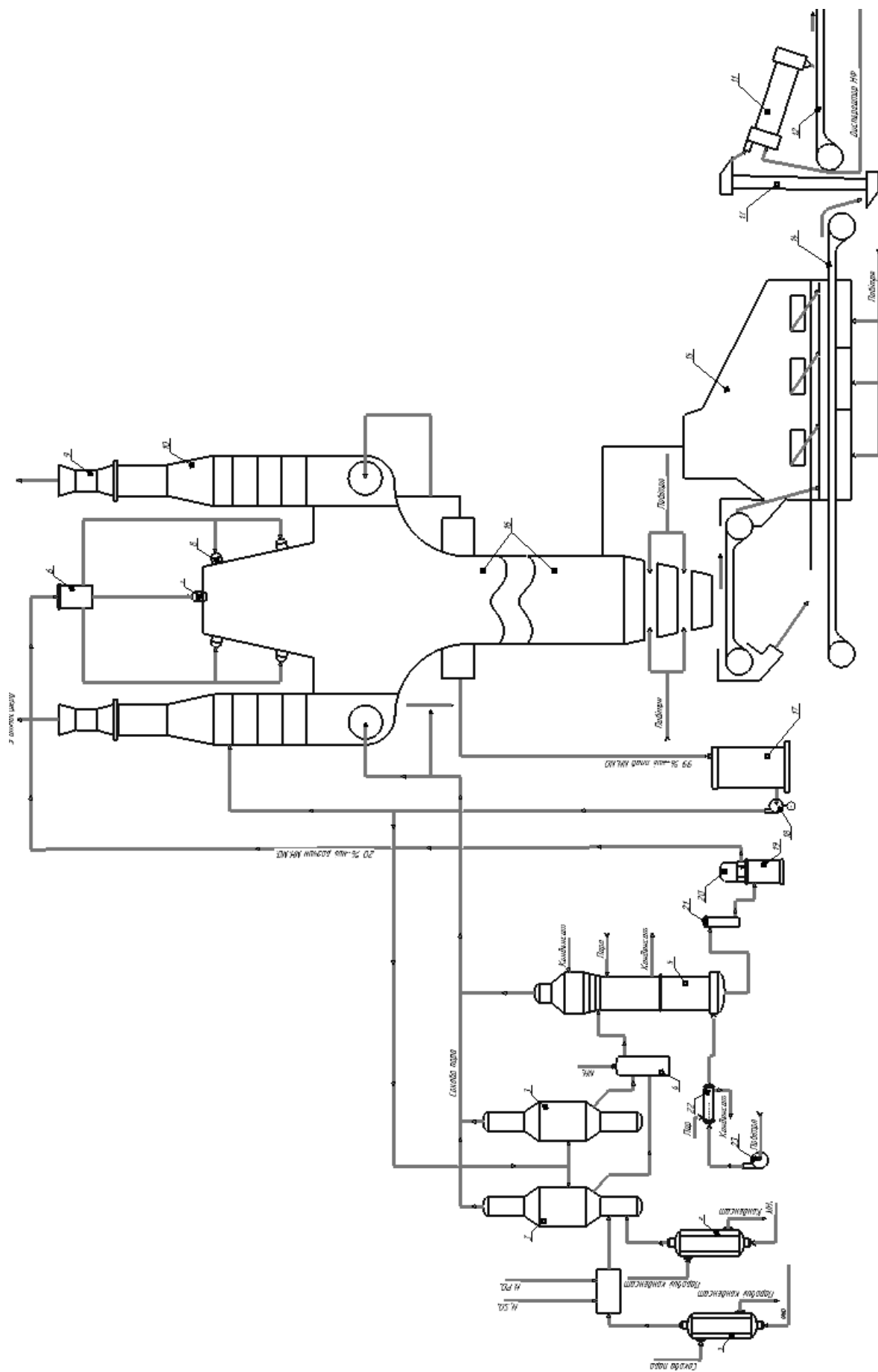


Рисунок 1.1- Схема агрегату аміачної селітри АС-72:

1-підігрівач кислоти; 2-підігрівач аміаку; 3-апарати ВТН; 4-донецитралізатор; 5 - випарний апарат; 6-напірний бак; 7, 8-гранулятори; 9, 23-вентилятори; 10-промивний скрублер; 11-барaban; 12, 14-транспортери; 13-елеватор; 15-апарат киплячого шару; 16-грануляційна вежа; 17 - збірник; 18, 20-насоси; 19-бак для плаву; 21-фільтр для плаву; 22-підігрівач повітря

Гранули аміачної селітри транспортером 14 подають на обробку поверхнево-активними речовинами в барабан 11, що обертається. Потім готове добриво транспортером 12 направляють на упаковку.

Повітря, що виходить з грануляційної вежі, забруднене частинками аміачної селітри, а сокова пара з нейтралізатора і паро-повітряна суміш з випарного апарату містять непрореагований аміак і азотну кислоту, а також частинки віднесеної аміачної селітри. Для очищення цих потоків у верхній частині грануляційної вежі розташовані шість паралельно працюючих промивних скрубєрів тарілчастого типу 10, зрошуваних 20-30%-ним розчином аміачної селітри, яка подається насосом 18 зі збірки 17. Частина цього розчину відводиться в нейтралізатор ВТН для промивання сокової пари, а потім підмішується до розчину селітри, і, отже, використовується для вироблення продукції. Очищене повітря відсмоктується з грануляційної вежі вентилятором 9 і викидається в атмосферу.

У табл.1.1 наведені пожежонебезпечні та токсичні речовини (сировина, напівпродукти, відходи), що використовуються у виробництві аміачної селітри.

Таблиця 1.1\_Пожежонебезпечні та токсичні властивості сировини, напівпродуктів, відходів

Найменування сировини, матеріалу	Фізичні властивості	Характеристика токсичності	ГДК г/м <sup>3</sup>
Аміак газоподібний	Температура самозаймання 650°C Верхня межа-28%; нижня-15%	Безбарвний важко горючий газ із різким запахом. Викликає гостре подразнення слизової оболонки, подразнення відчувається при масовій концентрації 0,1 г/м <sup>3</sup> , при 0,3-0,7 г/м <sup>3</sup> – небезпечна для здоров'я. З повітрям утворює вибухо-небезпечні суміші (належить до 4 класу)	0,02
Азотна кислота	Негорюча рідина	Безбарвна рідина з їдким запахом, отруйна, викликає сильні опіки шкіри, слизових оболонок, пари подразнюють дихальні шляхи. Належить до 3 класу безпеки. Сильний окисник.	0,002(за HNO <sub>3</sub> ) або 0,005 (за NO)

Продовження табл. 1.1

Плав аміачної селітри	Негорюча рідина	При сильному нагріванні (200 °С) у присутності домішок може статися термічне розкладання з вибухом. Належить до 4 класу небезпеки	
Диспергатор НФ	Негорюча рідина	Пари дратівливо діють на слизову оболонку ока, незахищені ділянки шкіри. Відноситься до 3 класу	0,005
Окис азоту NO	Негорючий газ	При отруєнні викликає загальну слабкість, запаморочення, нудоту, подразнення дихальних шляхів. При сильному отруєнні викликає набряк легень зі смертельними наслідками. Набряк може наступити через 10 днів після отруєння	0,005 (у перерахунку на NO <sub>2</sub> )
Двоокис азоту	Негорючий газ	Концентрація 0,2-0,3 г/м <sup>3</sup> (у перерахунку на NO) небезпечна для життя при короткочасному впливі. Належить до 3 класу.	0,005 (у перерахунку на NO <sub>2</sub> )
Тверда аміачна селітра	Негорюча речовина	При сильному нагріванні може статися теплове розкладання з вибухом. Належить до 4 класу небезпек	0,01

Таблиця 1.2\_Класифікація виробничих приміщень з вибухонебезпечності, електробезпеки та санітарних норм

Найменування відділення, цеху, установки	Категорія вибухопожежонебезпеки	Класифікація приміщень, зовнішніх установок з електроустаткування (ПВЕ-85)		Група виробничих процесів щодо санітарної характеристики за БНіП 2.09.04-87
		Клас приміщення за правилами влаштування електроустановок	Категорія та група вибухонебезпечних сумішей за правилами виготовлення вибухозахищеного обладнання	
1. Нейтралізація та упарка:	А	В-Іг		
а) етажерка	В	П-П	ПАТ1	Ш-а
б) насосна плаву				Ш-б
2. Грануляція плаву та охолодження продукту				
3. Установка обробки гранул диспергатором	В	П-П		П-г
4. Насосна	Д	Не вибухонебезпечне, не пожежонебезпечне		Ш-а

## **2 ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛЬНИХ ПОТОКІВ У ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПРОЦЕСІ, ПОБУДОВА СХЕМИ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ**

Будь-який технологічний процес виробництва характеризується рядом основних і допоміжних матеріальних і енергетичних потоків, які визначають кількісні і якісні показники технологічного процесу та відповідні показники готової продукції. Зважаючи на те, що якісні показники продукції в режимі реального часу контролювати не завжди можна, їхні значення досягаються шляхом підтримання показників матеріальних потоків і параметрів середовища обробки (реакцій) матеріалів (реагентів). Тому для наочного уявлення матеріальних, енергетичних потоків і пов'язаних з ними інформаційних потоків між складовими в агрегаті для одержання аміачної селітри має істотне значення схема матеріально- інформаційних потоків.

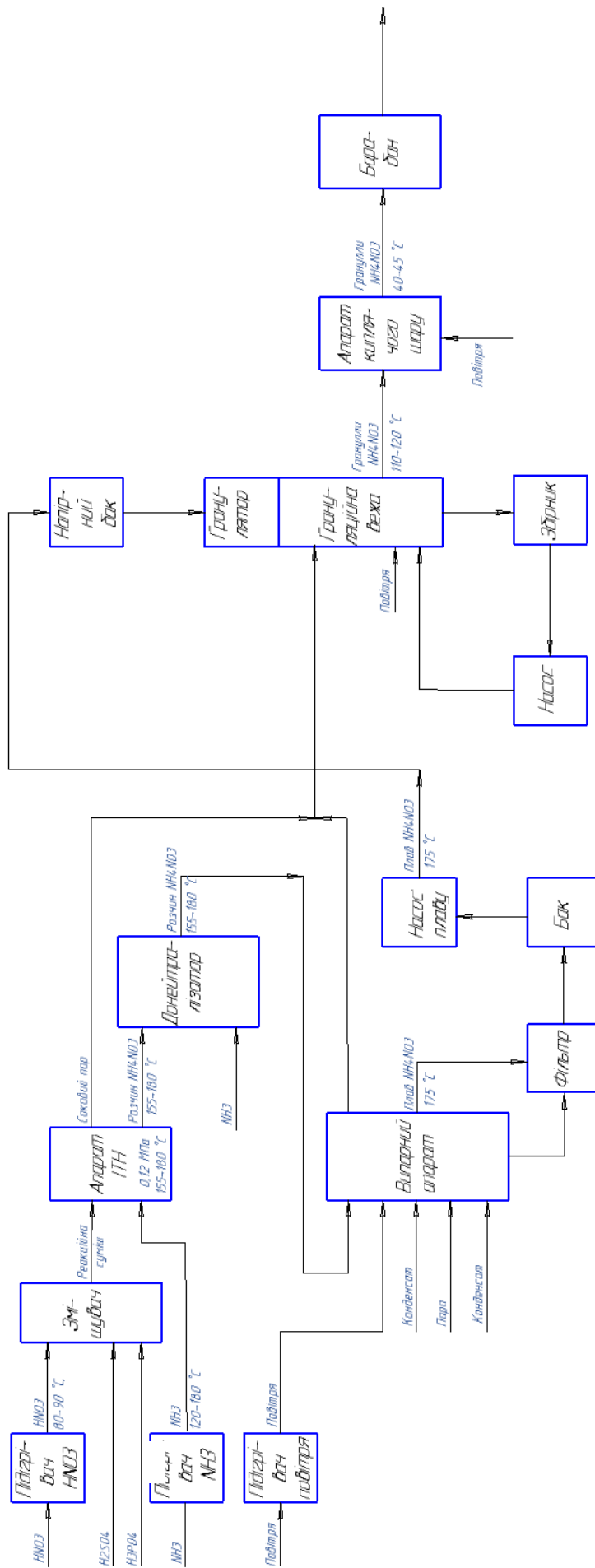


Рисунок 2.1- Схема матеріально-інформаційних потоків агрегату для одержання аміачної селітри.



### 3 ВИБІР ПАРАМЕТРІВ КОНТРОЛЮ, РЕГУЛЮВАННЯ ТА СИГНАЛІЗАЦІЇ

Система автоматичного управління забезпечує стабілізацію основних технологічних параметрів процесу та своєчасне зняття збурень, що виникають у процесі, забезпечує безпосередній вплив оператора на процес, забезпечує математичну та логічну обробку інформації за заданими алгоритмами.

При виборі регульованих величин визначаються істотні показники ефективності і їх значення при протіканні процесу, взаємозв'язок його з іншими процесами, а також аналізується можливість появи збурень в об'єкт управління. Визначаються шляхи усунення збурень або їх стабілізації.

Як об'єкт управління розглядається агрегат одержання аміачної селітри.

Контролю підлягають практично всі параметри регулювання. Контролю підлягають ті параметри, значення яких забезпечить правильний пуск, наладку, роботу, зупинку об'єкта управління (ОУ).

Контролю підлягають ті параметри, при порушенні яких в ОУ можуть надходити впливи, які можуть призвести до порушення нормального ходу технологічного процесу, виникнення браку або передаварійної і аварійної ситуації, отруєння персоналу виробничими реагентами.

Необхідно контролювати тиск  $0,18 \pm 0,25$  МПа аміаку, а також тиск  $0,8$  МПа і початкову температуру до  $197^\circ\text{C}$  гарячого парового конденсату на вході у підігрівач аміаку.

Необхідно регулювати підігрів аміаку до температури  $120 \div 130$  °С та азотної кислоти до температури  $80 \div 90$  °С за допомогою подачі теплоносія у підігрівачі кислоти 1 і підігрівачі аміаку 2.

Реакція отримання аміачної селітри - екзотермічна реакція, тому збільшення температури у зоні реакції буде негативно відобразитися на виході продукту. Максимально можливий вихід аміачної селітри при температурі  $160$  °С у реактивній зоні апарату ВТН. Цю температуру потрібно підтримувати.

На стадії нейтралізації завданням автоматичної системи регулювання процесу є підтримання співвідношення потоків аміаку та азотної кислоти в апарат ВТН; підтримання заданого  $\text{pH} = 1,5 \div 2,0$  розчину аміачної селітри в апараті ВТН; забезпечення лужної реакції розчину аміачної селітри (надлишок аміаку до  $0,1$  г/л вільного  $\text{NH}_3$ ) після донейтралізації на вході у випарний апарат.

Для системи регулювання провідними є параметри газоподібного аміаку. Щоб уникнути впливу коливань тиску аміаку у зовнішній мережі на якість регулювання процесу нейтралізації, на вході в агрегат аміачної селітри необхідно автоматично підтримувати тиск газоподібного аміаку, витрату аміаку у апарат ВТН.

Співвідношенням витрат азотної кислоти та аміаку визначається деякий надлишок кислоти, для контролю та регулювання якого на виході апарату ВТН необхідно безперервно контролювати рН розчину аміачної селітри і підтримувати заданий надлишок азотної кислоти в розчині, коригуючи подачу аміаку у ВТН у декілька відсотків від загальної витрати.

Для забезпечення максимально можливого очищення сокової пари в промивній частині апарату ВТН необхідно регулювати подачу конденсату сокової пари на верхню тарілку. Велика подача конденсату небажана, щоб уникнути розведення розчинів селітри перед їх випарюванням, а недостатня подача конденсату оголить тарілки, оскільки сокова пара перегріта.

Так як у випарний апарат не можна подавати кислі розчини аміачної селітри, надлишкова кислотність нейтралізується у донейтралізаторі 5. Подачу аміаку у нього необхідно регулювати.

Необхідно регулювати температуру до 185 °С повітря на виході підігрівача повітря і контролювати тиск 1,2–1,4 МПа насиченої водяної пари.

Необхідно регулювати температуру 175 °С плаву аміачної селітри на виході випарного апарату.

Необхідно регулювати температуру 110÷120 °С гранул селітри на виході з грануляційної вежі.

Процес одержання аміачної селітри у агрегаті аміачної селітри відноситься до вибухопожежонебезпечних і шкідливих для здоров'я персоналу. Тому необхідно контролювати значення граничних значень параметрів і блокувати (зупиняти) технологічний процес, включати аварійну сигналізацію і проводити запуск системи технологічного пожежогасіння.

Аварійна сигналізація оповіщає про неприпустимі значення параметрів процесу або про аварійні відхилення будь-якого апарату технологічної системи, служить для запобігання аваріям через відмови в системі регулювання або помилкових дій оператора.

Сигналізація положення (стану) вказує на стан об'єктів (відкриті або закриті) в даний момент. Цей вид сигналізації здійснюють за допомогою анімаційних ефектів на мнемосхемі.

Оскільки процес відноситься до вибухонебезпечних, то необхідно контролювати і сигналізувати граничне значення концентрації природного газу, монооксиду (оксиду) вуглецю і водню за допомогою світлової та звукової сигналізації за місцем і в операторній, тому що перевищення допустимого значення може призвести до виникнення аварійної ситуації.

Перелік перерахованих параметрів і функції в системі управління наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1\_ Перелік параметрів, які впливають на хід технологічного процесу

№ п.п.	Точка технологічної схеми	Параметр	Функція	Величина
1	Вхід підігрівача аміаку	Тиск аміаку	Контроль, сигналізація	0,18÷0,25 МПа
2	Вхід підігрівача аміаку	Тиск гарячого парового конденсату	Контроль, сигналізація	0,8 МПа
3	Вхід підігрівача аміаку	Температура гарячого парового конденсату	Контроль, сигналізація	до 197°C
4	Вихід підігрівача кислоти	Температура азотної кислоти	Контроль, управління	80÷90 °C
5	Вихід підігрівача аміаку	Температура аміаку	Контроль, управління	120÷130 °C
6	Реакційна зона апарату ВТН	Температура реакційної суміші	Контроль, управління	160 °C
7	Вхід в апарат ВТН	Співвідношення потоків аміаку та азотної кислот	Контроль, управління	1:1,05
8	Апарат ВТН	pH розчину аміачної селітри	Контроль, сигналізація	1,5÷2,0
9	Вихід донейтралізатора	Надлишок аміаку	Контроль, управління	0,1 г/л
10	Вихід підігрівача повітря	Температура повітря	Контроль, управління	до 185 °C
11	Вхід підігрівача повітря	Тиск насиченої водяної пари	Контроль, сигналізація	1,2–1,4 МПа
12	Вихід випарного апарату	Температура плаву аміачної селітри	Контроль, Управління, сигналізація	175 °C
13	Вихід із грануляційної вежі	Температура гранул селітри	Контроль, управління	110÷120 °C
14	Вихід із апарату киплячого шару	Температура гранул селітри	Контроль, управління	50 °C
15	Приміщення агрегату	Концентрація аміаку газоподібного	Контроль, управління, сигналізація	0,02 г/м <sup>3</sup>
16	Приміщення агрегату	Концентрація окису азоту NO	Контроль, управління, сигналізація	0,005 г/м <sup>3</sup>
17	Приміщення агрегату	Концентрація двоокису азоту NO <sub>2</sub>	Контроль, управління, сигналізація	0,005 г/м <sup>3</sup>

Структурна схема автоматизації представлена на рисунку 3.1.

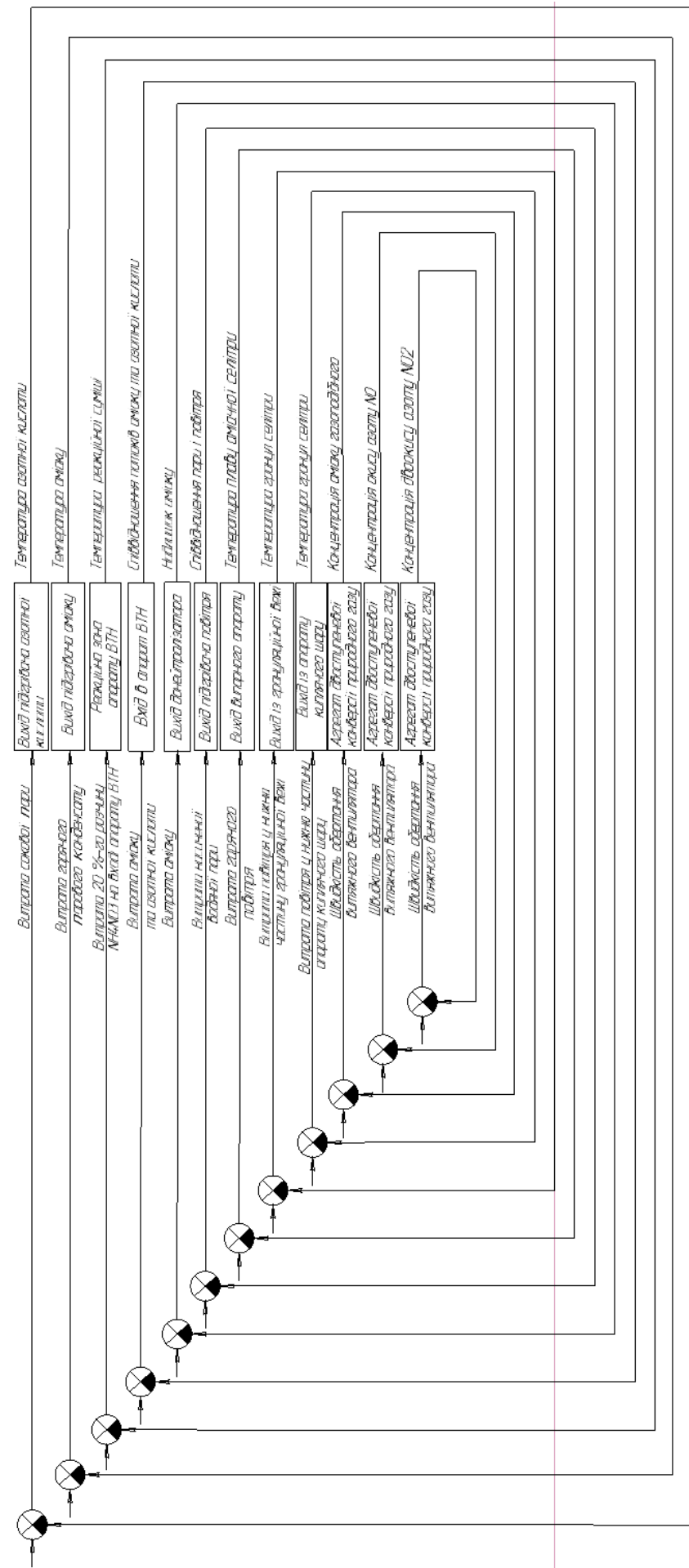


Рисунок 3.1-Структурна схема автоматизації.

## 4 ВИБІР КАНАЛІВ ВНЕСЕННЯ РЕГУЛЮЮЧИХ ДІЙ

4.1 Тиск аміаку на вході підігрівача аміаку будемо контролювати за схемою, наведеною на рис. 4.1.

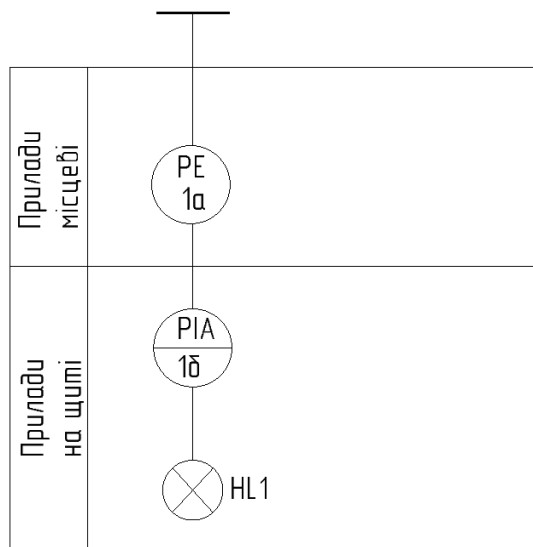


Рисунок 4.1 – Схема контролю тиску аміаку на вході підігрівача аміаку.

До складу схеми контролю температури входить датчик тиску, пристрій індикації, пристрій сигналізації.

4.2 Тиск гарячого парового конденсату на вході підігрівача аміаку будемо контролювати за схемою, наведеною на рис. 4.2.

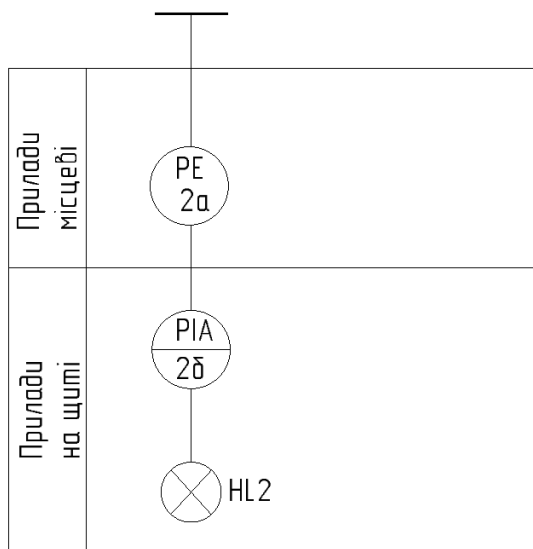


Рисунок 4.2 – Схема контролю тиску гарячого парового конденсату на вході підігрівача аміаку.

До складу схеми контролю температури входить датчик тиску, пристрій індикації, пристрій сигналізації.

4.3 Температуру гарячого парового конденсату на вході підігрівача аміаку будемо контролювати за схемою, наведеною на рис. 4.3.

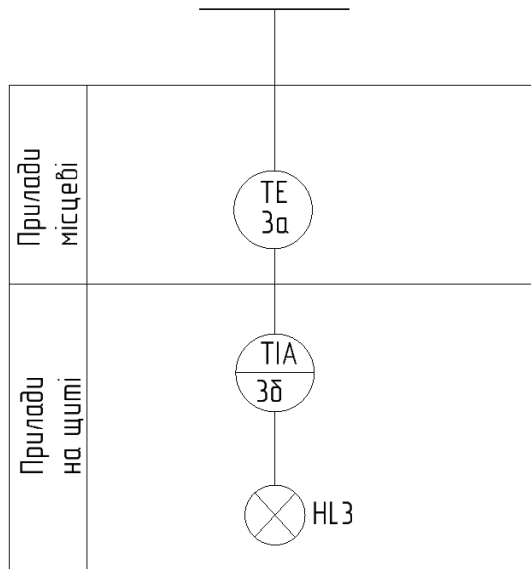


Рисунок 4.3 – Схема контролю температури гарячого парового конденсату на вході підігрівача аміаку

До складу схеми контролю температури входить датчик температури, пристрій індикації, пристрій сигналізації.

4.4 Температуру азотної кислоти на виході підігрівача азотної кислоти будемо регулювати за допомогою зміни витрати сокової пари для підігріву азотної кислоти шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі сокової пари до підігрівача азотної кислоти. Канал контролю і управління температурою азотної кислоти на виході підігрівача азотної кислоти представлений на рис. 4.4.

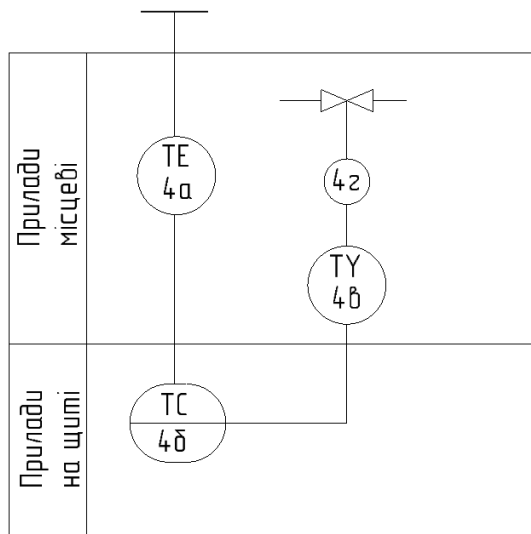


Рисунок 4.4 – Контур контролю і управління температурою азотної кислоти на виході підігрівача азотної кислоти.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, контролер - універсальний регулятор, перетворювач сигналу контролера, виконавчий механізм, виконавчий орган.

4.5 Температуру аміаку на виході підігрівача аміаку будемо регулювати за допомогою зміни витрати гарячого парового конденсату для підігріву аміаку шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі гарячого парового конденсату до підігрівача аміаку. Канал контролю і управління аміаку на виході підігрівача аміаку представлений на рис. 4.5.

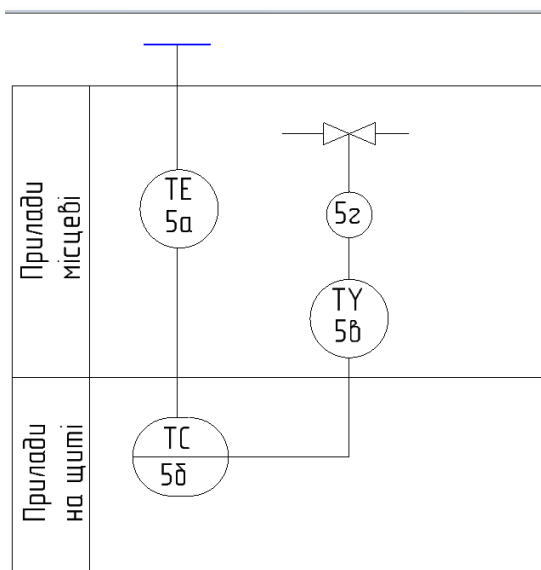


Рисунок 4.5 – Контур контролю і управління температурою аміаку на виході підігрівача аміаку.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, контролер - універсальний регулятор, перетворювач сигналу контролера, виконавчий механізм, виконавчий орган.

4.6 Температуру реакційної суміші у реакційній зоні апарату ВТН будемо регулювати за допомогою зміни витрати 20 %-го розчину  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  для стабілізації температури реакційної суміші шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі 20 %-го розчину  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  до реакційної зони апарату ВТН. Канал контролю і управління температурою реакційної суміші у реакційній зоні апарату ВТН представлений на рис. 4.6.

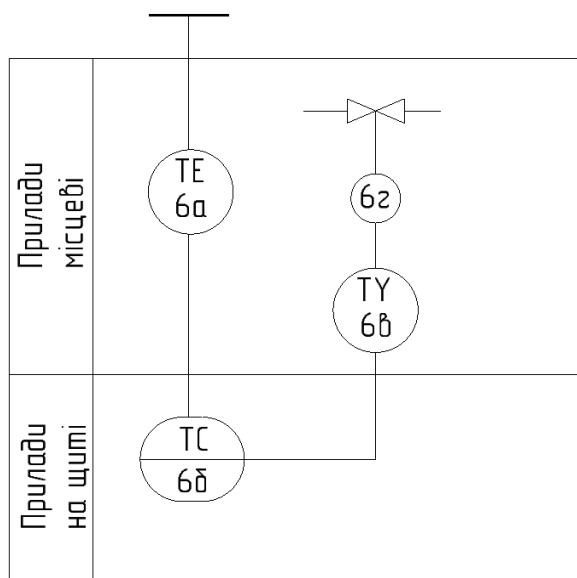


Рисунок 4.6 – Контур контролю і управління температурою реакційної суміші у реакційній зоні апарату ВТН.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, контролер - універсальний регулятор, перетворювач сигналу контролера, виконавчий механізм, виконавчий орган.

4.7 Співвідношення потоків аміаку та азотної кислоти на вході у апарат ВТН будемо регулювати за допомогою зміни витрати аміаку і азотної кислоти шляхом відкривання/закривання регулюючих клапанів на трубопроводі подачі аміаку і на трубопроводі подачі азотної кислоти на вхід апарату ВТН. Канал контролю і управління співвідношенням потоків аміаку та азотної кислоти на вході у апарат ВТН представлений на рис. 4.7.

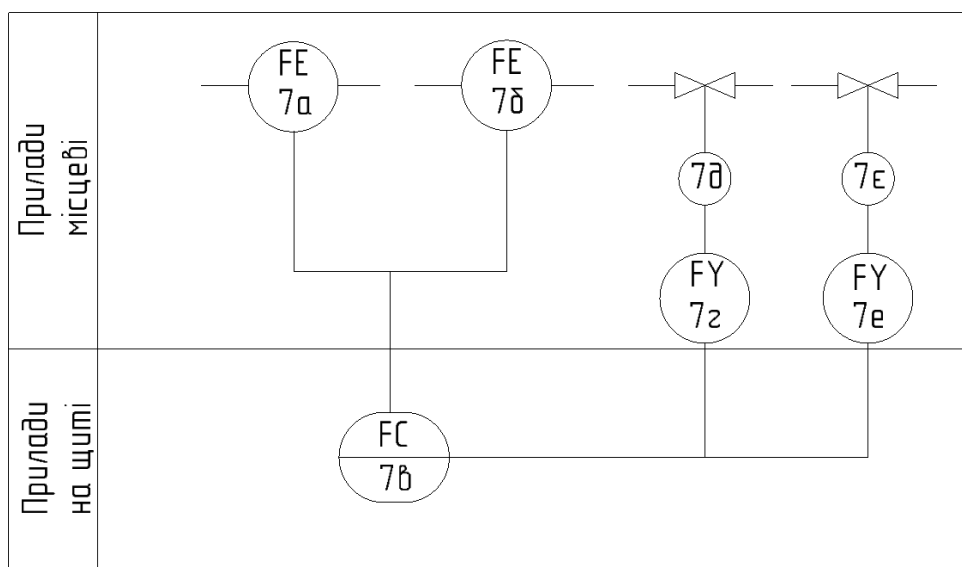


Рисунок 4.7 – Контур контролю і управління співвідношенням потоків аміаку та азотної кислоти на вході у апарат ВТН.



До складу каналу управління входять датчики витрати, перетворювач сигналів датчиків, регулятор, перетворювачі сигналів регулятора, виконавчі механізми, виконавчі органи.

4.8 рН розчину аміачної селітри у апараті ВТН будемо контролювати за схемою, наведеною на рис. 4.8.

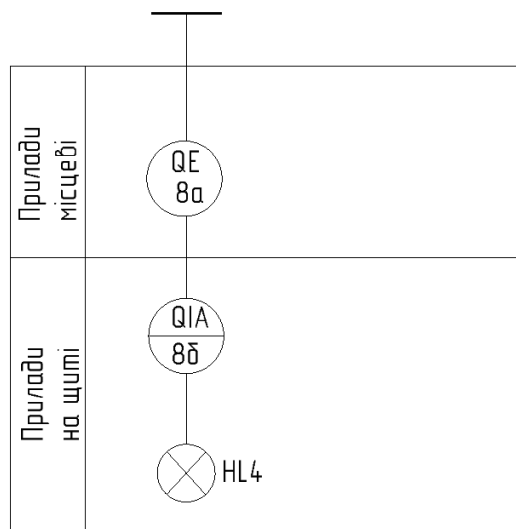


Рисунок 4.8 – Схема контролю рН розчину аміачної селітри у апараті ВТН.

До складу каналу управління входить датчик рН, пристрій індикації, пристрій сигналізації.

4.9 Надлишок аміаку на виході донейтралізатора будемо регулювати за допомогою зміни витрати аміаку шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі аміаку на вхід донейтралізатора. Канал контролю і управління надлишком аміаку на виході донейтралізатора представлений на рис. 4.9.

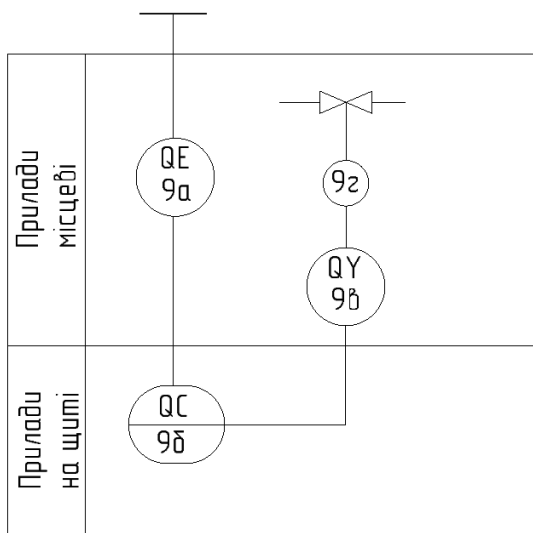


Рисунок 4.9 – Контур контролю і управління надлишком аміаку на виході донейтралізатора.

До складу каналу управління входить датчик концентрації, перетворювач сигналу датчика, контролер - універсальний регулятор, перетворювач сигналу контролера, виконавчий механізм, виконавчий орган.

4.10 Температуру повітря на виході підігрівача повітря будемо регулювати за допомогою зміни витрати насиченої водяної пари шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі насиченої водяної пари на вході підігрівача повітря. Канал контролю і управління температурою повітря на виході підігрівача повітря представлений на рис. 4.10.

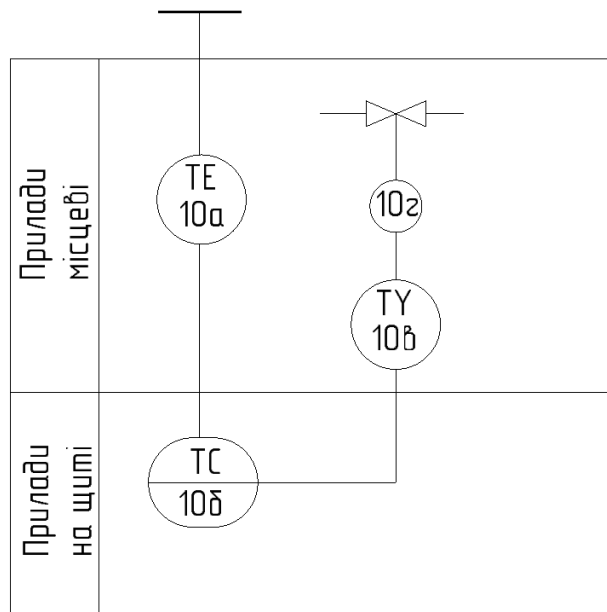


Рисунок 4.10 – Контур контролю і управління температурою повітря на виході підігрівача повітря.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, контролер - універсальний регулятор, перетворювач сигналу контролера, виконавчий механізм, виконавчий орган.

4.11 Тиск насиченої водяної пари на вході підігрівача повітря будемо контролювати за схемою, наведеною на рис. 4.11.

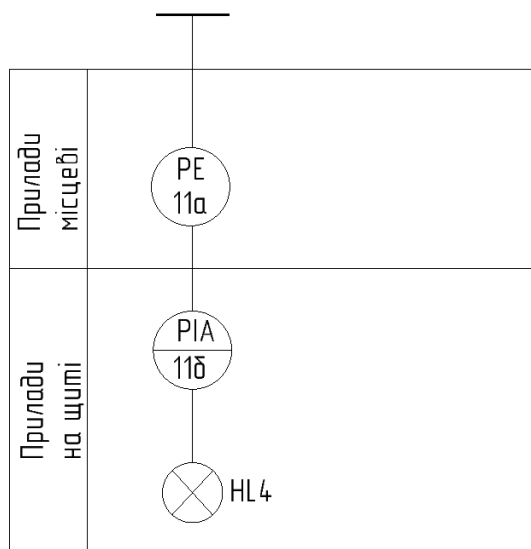


Рисунок 4.11 – Схема контролю тиску насиченої водяної пари на вході підігрівача повітря.

До складу схеми контролю температури входить датчик тиску, пристрій індикації, пристрій сигналізації.

3.12 Температуру плаву аміачної селітри на виході випарного апарату будемо регулювати за допомогою зміни витрати гарячого повітря шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі гарячого повітря на вхід випарного апарату. Канал контролю і управління температурою плаву аміачної селітри на виході випарного апарату представлений на рис. 4.12.

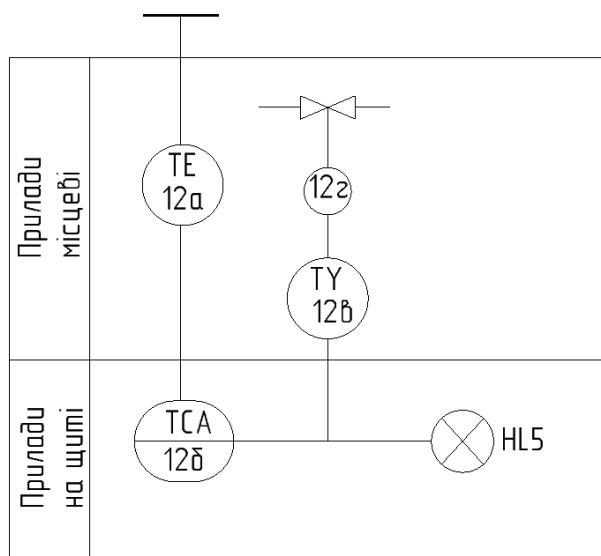


Рисунок 4.12 – Контур контролю і управління температурою плаву аміачної селітри на виході випарного апарату.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, контролер - універсальний регулятор, перетворювач сигналу контролера, виконавчий механізм, виконавчий орган, пристрій сигналізації.

4.13 Температуру гранул селітри на виході із грануляційної вежі будемо регулювати за допомогою зміни витрати повітря шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на повітропроводі нагнітання повітря у нижню частину грануляційної вежі. Канал контролю і управління температурою гранул селітри на виході із грануляційної вежі представлений на рис. 4.13.

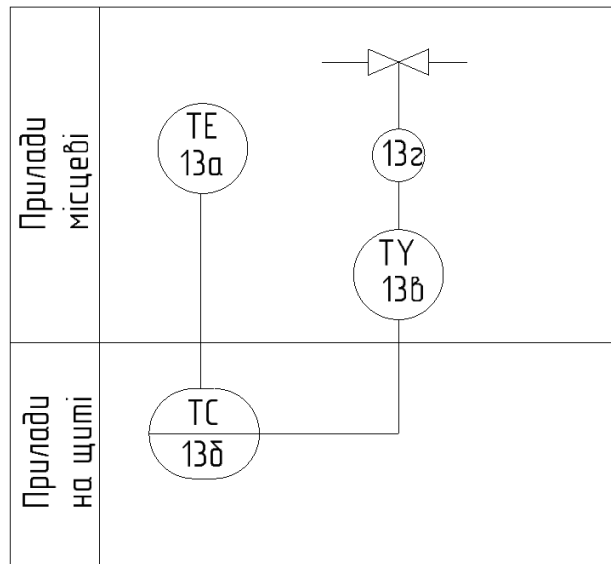


Рисунок 4.13 – Контур контролю і управління температурою гранул селітри на виході із грануляційної вежі.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, контролер - універсальний регулятор, перетворювач сигналу контролера, виконавчий механізм, виконавчий орган.

4.14 Температуру гранул селітри на виході із апарату киплячого шару будемо регулювати за допомогою зміни витрати повітря шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на повітропроводі нагнітання повітря у нижню частину апарату киплячого шару. Канал контролю і управління температурою гранул селітри на виході із апарату киплячого шару представлений на рис. 4.14.

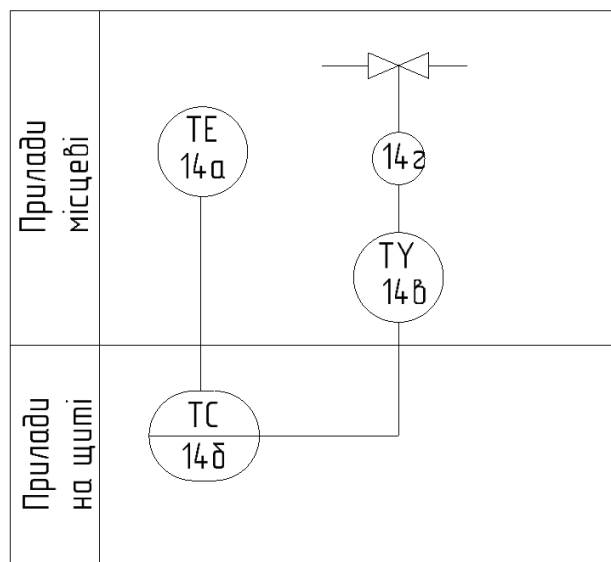


Рисунок 4.14 – Контур контролю і управління температурою гранул селітри на виході із апарату киплячого шару.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, контролер - універсальний регулятор, перетворювач сигналу контролера, виконавчий механізм, виконавчий орган.

4.15 Концентрацію аміаку газоподібного у повітрі агрегату аміачної селітри будемо регулювати за допомогою зміни обсягу повітря витяжної вентиляції шляхом збільшення обертів привідного двигуна витяжного вентилятора. Канал контролю і управління концентрацією аміаку газоподібного у повітрі агрегату аміачної селітри представлений на рис. 4.15.

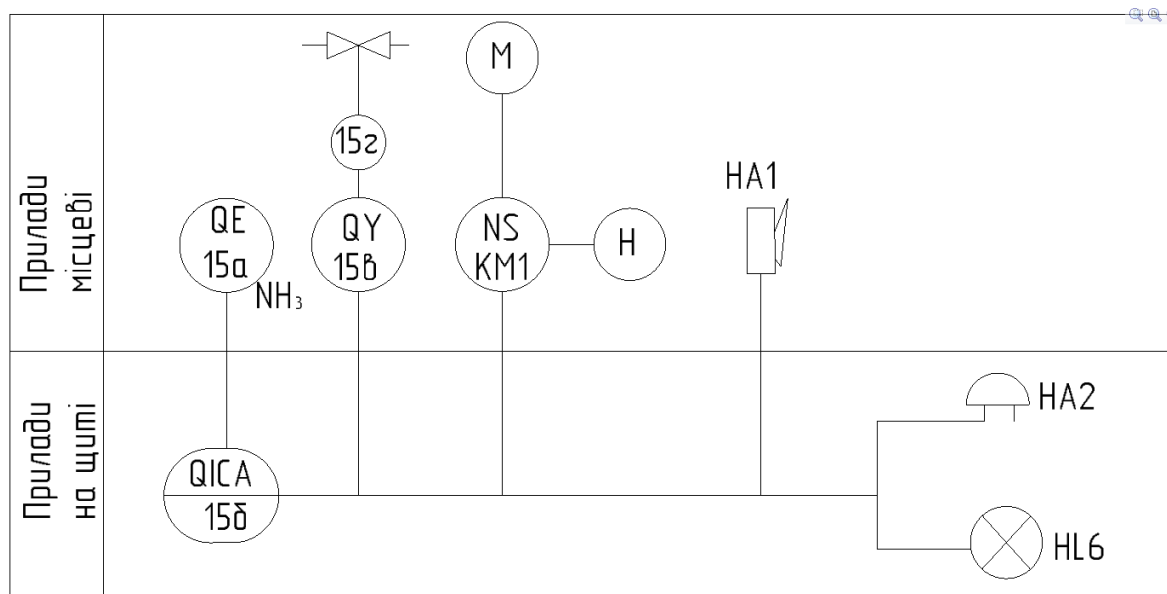


Рисунок 4.15 – Контур контролю і управління концентрацією аміаку газоподібного у повітрі агрегату аміачної селітри.

До складу каналу управління входить датчик концентрації аміаку газоподібного, перетворювач сигналу датчика, контролер - універсальний регулятор, перетворювач сигналу контролера, виконавчий механізм, виконавчий орган і обладнання для управління швидкістю обертання витяжного вентилятора, пристрої сигналізації.

4.16 Концентрацію окису азоту NO у повітрі агрегату аміачної селітри будемо регулювати за допомогою зміни обсягу повітря витяжної вентиляції шляхом збільшення обертів привідного двигуна витяжного вентилятора. Канал контролю і управління концентрацією окису азоту NO у повітрі агрегату аміачної селітри представлений на рис. 4.16.

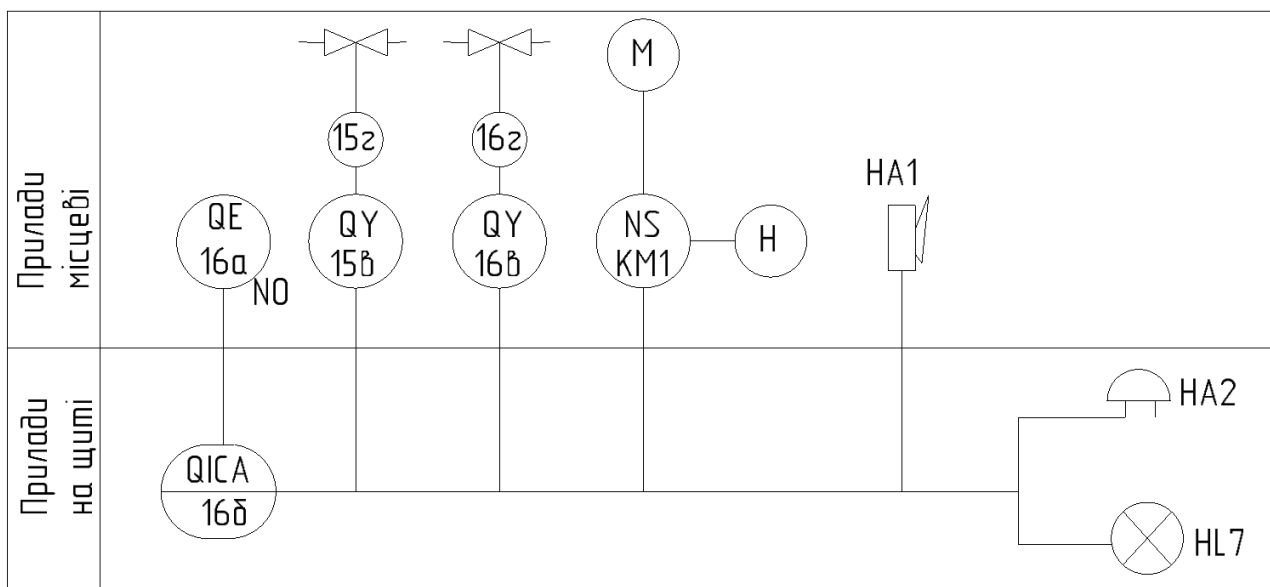


Рисунок 4.16 – Контур контролю і управління концентрацією окису азоту NO у повітрі агрегату аміачної селітри.

До складу каналу управління входить датчик концентрації окису азоту NO, перетворювач сигналу датчика, контролер - універсальний регулятор, перетворювач сигналу контролера, виконавчий механізм, виконавчий орган і обладнання для управління швидкістю обертання витяжного вентилятора, пристрої сигналізації.

4.17 Концентрацію двоокису азоту NO<sub>2</sub> у повітрі агрегату аміачної селітри будемо регулювати за допомогою зміни обсягу повітря витяжної вентиляції шляхом збільшення обертів привідного двигуна витяжного вентилятора. Канал контролю і управління концентрацією двоокису азоту NO<sub>2</sub> у повітрі агрегату аміачної селітри представлений на рис. 4.17.

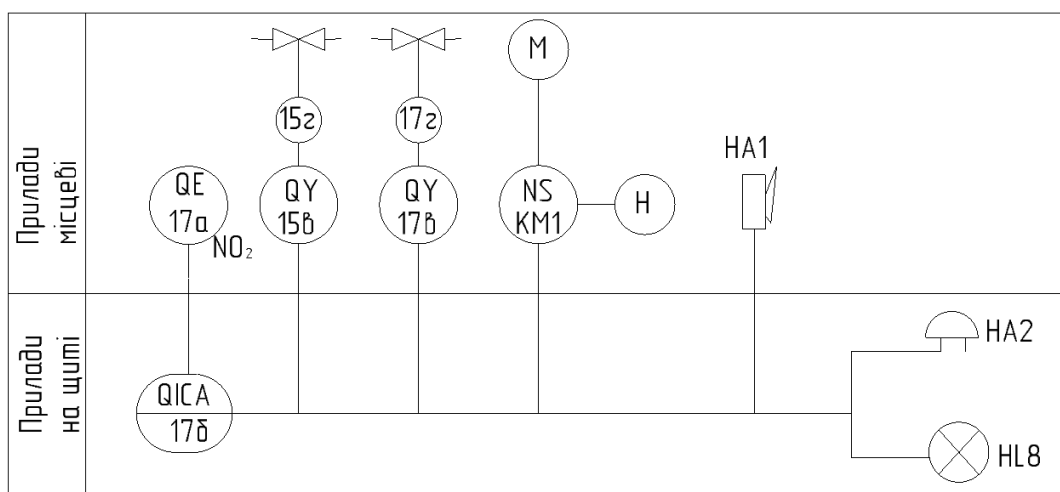


Рисунок 4.17 – Контур контролю і управління концентрацією двоокису азоту NO<sub>2</sub> у повітрі агрегату аміачної селітри.

До складу каналу управління входить датчик концентрації двоокису азоту NO<sub>2</sub>, перетворювач сигналу датчика, контролер - універсальний регулятор, перетворювач сигналу

контролера, виконавчий механізм, виконавчий орган і обладнання для управління компресором і швидкістю обертання витяжного вентилятора, пристрої сигналізації.

## 5 ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

### 5.1 Вибір датчиків

Для вимірювання параметрів технологічного процесу потрібно вибрати датчики, що відповідають необхідним межах вимірювань, точності, умовам застосування.

#### 5.1.1 Вибір датчиків тиску

##### 5.1.1.1 Датчик тиску у каналі контролю тиску аміаку на вході підігрівача аміаку

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до +50 °С;
- тиск 0...0,18±0,25 МПа;
- пожежо- вибухонебезпечне середовище;
- хімічно агресивне середовище;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо перетворювач тиску датчик тиску Danfoss MBS 1700[9], який застосовується у промисловості як пристрій промислової автоматики.

Конструктивно датчики тиску Danfoss MBS 1700 з циліндричним корпусом із неіржавіючої сталі (кислотостійка неіржавіюча загальнопромислова хром-нікель-молібденова сталь (стандарт AISI 316L)) з вбудованим мікропроцесорним модулем. Торцева частина з різьбовим штуцером і камерою первинного тензорезистивного сенсора тиску приварена до корпусу, з іншого боку корпусу знаходиться штекерне з'єднання відповідно до DIN 43650А з герметичним кабелем Pg 9. Ступінь захисту від факторів атмосферного впливу – IP65.

Сенсори датчиків тиску Danfoss MBS 1700 мають лазерне калібрування точності, компенсацію нелінійності вимірювання, температурну компенсацію та захист від завад, що відповідає EU нормам електромагнітної сумісності. Стабільність калібрування та точність вимірювання датчики тиску MBS 1700 Данфосс підтримується незмінною протягом усього рекомендованого виробником терміну служби.

Принцип дії ґрунтується на тисненні рідини (або газу) на мембрану первинного сенсора тиску. Рідина (або газ), що надходить у первинну камеру, деформує тиском мембрану. Деформуючий вплив тиску змінює опір напівпровідникових елементів (тензорезисторів) у ланцюзі дільника напруги, що призводить до зміни напруги на виході з первинного перетворювача. Мікропроцесор перетворює сигнал напруги від первинного перетворювача у



вихідний сигнал струму в діапазоні 4-20 мА. Вихідний струм знаходиться у пропорційній залежності від величини тиску.

Зовнішній вигляд датчиків тиску Danfoss MBS 1700 наведений на рис. 5.1.



Рисунок 5.1-Зовнішній вигляд датчика тиску Danfoss MBS 1700

Технічні характеристики датчика тиску Danfoss MBS 1700 наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1\_ Технічні характеристики датчика тиску Danfoss MBS 1700

Назва характеристики	Характеристика
Робоче середовище	Повітря, газу, рідини (в т.ч. оливи)
Тип тиску, що вимірюється	Абсолютний
Межі вимірюваного тиску, бар	0-6, 0-10, 0-16, 0-25
Діапазон допустимих температур робочого середовища, °C	від -40 до 85
Діапазон допустимих температур при транспортуванні та зберіганні, °C	від -50 до 85
Діапазон компенсованих температур, °C	від 0 до 80
Межа основної наведеної похибки	$\leq \pm 0,5$ ; 1 діапазону вимірів
Додаткова похибка на зміну температури навколишнього повітря поза діапазоном компенсованих температур	$\pm 0,2\%$ діапазону вимірювань/ $10^{\circ}\text{C}$
Час реакції, мс	$< 4$
Гранично тиск перевантаження (статичний)	6-кратний діапазон вимірювань, але не більше 1500 бар
Тиск розриву чутливого елемента	$> 6$ -кратний діапазон вимірювань, але не більше 2000 бар
Технологічне з'єднання	зовнішня різьба G1/4" або G 1/2"
Матеріал частин, що контактує з середовищем	неіржавіюча сталь AISI 316L
Корпус	неіржавіюча сталь AISI 316L, клас захисту IP 65

Продовження таблиці 5.1

Вібростійкість	синусоїдальна дія	5-25 Гц амплітудою 15,9 mm-pp, 25-2000 Гц із прискоренням 20g
	випадкова дія	5-1000 Гц з прискоренням 7,5 g
Стійкість до ударів		удар 500g протягом 1 мс to ІЕС 60068-2-27
Вага, кг		0,25
Вихідний сигнал		4-20 mA (стандартно)
Захист від неправильного включення полярності		є
Напруга живлення Uжив, В		28
Опір навантаження, Ом		$RL \leq (U_{жив} - 9) / 0,02$
Електричне з'єднання		стандартно штекер DIN 43650
Вплив зміни Uжив на точність		$\leq \pm 0,05\%$ діапазону вимірювань/ 10В

**5.1.1.2 Датчик тиску у каналі контролю тиску гарячого парового конденсату на вході підігрівача аміаку**

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 200 °С;
- тиск 0...0,8 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо перетворювач тиску для високотемпературних середовищ: до +300 °С - 35Х НТС[10].

Зовнішній вигляд перетворювача тиску для високотемпературних середовищ 35Х НТС наведений на рис. 5.2.



Рисунок 5.2 - Зовнішній вигляд перетворювача тиску для високотемпературних середовищ 35Х НТС

Пьезорезистивний високотемпературний датчик тиску 35X НТС може працювати з температурами до 300°C. Тиск впливає на плоску мембрану і далі передається через капіляр, заповнений маслом, на кремнієвий чутливий елемент. Капіляр виконаний у вигляді спіралі та виконує функцію радіатора. Коли середовище, що вимірюється, потрапляє на мембрану з температурою 300°C, температура чутливого елемента збільшується тільки до 100°C. Вбудована електроніка дозволяє отримати посилений вихідний сигнал струму або напруги пропорційно тиску. Для вкрай агресивних середовищ KELLER пропонує різні матеріали виконання мембрани.

Цифровий вихідний сигнал перетворювачів.

Основою даного перетворювача є стабільний п'єзорезистивний сенсор із найновішим мікропроцесором XEMICS з інтегрованим 16 bit A/D конвертером. Температурні коливання та нелінійність сенсора компенсуються математичними алгоритмами. За допомогою програми READ30 та кабелю KELLER cable K-107 перетворювач тиску може бути підключений до ноутбука або комп'ютера. Програма READ30 також дозволяє зчитувати дані та графічно відображати їх на РС. До 128 перетворювачів можуть бути з'єднання в єдину Bus-систему.

Аналоговий вихідний сигнал перетворювачів.

Інтегрований процесор XEMICS може працювати як цифро/аналоговий перетворювач D/A, 16 біт для вихідних сигналів 4-20 мА або 0-10 В. Частота сигналу становить 400 Гц. Для всіх аналогових перетворювачів тиску доступний цифровий вихідний сигнал.

Програмування.

За допомогою програми KELLER READ30, програми PROG 30, RS485-конвертора (наприклад K102 або K107) та ПК можна відображати тиск, змінювати одиниці вимірювання, підлаштовувати нуль. Також можна налаштувати будь-які значення в межах вимірюваного діапазону аналогових вихідних сигналів.

Датчики за замовчуванням мають цифровий вихід RS485, але можуть бути також оснащені аналоговим виходом на вибір: 4...20 мА або 0...10 В. Через цифровий вихід з датчика на додаток до сигналу тиску можна знімати сигнал за температурою на сенсорі, що може бути корисно для статичних процесів.

Опції:

Релейний вихід, програмований.

Спеціальні обчислення тиску та температури.

Різні матеріали корпусу, наповнення оливою, приєднання.

### **5.1.1.3 Датчик тиску у каналі контролю тиску насиченої водяної пари на вході підігрівача повітря**

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до +200 °С;
- тиск 0...2,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

Враховуючи принцип однотипності обладнання, у каналі застосуємо перетворювач тиску для високотемпературних середовищ: до +300 °С - 35Х НТС, такий самий, як і у попередньому каналі, оскільки він повністю задовольняє всі вимоги.

## **5.1.2 Вибір датчиків температури**

### **5.1.2.1 Датчик температури у каналі контролю температури гарячого парового конденсату на вході підігрівача аміаку**

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 200 °С;
- тиск 0...0,8 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо термоперетворювач Метран-2700[11] з первинним перетворювачем типу ТСП з НСХ 100П з уніфікованим вихідним сигналом – мікропроцесорний термоперетворювач з уніфікованим вихідним сигналом 4...20 або 20...4 мА, призначений для вимірювання температури різних середовищ у газовій, нафтовій, вугільній, енергетичній, металургійній, хімічній, нафтохімічній, машинобудівній, металообробній, приладобудівній, харчовій, деревообробній та інших галузях промисловості, а також у сфері ЖКГ та енергозбереження.

Він має такі особливості:

- вихідний сигнал 4...20 мА із можливістю конфігурування вимірювального перетворювача;
- міжповірочний інтервал 5 років для ТП з НСХ 50М, 100М, 100П, Pt100 і 4 роки для ТП з НСХ К, N;
- вібростійкість G1 опціонально;
- жароміцну та корозійностійку захисну арматуру;
- вибухозахисне виконання Exd або Exia;
- гальванічна розв'язка входу від виходу;

- самодіагностика технічного стану;
- підвищений захист від електромагнітних перешкод;
- підвищена вібростійкість;
- можливість виносного монтажу вимірювального перетворювача на DIN рейці.

Зовнішній вигляд термоперетворювача з уніфікованим вихідним сигналом Метран-2700 наведений на рис. 5.3.



Рисунок 5.3 - Зовнішній вигляд термоперетворювача з уніфікованим вихідним сигналом Метран-2700.

Первинний перетворювач Метран-2700 поміщений у захисну арматуру, вимірювальний перетворювач (ВП) Метран-270М вбудований у сполучну головку або розташований на DIN рейці.

Сполучна головка має внутрішній та зовнішній гвинти заземлення.

У ВП Метран 270М реалізована гальванічна розв'язка входу від виходу.

Типи первинних перетворювачів, що застосовуються:

- перетворювачі термоелектричні ТХА (НСХ: К), ТНН (НСХ: N);
- термометри опору мідні ПВМ (НСХ: 50М, 100М);
- термометри опору платинові ТСП (НСХ: 100П, Pt100).

Чутливий елемент (ЧЕ) перетворювачів термоелектричний, виготовлений з термопарного кабелю як кабельної вставки. У разі використання перетворювачів термоелектричних як первинних перетворювачів в Метран-270М виконується автоматична компенсація зміни термо-ЕРС при зміні температури холодного спаю.

Конструктивні виконання чутливих елементів первинних перетворювачів:

- з монтажною платою стандарту DIN (тільки для ТП з ПП конструктивних виконань груп А, С та НСХ К, N, Pt100 (з кабельною конструкцією ЧЕ), сполучною головою з кодом А1 або С1);
- без монтажною плати стандарту DIN.

Налаштування та керування термоперетворювачем Метран-2700 здійснюються за допомогою ПК за допомогою HART-модему та програми Prog-Master. HART-модем забезпечує з'єднання Метран-2700 з ПК за інтерфейсом стандарту USB.

Програма Prog-Master призначена для конфігурування та налаштування термоперетворювачів Метран-2700.

Можливості конфігурування:

- типу ПП;
- переналаштування діапазону вимірювань температури з мінімальним піддіапазоном вимірів: 10°C для Метран-2700 з НСХ ПП: 100П, Pt100, 50М, 100М; 25°C для Метран-2700 з НСХ ПП: К, N;
- рівня аварійного сигналу (високий/низький);
- виду вихідного сигналу (4...20, 20...4 мА);
- часу демпфування (від 0 до 32 с);
- одиниць виміру температури;
- встановлення електронного фільтра для фільтрування завад мережі змінного струму із частотою 50 Гц.

Самодіагностика:

- первинного перетворювача (виявлення обриву або короткого замикання);
- режиму роботи ПП Метран) 270М.

При виявленні несправностей під час самодіагностики ВП Метран-270М вихідний аналоговий сигнал переводиться в стан, що відповідає обраному рівню сигналу тривоги:

- низький рівень:  $3,20 \text{ мА} < I_H \leq 3,75 \text{ мА}$ ;
- високий рівень:  $21 \text{ мА} < I_B \leq 23 \text{ мА}$ .

При виході температури ПП за межі діапазону вимірювань Метран-2700 переходить у режим насичення:

- низький рівень:  $(I_N + 0,05) \text{ ма} < I_{НН} \leq 3,9 \text{ мА}$ ;
- високий рівень:  $20,50 \text{ мА} < I_{ВН} \leq (I_B - 0,05) \text{ мА}$ .

Діапазони уніфікованих вихідних сигналів, номінальні статичні характеристики (НСХ) первинного перетворювача, тип ПП, діапазони перетворюваних температур і межі основної приведені допустимої похибки вказані у табл. 5.2.

Таблиця 5.2\_Характеристики термоперетворювача з уніфікованим вихідним сигналом Метран-2700

Тип ПП	НСХ	Вихідний сигнал, мА	Діапазони перетворюваних температур, °С	Межі основної приведені допустимої похибки	
				±, %	±, % не менше, ±°С
ТХА	К	4...20, 20...4	-40...1000	0,25; 0,50	1,0
ТНН	N		-40...1100 -40...1200		

Продовження таблиці 5.2

ТСП	Pt100 Pt100(MIC)	-50...200	0,15; 0,25	0,4
		-50...500		
		-50...600		
ТСП	100П	50...200	0,15; 0,25	0,4
		-50...500		
ТСМ	50М, 100М	-50...180	0,15; 0,25	0,5

#### **5.1.2.2 Датчик температури у каналі контролю і управління температурою азотної кислоти на виході підігрівача кислоти**

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 80÷90 °С;
- тиск 0...1,0 МПа;

У каналі застосуємо термоперетворювач Метран-2700 з первинним перетворювачем типу ТСМ з НСХ 100М з уніфікованим вихідним сигналом 4...20 мА як такий, що повністю задовольняє вимогам робочого середовища вимірювання.

#### **5.1.2.3 Датчик температури у каналі контролю і управління температурою аміаку на виході підігрівача аміаку**

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 120÷130 °С;
- тиск 0...0,18÷0,25 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо термоперетворювач Метран-2700 з первинним перетворювачем типу ТСМ з НСХ 100М з уніфікованим вихідним сигналом 4...20 як такий, що повністю задовольняє вимогам робочого середовища вимірювання.

#### **5.1.2.4 Датчик температури у каналі контролю і управління температурою реакційної суміші у реакційній зоні апарату ВТН**

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 160 °С;
- тиск 0...0,8 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо термоперетворювач Метран-2700 з первинним перетворювачем типу ТСП з НСХ 100П з уніфікованим вихідним сигналом 4...20 або 20...4 мА як такий, що повністю задовольняє вимогам робочого середовища вимірювання.

#### **5.1.2.5 Датчик температури у каналі контролю і управління температурою повітря на виході підігрівача повітря**

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 185°C;
- тиск 0...1,2–1,4 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо термоперетворювач Метран-2700 з первинним перетворювачем типу ТСП з НСХ 100П з уніфікованим вихідним сигналом 4...20 або 20...4 мА як такий, що повністю задовольняє вимогам робочого середовища вимірювання.

#### **5.1.2.6 Датчик температури у каналі контролю і управління температурою плаву аміачної селітри на виході випарного апарату**

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 175 °С;
- тиск 0...0,8 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо термоперетворювач Метран-2700 з первинним перетворювачем типу ТСП з НСХ 100П з уніфікованим вихідним сигналом 4...20 або 20...4 мА як такий, що повністю задовольняє вимогам робочого середовища вимірювання.

#### **5.1.2.7 Датчик температури у каналі контролю і управління температурою гранул селітри на виході із грануляційної вежі**

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 110÷120 °С;
- тиск 0...0,8 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо термоперетворювач Метран-2700 з первинним перетворювачем типу ТСМ з НСХ 100М з уніфікованим вихідним сигналом 4...20 мА як такий, що повністю задовольняє вимогам робочого середовища вимірювання.



### **5.1.2.8 Датчик температури у каналі контролю і управління температурою гранул селітри на виході із апарату киплячого шару**

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 50 °С;
- тиск 0...0,8 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-I і В-Ia.

У каналі застосуємо термоперетворювач Метран-2700 з первинним перетворювачем типу ТСМ з НСХ 100М з уніфікованим вихідним сигналом 4...20 мА як такий, що повністю задовольняє вимогам робочого середовища вимірювання.

### **5.1.3 Вибір датчиків витрати**

#### **5.1.3.1 Датчик витрати аміаку у каналі контролю і управління співвідношенням потоків аміаку та азотної кислоти на вході у апарат ВТН**

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 80÷90 °С;
- тиск 0...0,18÷0,25 МПа;
- витрата 0...100,0 м<sup>3</sup>/год.;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-I і В-Ia.

У каналі застосуємо вихровий витратомір Sitrans FX300[12].

Прилад призначений для роботи в наступних галузях: хімія, енергетика, харчові виробництва, фармацевтика, нафто- та газопереробка.

Використовує у своїй роботі вихровий принцип виміру. При цьому вимірюється частота появи вихорів, що утворюються під час проходження робочого середовища навколо тіла обтікання. Вихори створюють тиск на спеціальному чутливому крилі, рухи якого прямо пропорційні витраті. Установлений на крилі п'єзоелектричний кварцовий чутливий елемент точно вловлює ці коливання та передає результати аналізу електронної частини приладу Sitrans FX300.

Вихровий витратомір SITRANS FX300 призначений для вимірювання об'ємної та масової витрати пари, газу, провідних та не провідних рідин за допомогою одного пристрою з можливістю компенсації за температурою та тиском.

Основні переваги приладу включають:

- 2-х провідну схему підключення;
- вимірювання як об'ємної, так і масової витрати пари, газу та рідин, що проводять і не проводять;

- інтегрований датчик температури;
- інтегрований датчик тиску (опціонально);
- можливість виконання приладу із двома перетворювачами.

Зовнішній вигляд вихрового витратоміра SITRANS FX300 наведений на рис.5.4.



Рисунок 5.4 - Зовнішній вигляд вихрового витратоміра SITRANS FX300.

Технічні характеристики витратоміра SITRANS FX300 наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3\_Характеристики витратоміра SITRANS FX300.

Принцип дії	Вихровий слід фон Кармана: завихріння, що чергуються, формуються за об'єктом, що знаходиться в потоці. Частота завихрільних пропорційна витраті.
Вимірюване середовище	Пар, рідини, газу
Температура вимірюваного середовища	-40...+240 °С
Температура навколишнього середовища	-40...+85 °С / -40...+65 °С для Ex версії
Точність вимірювання	± 0,75 % рідини, ± 1 % пар та рідини (для Re > 20 000)
Матеріал приладу	Сенсор: 1.4404(316L)/1.4435(316L); корпус: алюміній
Матеріал ущільнень	FPM (Вітон) для пари та неагр. газів; FFKM (Kalrez) для хлору та агр. газів
Вихідний сигнал	4...20 мА, ізольований, пасивний; релейний; імпульсний транзисторний (10мА/30В)
Живлення	14...36 В пост. струму / 14 ... 30 В пост. струму для Ex версії

### 5.1.3.2 Датчик витрати азотної кислоти у каналі контролю і управління співвідношенням потоків аміаку та азотної кислоти на вході у апарат ВТН

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до  $120 \div 130$  °С;
- тиск  $0 \dots 5,0$  МПа;
- витрата  $0 \dots 105,0$  м<sup>3</sup>/год.;

– навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо електромагнітний витратомір ETATRON D.S.[13] Використовується у технологічних процесів на виробництвах та водоканалах для вимірювання витрати рідин та стічних вод. На виході електромагнітного витратоміра виводиться цифровий та аналоговий сигнали вимірювання. Електромагнітний витратомір для вимірювання будь-яких типів рідин з провідністю вище 5 мкСм/см, нечутливий до зміни температури, тиску, щільності і в'язкості рідини.

Зовнішній вигляд електромагнітного витратоміра ETATRON D.S. наведений на рис. 5.5.



Рисунок 5.5 - Зовнішній вигляд електромагнітного витратоміра ETATRON D.S.

Характеристики електромагнітного витратоміра ETATRON D.S.

- Вимірювальна труба з номінальним діаметром від 15 до 600 мм.
- Діапазон вимірювання:  $0 \div 10$  м/с.
- Точність:  $\pm 0,2\%$  від виміряного значення зі швидкістю рідини  $> 0,2$  м/с.
- Матеріали: Внутрішня трубка: нержавіюча сталь AISI 304. З'єднувальний фланець: вуглецева сталь. Внутрішня підкладка з ПТФЕ, діаметр  $> DN 100$  у харчовому ебоніті. Електроди: Hastelloy C (титан, тантал або платина за запитом).

- Захист корпусу: IP67 (компактний) - (за запитом IP68 - лише для віддалених версій датчика).

- Електронний перетворювач (окрема версія за запитом).

- Електронний перетворювач, виготовлений з литого алюмінію, доступний для компактної або роздільної версії. У компактній версії можна повертати перетворювач на 90° без демонтажу. Перетворювач має два цифрових виходи, один з яких можна використовувати як сигналізацію про максимальну / мінімальну витрату, порожню трубку, зворотні витрати або контроль дозування.

- Можливість використання витратоміра як дозуючої одиниці для будь-якої рідини.

- 2 рядки 16 символів РК-дисплей з підсвічуванням.

- Повторюваність 0,1% від виміряної величини.

- Аналоговий вихід: 4÷20mA (0...800 Ом).

- Цифровий вихід для повторення лічильника або частоти, пропорційній миттєвій швидкості потоку.

- Інтерфейс RS 485.

- Температура навколишнього середовища: -20÷+60°C.

- Блок живлення 90...264 В (за запитом 24В).

- Мінімально необхідна швидкість потоку: 0,5 м/с.

## **5.1.4 Вибір датчиків концентрації**

### **5.1.4.1 Датчик рН розчину аміачної селітри у каналі контролю і управління рН розчину аміачної селітри у апараті ВТН**

Вимоги робочого середовища вимірювання:

– рН 1,5÷2,0;

– температура до 160 °С;

– навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо рН-метр промисловий рН-101П[14].

рН-метр промисловий рН-101П призначений для вимірювання рН водних розчинів у стаціонарних умовах промислового підприємства. рН-метр використовують для вимірювання рН водних розчинів у хімічній, фармацевтичній, харчовій та інших галузях виробництва.

рН-метр складається з двох пристроїв: блоку управління (БУ) та блоку вхідних сигналів (БВС).

БУ реалізований у щитовому виконанні. Управління рН-метром здійснюється трьома кнопками. Інформація відображається на буквенно-цифровому дисплеї.

БВС конструктивно кріпиться на стіну, неподалік ємності з водним розчином, рН якого необхідно вимірювати.

До БВС рН-метра підключається електрохімічна чарунка, датчик температури та лінія зв'язку з БУ.

Зовнішній вигляд рН-метра промислового рН-101П наведений на рис. 5.6.



Рисунок 5.6 - Зовнішній вигляд рН-метра промислового рН-101П .

Особливості рН-метра промислового рН-101П:

- Високі метрологічні характеристики.
- Цифровий інтерфейс зв'язку між блоками рН-метра. Відсутні втрати/спотворення корисних сигналів у каналі зв'язку рН-метра. Лінією зв'язку служить стандартна чотирипровідна кручена пара.
- 5 аналогових вихідних інтерфейсів. рН-метр дозволяє перетворювати вимірюване значення рН у абсолютне значення струму або напруга з наступним виведенням на зовнішні пристрої. рН-метр одночасно може працювати з одним із аналогових інтерфейсів: 0...5 мА; 0...20 мА; 4...20 мА; 0...50 мВ; 0...100 мВ.
- 2 дискретні виходи. рН-метр обладнаний двома потужними 3-и контактними реле. Для кожного реле встановлюється поріг спрацьовування рН і часова затримка на включення.
- RS232/RS485 вихідний інтерфейс. Видача абсолютних значень вимірюваних величин, налаштувань для зовнішніх цифрових пристроїв/систем можлива через даний інтерфейс.
- Реалізовано інтерфейс Modbus (+) RTU.
- Автоматична/ручна температурна компенсація, функція температурної компенсації опорного електрода.

- Розпізнавання 5-ти типів датчиків температури. рН-метр працює зі стандартними платиновими та мідними датчиками температури: 50П, 50М, 100П, 100М, 1000П. Схема підключення датчика температури – 4-х провідна.

- Автоматичне розпізнавання 17-ти буферних розчинів рН. рН-метр дозволяє розпізнавати в процесі градування буферні розчини згідно з ГОСТ 8.134.

- Температурну корекцію значення рН буферного розчину рН-метр виконує автоматично.

- Визначення параметрів електрохімічної чарунки.

- Простий інтерфейс керування.

Технічні характеристики рН-метру промислового рН-101П :

Діапазон виміру рН - 0...14;

Діапазон вимірювання ЕРС електрохімічної чарунки - 2900,0 мВ... 1900,0 мВ;

Діапазон вимірювання температури – 0,0 °С...150,0 °С;

Роздільна здатність по ЕРС – 0,1 мВ;

Роздільна здатність за температурою - 0,1 °С;

Роздільна здатність за рН - 0,01;

Вихідні сигнали аналогового інтерфейсу:

- 0...5 мА, - 0...20 мА, 4...20 мА;

- 0...50 мВ, 0...100 мВ.

Опір навантаження аналогового інтерфейсу:

- не більше 2 ком;

- трохи більше 500 Ом;

- не менше 2 ком.

Діапазон температур, у якому діє компенсація температурних змін ЕРС первинного перетворювача – 0,0 °С...150,0 °С;

Межі допустимих значень абсолютної похибки вимірювання рН при градуванні рН-метру буферними розчинами 2-го розряду -  $\pm 0,02$ ;

Межі допустимої абсолютної похибки вимірювання ЕРС –  $\pm 0,4$  мВ;

Межі допустимої абсолютної похибки вимірювання температури –  $\pm 0,5$  °С;

Габаритні розміри СУ - 144x72x171 мм

Габаритні розміри БВС – 165x155x87 мм.

Маса БУ, не більше – 0,5 кг

Маса БВС, не більше – 0,5 кг

Довжина лінії зв'язку між БУ та БВС рН-метру, не більше – 600 м;

Довжина лінії зв'язку між БВС рН-метра та електрохімічною чарункою, не більше - 3 м;

Потужність споживання від мережі змінного струму 220 50 Гц, не більше - 3 ВА.

#### **5.1.4.2 Датчик концентрації аміаку на виході донейтралізатора**

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- концентрація  $\text{NH}_3$  до 0,1 г/л;
- температура до 185 °С;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

Оскільки є надлишок  $\text{NH}_3$ , то середовище лужне і потрібно вимірювати рОН. Для цього проведемо перетворення концентрації 0,1 г/л у концентрацію [моль/дм<sup>3</sup>].

Молярна маса аміаку  $\text{NH}_3$ , розчиненого у воді ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) складає  $14+4+16+1=35$ . рОН у розчині складає  $\lg(0,1/35)+14 \cong 11$ .

В такому разі у каналі застосуємо рН-метр промисловий рН-101П, у якого діапазон виміру рН - 0...14.

#### **5.1.4.3 Датчик концентрації аміаку газоподібного у повітрі у каналі контролю і управління концентрацією аміаку газоподібного у зоні агрегату аміачної селітри**

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 40 °С;
- тиск 0...1,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо стаціонарний газоаналізатор Дозор-С[15] на 3 канали вимірювань з датчиком концентрації аміаку.

Стаціонарний газоаналізатор Дозор-С на 3 канали вимірювань призначений для:

1) безперервного та автоматичного контролю в повітрі приміщень та відкритих просторів:

- концентрацій горючих газів:
  - $\text{C}_n\text{H}_m$  – метану, пропан-бутану;
  - ( $\text{H}_2$ ) – водню;
  - $\text{NH}_3$  – аміаку;
  - $\text{H}_2\text{S}$  – сірководню;
- концентрацій парів горючих рідин (нафтопродукти, розчинники);
- концентрацій шкідливих і отруйних газів:
  - $\text{CO}$  - чадного газу, окису вуглецю;
  - $\text{Cl}_2$  - хлору;

- CO<sub>2</sub> - двоокису вуглецю;
- NO - оксиду азоту;
- NO<sub>2</sub> - двоокису азоту;
- SO<sub>2</sub> - двоокису сірки;
- SF<sub>6</sub> - гексафториду сірки;
- концентрацій кисню (O<sub>2</sub>);
- температури.

2) видачі світлової та звукової сигналізації, а також комутації зовнішніх електричних ланцюгів при перевищенні встановлених значень концентрації;

3) перетворення вимірюваного значення концентрації (об'єму) речовини у вихідний сигнал постійного струму (для сигналізаторів, що мають струмовий вихідний сигнал);

4) перетворення вимірюваного значення концентрації (об'єму) речовини та стану порогових пристроїв у вихідний цифровий сигнал інтерфейсу RS 232 або RS 485 (для сигналізаторів, що мають вихідний цифровий сигнал);

5) видачі сигналу для блокування зовнішніх електричних ланцюгів при відключенні живлення сигналізатора.

Зовнішній вигляд стаціонарного газоаналізатора Дозор-С на 3 канали вимірювань наведений на рис. 5.7.



Рисунок 5.7 - Зовнішній вигляд стаціонарного газоаналізатора Дозор-С на 3 канали вимірювань.

Переваги стаціонарного газоаналізатора Дозор-С на 3 канали вимірювань:

- мікропроцесорна система обробки інформації, а також самодіагностики;
- інтегрована світлова та звукова сигналізація на кожен вимірювальний канал;
- цифровий відліковий пристрій концентрації газу;
- автоматичне підстроювання "нуля";



- перешкоднозахищена лінія зв'язку "Датчик-БПС";
- вибухозахищені датчики газоаналізатора Дозор-С на 3 канали каналів вимірювань з рівнем вибухозахисту "підвищена надійність проти вибуху" за ГОСТ 12.2.020, підтверджується маркуванням "2ExdПВТ6/H2". Такий клас вибухозахисту дозволяє використовувати датчики практично у всіх будівлях та спорудах, де можуть утворюватися вибухонебезпечні концентрації;
  - можливість керування зовнішніми виконавчими пристроями;
  - наявність струмових та цифрових виходів;
  - можливість одночасного контролю до вибухонебезпечних концентрацій та ГДК шкідливих газів (CO, SO<sub>2</sub> та ін.);
  - стандартний 3-х полюсний роз'єм для підключення до зовнішнього блоку живлення.

Технічні характеристики стаціонарного газоаналізатора Дозор-С на 3 канали вимірювань наведені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 \_ Технічні характеристики стаціонарного газоаналізатора Дозор-С на 3 канали вимірювань

Кількість вимірювальних каналів	від 1 до 3
Схема підключення датчиків до блоку керування	променева - 1 або 2 промені (датчики підключаються послідовно)
Ступінь захисту корпусу БПС згідно з ГОСТ 14254	IP 65
Рівень звукового тиску сигналізатора на відстані 1 м від сигналізатора	не менше 85 дБ
Середнє напрацювання на відмову сигналізатора Критерій відмови	не менше 35000 год. сигнал "ВІДМОВА"
Повний середній термін служби сигналізатора, щонайменше	12 років
Діапазон робочих температур	от -40 до +50 °С
Живлення: - Основне - Резервне	~220 В; ±220В; ±24В ±24В, ~220В, ±12В
Вихідні сигнали: - управління виконавчими пристроями – “сухий” контакт реле - струмовий вихід - цифровий вихід	2 А, 220; 0-5, або 4-20 мА RS 232 або RS 485
Пороги увімкнення сигналізації - попереджувальна - аварійна - сигнал відсутності датчика, обрив кабелю	"ПОРІГ 1" "ПОРІГ 2" " ВІДМОВА "
Комутовані електричні ланцюги при напрузі до 250 В	до 5 А
Лінія зв'язку БПС-ПІ	3-х-провідна, перешкодозахищена, до 1200 м

#### Продовження таблиці 5.4

Час прогрівання сигналізатора, не більше	5 хв.
Габаритні розміри сигналізатора, мм: - БПС - датчик	284 x 232 x 143 100 x 115 x 110
Маса складових частин сигналізатора: - блок керування - датчик	1,4 кг 0,9 кг

#### **5.1.4.4 Датчик концентрації окису азоту NO у повітрі у каналі контролю і управління концентрацією окису азоту NO в зоні агрегату аміачної селітри**

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 40 °С;
- тиск 0...1,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-I і В-Ia.

У каналі застосуємо стаціонарний газоаналізатор Дозор-С на 3 канали вимірювань з датчиком концентрації окису азоту NO.

#### **5.1.4.5 Датчик концентрації двоокису азоту NO<sub>2</sub> у повітрі у каналі контролю і управління концентрацією двоокису азоту NO<sub>2</sub> в зоні агрегату аміачної селітри**

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 40 °С;
- тиск 0...1,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-I і В-Ia.

У каналі застосуємо стаціонарний газоаналізатор Дозор-С на 3 канали вимірювань з датчиком концентрації двоокису азоту NO<sub>2</sub>.

## **5.2 Вибір регулюючих органів**

### **5.2.1 Канал контролю і управління температурою азотної кислоти на виході підігрівача азотної кислоти**

Вимоги робочого середовища регулювання:

- температура до 120 °С;
- тиск 0...1,4 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-I і В-Ia.

Застосуємо для регулювання витрати сокової пари на трубопроводі подачі на вхід підігрівача азотної кислоти для підігріву азотної кислоти електромагнітний регулюючий клапан для пари GAMA ZQDF-25S 1" N.C. 0 - 10 бар 200°C (PTFE)[16].

Клапан GAMA виконаний у корпусі з нержавіючої сталі, з соленоїдною котушкою, яка розрахована для роботи в екстремальних умовах з температурами до +200 С. Ущільнення клапана PTFE (Тефлон).

Основна сфера застосування клапана: пара, газ, оливи, рідини.

Напруга котушки: 12VDC, 24VDC/AC, 220VAC

Споживання котушки: змінний струм 35VA, постійний струм 30 W.

Зовнішній вигляд електромагнітного регулюючого клапану GAMA ZQDF-25S 1" N.C. 0 - 10 бар 200°C (PTFE) наведений на рис. 5.8.



Рисунок 5.8 - Зовнішній вигляд електромагнітного регулюючого клапану GAMA ZQDF-25S 1" N.C. 0 - 10 бар 200°C (PTFE).

### **5.2.2 Канал контролю і управління температурою аміаку на виході підігрівача аміаку**

Вимоги робочого середовища регулювання:

- температура до 150 °С;
- тиск 0...1,4 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-I і В-Ia.

Застосуємо для регулювання витрати гарячого парового конденсату на трубопроводі гарячого парового конденсату на вхід до підігрівача аміаку для підігріву аміаку такий самий електромагнітний регулюючий клапан GAMA ZQDF-25S 1" N.C. 0 - 10 бар 200°C (PTFE), що повністю задовольняє вимоги.

### **5.2.3 Канал контролю і управління температурою реакційної суміші у реакційній зоні апарату ВТН**

Вимоги робочого середовища регулювання:

- температура 160 °С;
- тиск 0...1,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

Застосуємо для регулювання витрати 20 %-го розчину  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  на трубопроводі 20 %-го розчину  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  на вхід до реакційної зони апарату ВТН для стабілізації температури реакційної суміші такий самий електромагнітний регулюючий клапан GAMA ZQDF-25S 1" N.C. 0 - 10 бар 200°С (PTFE), що повністю задовольняє вимоги.

### **5.2.4 Канал контролю і управління співвідношенням потоків аміаку та азотної кислоти на вході у апарат ВТН**

#### **5.2.4.1 Регулювання витрати аміаку $\text{NH}_3$**

Вимоги робочого середовища регулювання:

- температура до 120 °С;
- тиск 0...1,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

Застосуємо для регулювання витрати аміаку  $\text{NH}_3$  на трубопроводі аміаку  $\text{NH}_3$  на вхід апарату ВТН такий самий електромагнітний регулюючий клапан GAMA ZQDF-25S 1" N.C. 0 - 10 бар 200°С (PTFE), що повністю задовольняє вимоги.

#### **5.2.4.2 Регулювання витрати азотної кислоти**

Вимоги робочого середовища регулювання:

- температура до 90 °С;
- тиск 0...1,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

Застосуємо для регулювання витрати азотної кислоти на трубопроводі азотної кислоти на вхід апарату ВТН такий самий електромагнітний регулюючий клапан GAMA ZQDF-25S 1" N.C. 0 - 10 бар 200°С (PTFE), що повністю задовольняє вимоги.

### **5.2.5 Канал контролю і управління надлишком аміаку на виході донейтралізатора**

Вимоги робочого середовища регулювання:

- температура до 120 °С;
- тиск 0...1,2 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-I і В-Ia.

Застосуємо для регулювання витрати аміаку NH<sub>3</sub> для забезпечення надлишку аміаку на виході донейтралізатора такий самий електромагнітний регулюючий клапан GAMA ZQDF-25S 1" N.C. 0 - 10 бар 200°С (PTFE), що повністю задовольняє вимоги.

### **5.2.6 Канал контролю і управління температурою повітря на виході підігрівача повітря**

Вимоги робочого середовища регулювання:

- температура до 200 °С;
- тиск 0...1,4 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-I і В-Ia.

Застосуємо для регулювання витрати насиченої водяної пари для підігріву повітря на трубопроводі насиченої водяної пари на вхід до підігрівача повітря такий самий електромагнітний регулюючий клапан GAMA ZQDF-25S 1" N.C. 0 - 10 бар 200°С (PTFE), що повністю задовольняє вимоги.

### **5.2.7 Канал контролю і управління температурою плаву аміачної селітри на виході випарного апарату**

Вимоги робочого середовища регулювання:

- температура до 185 °С;
- тиск 0...1,4 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-I і В-Ia.

Застосуємо для регулювання витрати на трубопроводі гарячого повітря на виході випарного апарату для стабілізації температури плаву аміачної селітри такий самий електромагнітний регулюючий клапан GAMA ZQDF-25S 1" N.C. 0 - 10 бар 200°С (PTFE), що повністю задовольняє вимоги.

## 5.2.8 Канал контролю і управління температурою гранул аміачної селітри на виході грануляційної вежі

Вимоги робочого середовища регулювання:

- температура до 185 °С;
- тиск 0...1,4 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

Застосуємо для регулювання витрати гарячого повітря на повітропроводі подачі на вхід грануляційної вежі для грануляції селітри повітряну заслінку з електроприводом GRUNER 363C-024-30-S2[16].

Електричний привід GRUNER 363C-024-30-S2, розроблений для використання з повітряними заслінками та клапанами в системах вентиляції та кондиціонування.

Без поворотної пружини..

Зовнішній вигляд повітряної заслінки з електроприводом GRUNER 363C-024-30-S2 наведений на рис. 5.9.



Рисунок 5 .9 - Зовнішній вигляд повітряної заслінки з електроприводом GRUNER 363C-024-30-S2.

Технічні характеристики електричного приводу GRUNER 363C-024-30-S2 наведені в табл. 5.5.

Таблиця 5.5 \_ Технічні характеристики електричного приводу GRUNER 363C-024-30-S2

Характеристика	Значення
Електричні	
Напруга живлення	24VAC/DC
Допустимі значення напруги	19...29 VAC/DC

## Продовження таблиці 5.5

Потужність споживана (рух)	4.5 Вт
Потужність споживана (кін. положення)	1,5 Вт
Потужність розрахункова	6 ВА
Керування	Аналоговий сигнал 0(2)...10 VDC / $R_i > 100 \text{ k}\Omega$ 0(4)...20 mA / $R_{ext.} = 500 \Omega$
Зворотний зв'язок	0(2)...10 VDC, max 5 mA
Допоміжні контакти	2 x SPDT (для 363C-024-20-S2, -30-S2, -40-S2)
Комутаційна здатність	5 (2,5) A, 250 V
Точка перемикання	Налаштовується в діапазоні 0...95°
Підключення	
Двигун	Кабель 1000 мм, 4 x 0,75 мм <sup>2</sup> (ізоляція не містить галогену)
Допоміжні контакти	Кабель 1000 мм, 3 x 0,75 мм <sup>2</sup> (ізоляція не містить галогену)
Крутний момент	>30 Нм (для заслінки до 6 м <sup>2</sup> )
Направлення руху	Вибирається DIP-перемикачем під нижньою кришкою
Ручне керування	Під час натиснення підпружиненої кнопки на корпусі
Кут повороту	0°... max. 95°, може бути обмежений за допомогою механічних кінцевих упорів
Час повороту на 90°	< 150 с
Рівень шуму	< 45 dB(A)
Фіксація штоку заслінки	Затискна скоба
Допустимий розмір штоку заслінки	9-18 мм / Ø 9-26 мм
Індикація позиці	Механічний показник
Термін служби	>60000 циклів (0° - 95° - 0°)
Захист	
Клас захисту	ІІІ (низьковольтна напруга)
Степінь захисту	IP54 (кабелем вниз)
Електромагнітна сумісність	CE (2004/108/EG)
Електробезпека	CE (2006/95/EG)
Температура експлуатації	-30°C...+50°C

#### Продовження таблиці 5.5

Температура зберігання	30°C...+80°C
Вологість навколишнього середовища	5...95%, без конденсації (EN 60730-1)
Обслуговування	Не потрібне

### **5.2.9 Канал контролю і управління температурою гранул аміачної селітри на виході із апарату киплячого шару**

Вимоги робочого середовища регулювання:

- температура до 50 °С;
- тиск 0...1,4 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

Застосуємо для регулювання витрати гарячого повітря на повітропроводі подачі на вхід грануляційної вежі для грануляції селітри повітряну заслінку з електроприводом GRUNER 363C-024-30-S2, що повністю задовольняє вимоги.

Рисунок 5.16 - Зовнішній вигляд повітряної заслінки з електроприводом GRUNER 363C-024-30-S2.

### **5.2.10 Канал контролю і управління концентрацією аміаку газоподібного у повітрі агрегату аміачної селітри**

Для управління концентрацією аміаку газоподібного у повітрі агрегату конверсії будемо перекривати подачу аміаку на вхід агрегату аміачної селітри за допомогою відсічного клапана і змінювати оберти двигуна привода витяжного вентилятора за допомогою перетворювача частоти.

Для відсікання подачі аміаку на вхід агрегату аміачної селітри застосуємо електромагнітний клапан відсікач G3/4 (DN20A)[18] для автоматичного відключення газу, як такий, що задовольняє вимогам. При наближенні концентрації аміаку газоподібного до НКМП клапан припиняє подачу аміаку газоподібного на вхід агрегату аміачної селітри.

Зовнішній вигляд електромагнітного клапана відсікача G3/4 (DN20A) для автоматичного відключення газу наведений на рис. 5.10.





Рисунок 5.10 - Зовнішній вигляд електромагнітного клапана відсікача G3/4 (DN20A) для автоматичного відключення газу.

Даний клапан у режимі очікування знаходиться у відкритому стані, не споживаючи жодної енергії. У разі подачі на нього імпульсу живлення клапан моментально перетворюється на закритий стан. Знаходиться в цьому стані, доки не повернути кнопку у вихідний стан.

Електромагнітний клапан-відсікач призначений для автоматичного відключення подачі газу у внутрішні газопроводи та газове обладнання у разі виявлення витoku газу застосовуються в комплекті із сигналізаторами газу, що забезпечують у разі загазованості видачу електричного імпульсу для спрацьовування клапана.

Клапан має нормально відкрите виконання.

Різьба внутрішня 3/4 дюйма (DN20A).

Керуючий імпульс 12В.

#### **5.2.11 Канал контролю і управління концентрацією окису азоту NO у повітрі агрегату аміачної селітри**

Для управління концентрацією окису азоту NO у повітрі агрегату аміачної селітри будемо перекривати подачу азотної кислоти на вхід агрегату аміачної селітри за допомогою відсічного клапана і змінювати оберти двигуна привода витяжного вентилятора за допомогою перетворювача частоти аналогічно каналу управління концентрацією аміаку газоподібного.

Для відсікання подачі окису азоту NO на вхід агрегату аміачної селітри застосуємо електромагнітний клапан відсікач G3/4 (DN20A) для автоматичного відключення газу, як такий, що задовольняє вимогам. При наближенні концентрації окису азоту NO до ГДК клапан припиняє подачу азотної кислоти на вхід агрегату аміачної селітри.

Даний клапан у режимі очікування знаходиться у відкритому стані, не споживаючи жодної енергії. У разі подачі на нього імпульсу живлення клапан моментально перетворюється на закритий стан. Знаходиться в цьому стані, доки не повернути кнопку у вихідний стан.

Електромагнітний клапан-відсікач призначений для автоматичного відключення подачі газу у внутрішні газопроводи та газове обладнання.

разі виявлення витіку пального газу застосовуються в комплекті із сигналізаторами газу, що забезпечують у разі загазованості видачу електричного імпульсу для спрацьовування клапана.

Клапан має нормально відкрите виконання.

Різьба внутрішня 3/4 дюйма (DN20A).

Керуючий імпульс 12В.

### **5.2.11 Канал контролю і управління концентрацією двоокису азоту NO<sub>2</sub> у повітрі агрегату аміачної селітри**

Для управління концентрацією двоокису азоту NO<sub>2</sub> у повітрі агрегату аміачної селітри будемо перекривати подачу азотної кислоти на вхід агрегату аміачної селітри за допомогою відсічного клапана і змінювати оберти двигуна привода витяжного вентилятора за допомогою перетворювача частоти аналогічно каналу управління концентрацією окису азоту NO.

Для відсікання подачі аміаку на вхід агрегату аміачної селітри застосуємо електромагнітний клапан відсікач G3/4 (DN20A) для автоматичного відключення газу, як такий, що задовольняє вимогам. При наближенні концентрації аміаку газоподібного до НКМП клапан припиняє подачу аміаку газоподібного на вхід агрегату аміачної селітри.

Даний клапан у режимі очікування знаходиться у відкритому стані, не споживаючи жодної енергії. У разі подачі на нього імпульсу живлення клапан моментально перетворюється на закритий стан. Знаходиться в цьому стані, доки не повернути кнопку у вихідний стан.

Електромагнітний клапан-відсікач призначений для автоматичного відключення подачі газу у внутрішні газопроводи та газове обладнання приміщень житлових та громадських будівель.

разі виявлення витіку пального газу застосовуються в комплекті із сигналізаторами газу, що забезпечують у разі загазованості видачу електричного імпульсу для спрацьовування клапана.

Клапан має нормально відкрите виконання.

### 5.3 Вибір контролера

Для вибору контролера проаналізуємо вхідні та вихідні сигнали контролера. Відповідно до обраних датчиків і типів каналів управління дані про вхідні сигнали наведені в табл. 5.6, дані про вихідні сигнали наведені в табл. 5.7.

Таблиця 5.6\_ Вхідні сигнали контролера

Параметр	Об'єкт управління	Вхідний сигнал
Тиск аміаку	Вхід підігрівача аміаку	0/4 ... 20 мА
Тиск гарячого парового конденсату	Вхід підігрівача аміаку	4-20 мА, 0-10 В
Температура гарячого парового конденсату	Вхід підігрівача аміаку	4...20 мА
Температура азотної кислоти	Вихід підігрівача кислоти	4...20 мА
Температура аміаку	Вихід підігрівача аміаку	4...20 мА
Температура реакційної суміші	Реакційна зона апарату ВТН	4...20 мА
Витрата аміаку	Вхід в апарат ВТН	4...20 мА, ізольований, пасивний; релейний; імпульсний транзисторний (10мА/30В)
Витрата азотної кислоти	Вхід в апарат ВТН	4÷20мА
рН розчину аміачної селітри	Апарат ВТН	0...5 мА; 0...20 мА; 4...20 мА; 0...50 мВ; 0...100 мВ
Надлишок аміаку	Вихід донейтралізатора	0...5 мА; 0...20 мА; 4...20 мА; 0...50 мВ; 0...100 мВ
Температура повітря	Вихід підігрівача повітря	4...20 мА
Тиск насиченої водяної пари	Вхід підігрівача повітря	4-20 мА, 0-10 В
Температура плаву аміачної селітри	Вихід випарного апарату	4...20 мА
Температура гранул селітри	Вихід із грануляційної вежі	4...20 мА
Температура гранул селітри	Вихід із апарату киплячого шару	4...20 мА
Концентрація аміаку газоподібного	Приміщення агрегату	4-20 мА, 0-10 В
Концентрація окису азоту NO	Приміщення агрегату	4...20 мА, 0...10 В
Концентрація двоокису азоту NO <sub>2</sub>	Приміщення агрегату	0..5, 1..5, 4..20 мА

Таблиця 5.7\_ Вихідні сигнали контролера

Параметр	Об'єкт управління	Вихідний сигнал
Витрата сокової пари	Вихід підігрівача кислоти	12VDC, 24VDC/AC, 220VAC
Витрата витрати гарячого парового конденсату	Вихід підігрівача аміаку	12VDC, 24VDC/AC, 220VAC
Витрата 20 %-го розчину NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Реакційна зона апарату ВТН	12VDC, 24VDC/AC, 220VAC
Витрата аміаку NH <sub>3</sub>	Вхід в апарат ВТН	12VDC, 24VDC/AC, 220VAC
Витрата азотної кислоти	Вхід в апарат ВТН	12VDC, 24VDC/AC, 220VAC
Витрата аміаку NH <sub>3</sub>	Вихід донейтралізатора	12VDC, 24VDC/AC, 220VAC
Витрата насиченої водяної пари	Вихід підігрівача повітря	12VDC, 24VDC/AC, 220VAC
Витрата гарячого повітря	Вихід випарного апарату	12VDC, 24VDC/AC, 220VAC
Витрата гарячого повітря	Вихід із грануляційної вежі	0(2)...10 VDC 0(4)...20 mA
Витрата гарячого повітря	Вихід із апарату киплячого шару	0(2)...10 VDC 0(4)...20 mA
Витрата аміаку NH <sub>3</sub>	Агрегат аміачної селітри	0(2)...10 VDC 0(4)...20 mA
Витрата азотної кислоти	Агрегат аміачної селітри	0(2)...10 VDC 0(4)...20 mA
Оберти привода витяжного вентилятора	Агрегат аміачної селітри	4...20 mA
Сигналізація «Тиск аміаку»	Вхід підігрівача аміаку	Лог. 1
Сигналізація «Тиск гарячого парового конденсату»	Вхід підігрівача аміаку	Лог. 1
Сигналізація «Температура гарячого парового конденсату»	Вхід підігрівача аміаку	Лог. 1
Сигналізація «рН розчину аміачної селітри»	Апарат ВТН	Лог. 1
Сигналізація «Тиск насиченої водяної пари»	Вхід підігрівача повітря	Лог. 1

Продовження таблиці 5.7

Сигналізація «Температура плаву аміачної селітри»	Вихід випарного апарату	Лог. 1
Сигналізація «Концентрація аміаку газоподібного»	Приміщення агрегату	Лог. 1
Сигналізація «Концентрація окису азоту NO»	Приміщення агрегату	Лог. 1
Сигналізація «Концентрація двоокису азоту NO <sub>2</sub> »	Приміщення агрегату	Лог. 1
Сигналізація звукова концентрації газів	Сирена сигналізації	Лог. 1

На підставі даних таблиць 5.6 і 5.7 можна скласти вимоги до портів контролера і вибрати його на функціональному рівні. Вимоги по вхідних і вихідних сигналах наведені в таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 - вимоги до контролера

Сигнали	Кількість сигналів
Аналогові вхідні	18
Дискретні вхідні	-
Аналогові вихідні	13
Дискретні вихідні	10

Оскільки закон управління на даному етапі невідомий, на функціональному рівні необхідно вибрати за вимогами вхідних і вихідних сигналів контролер, який реалізує П-, ПІ-, ПД і ПІД- закони управління.

Модульний програмований логічний контролер XC300[19] - – це потужна та гнучка система контролю від Eaton, яка дозволяє інтеграторам та машинобудівникам будувати компактну та сучасну автоматизацію разом з I/O системою XN300 та сучасними НМІ панелями XV300.

Широкий набір функцій та інтерфейсів дозволяє будувати компактні, високопродуктивні системи керування модульної автоматизації. Декілька ethernet-інтерфейсів для з'єднання різних мереж, також CAN та RS485 інтерфейси перетворюють XC300 на універсальний пристрій керування та комунікації для розумних машин нового покоління.

Особливості комунікації модульного програмованого логічного контролера XC300 наведені на рис. 5.11.

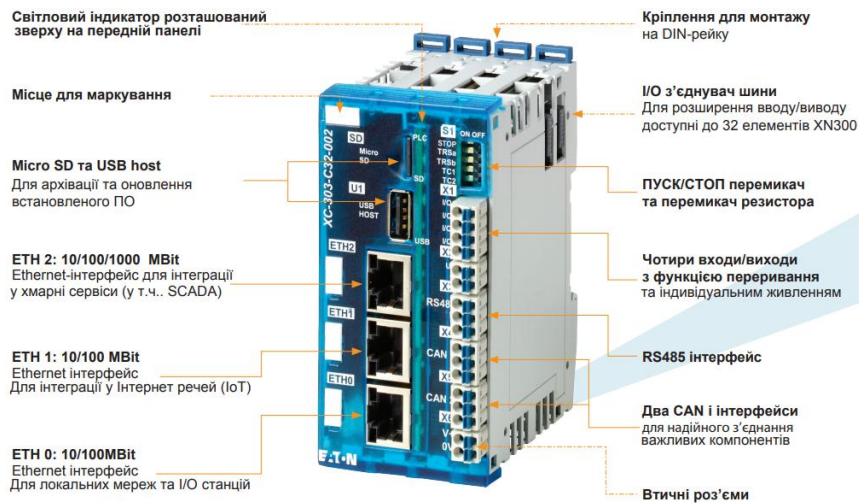


Рисунок 5.11 - Особливості комунікації модульного програмованого логічного контролера XC300.

Характеристики:

- Операційна система: Linux;
- Процесор: ARM CORTEX 7 DUAL Core @ 960 MHz;
- Внутрішня пам'ять: 512 MB RAM / 128 MB FLASH / 128 kB NVRAM;
- Зовнішня пам'ять: SD карта;
- Програмування: CODESYS V3 (ПЛК і web візуалізація);
- Годинник реального часу: доступні (ємнісні);
- Кнопка ПУСК/СТОП: доступні;
- З двоядерним процесором Dual Core ARM CORTEX7 CPU @960MHz, контролер XC300 дозволяє задавати час циклу 1мс і отримати більшу швидкість та продуктивність.

Функціональний рівень XC300 є доволі гнучким і може розширитися за допомогою всіх компонентів системи вводу/виводу XN300[20] та адаптований до вимог технологічної системи. Це дозволяє створювати гнучкі рішення з найменшим об'ємом та високою кількістю каналів і конкурентними витратами (рис. 5.12).



Рисунок 5.12 - Розширення мікропроцесорного контролеру XC300 за допомогою компонентів системи вводу/виводу XN300.

Контролер може бути розширений модулями XN322 до 32 одиниць однією шиною, залежно від функцій, які потрібно виконувати контролеру. Окремо слід зазначити спеціальні технологічні модулі, такі як модуль колекторного двигуна та модуль ваг. Їх застосування дозволяє значно спростити систему та знизити вартість додаткового обладнання та монтажу. Контролер підтримує Web-візуалізацію на базі HTML5, що дає змогу на невеликих об'єктах обійтися без повноцінних SCADA-систем. Також на деяких моделях присутні 4 цифрові входи, які можуть використовуватися як вектори зовнішнього переривання, що особливо корисно при створенні систем в потенційно небезпечних технологічних процесах.

Оскільки розподілений інтерфейс Ethernet вже давно набув широкого поширення не тільки в побутовому та бізнес-середовищі, а й у промисловості, то на борту контролера XC300 передбачено до 3 шлюзів Ethernet (один з яких має швидкість до 1 Гбіт, два інших – до 100 Мбіт), кожен шлюз має свою власну MAC-адресу). Це дозволяє розділити лінії зв'язку та значно прискорити передачу даних між різними клієнтами мережі. Наприклад, для зв'язку з локальними точками вводу/виводу використовується шлюз на 100 Мбіт. Після збору даних він надсилає інформацію через інший шлюз на 100 Мбіт на локальний сервер, де встановлена система SCADA. А шлюз на 1 Гбіт підключений до мережі інтернет, щоб передавати дані на сервер, де ця інформація використовується для аналізу великих даних "Big Data". Таким чином, ми отримуємо повністю незалежні один від одного лінії зв'язку, які працюють паралельно і не призводять до великих затримок передачі даних. Є підтримка таких протоколів передачі та комунікації: HTTP, HTTPS, DHCP, DNS, FTP, SFTP, SSL, TSL, SQL.

Також на борту контролера XC300 присутні до 2 CAN шлюзів для інтеграції з пристроями введення/виведення та іншим обладнанням. Інтерфейс RS485 також присутній, щоб легко інтегруватися в існуючі мережі та системи.

Торкнувшись до теми хмарної інтеграції, не можна не торкнутися теми безпеки, яка стала особливо актуальною зважаючи на останні події та хакерські атаки. І тут з нового боку себе розкриває концепція розділених шлюзів Ethernet із власними MAC-адресами. У такій концепції, навіть отримавши доступ до одного зі шлюзів (що буде нелегко, оскільки XC300 використовує шифрування за протоколом HTTPS, а OPC UA сервер може налаштовуватися на досить надійну політику автентифікації), отримати доступ до іншого шлюзу не вдасться. Справа в тому, що якщо один із шлюзів виділений для роботи із зовнішньою мережею, то й область даних, до яких він має доступ, буде суворо обмежена. Тому знайти точку входу в bootloader або спробувати завантажити сторонню програму через шлюз просто не вдасться, оскільки ці опції будуть доступні тільки для іншого шлюзу Ethernet, який не має доступу до зовнішньої мережі.

Програмування даного контролера здійснюється в середовищі CodeSys 3.5. Цей засіб набув широкого поширення у світі, тому що підтримує різні типи контролерів, а кожен виробник

створює бібліотеки та додатковий функціонал під своє обладнання. Інтерфейс середовища CodeSys 3.5 інтуїтивно зрозумілий і дуже схожий на Visual Studio від компанії Microsoft, що є еталоном з ергономіки для програмування. Програми можуть бути написані стандартними мовами МЕК: ST, LD, FBD, CFC, IL. Модулі для основної програми можуть бути написані на тих же мовах, за винятком CFC. Існує широкий набір різних елементів візуалізації для написання як місцевої візуалізації для панелей HMI, так і для Web-візуалізації. Все це може і не робить CodeSys 3 найкращою платформою для програмування, але за поєднанням «Ціна-Функціонал» - це однозначно найкращий вибір для компанії, яка займається автоматизацією технологічних процесів.

Підсумовуючи все перераховане, можна зробити висновок, що даний контролер підходить для автоматизації будь-якої складності.

Проаналізувавши технічні характеристики мікропроцесорного контролера XC300, констатуємо, що основному комплекті недостатня кількість аналогових входів (є 4, потрібно 18) і аналогових виходів (є 4, потрібно 13). Тому необхідно додатково застосувати для введення і виведення модулі введення/виведення.

8-ми канальний модуль аналогового введення 0/4-20мА XN-322-8AI[21] - аналоговий елемент введення; вісім аналогових входів струму 0/4 до 20 мА.

Модуль аналогового введення XN-322-8AI призначений для прийому та перетворення на цифрову форму сигналів аналогових датчиків.

Модуль виконаний як самостійний виріб, інформаційний обмін з яким здійснюється за інтерфейсом RS-485 протокол MODBUS RTU.

Зовнішній вигляд 8-ми канального модуля аналогового введення 0/4-20мА XN-322-8AI наведений на рис. 5.13.



Рисунок 5.13 - Зовнішній вигляд 8-ми канального модуля аналогового введення 0/4-20мА XN-322-8AI.



Модуль XN-322-8AI призначений для побудови розподілених систем контролю та управління технологічними об'єктами.

Технічні характеристики 8-ми каналного модуля аналогового введення наведені в табл. 5.9.

Таблиця 5.9 \_ Технічні характеристики 8-ми каналного модуля аналогового введення XN-322-8AI

Технічна характеристика	Значення
Аналогові входи	
Кількість входів	8
Тип вхідного аналогового сигналу	Уніфіковані: от 0 мА до 20 мА, от 4 мА до 20 мА
Роздільна здатність аналогових входів	16 біт
Напруга живлення при постійному струмі, В	18-30
Кількість апаратних інтерфейсів, інше	1
Захист	IP20
Тип електричного роз'єму	штекерний роз'єм
Кріплення модуля	Рейка DIN35x7,5 EN50022 або кріплення на стінку за допомогою шурупів DIN 7504P 3x25 використовуючи отвори в корпусі
Положення під час монтажу	Вертикальне (на DIN-рейку)

Таких модулів потрібно 2.

8 каналний модуль аналогового введення/виведення 0/4-20мА XN-322-8AIO-I[22] 4 входи, 4 виходи.

Зовнішній вигляд 8-ми каналного модуля аналогового введення/виведення 0/4-20мА XN-322-8AIO-I 4 входи, 4 виходи наведений на рис. 5.14.



Рисунок 5.14 - Зовнішній вигляд 8-ми каналного модуля аналогового введення/виведення 0/4-20мА XN-322-8AIO-I 4 входи, 4 виходи.

Модуль XN-322-8AIO-I призначений для побудови розподілених систем контролю та управління технологічними об'єктами.

Технічні характеристики 8-ми каналного модуля аналогового введення/виведення 0/4-20мА XN-322-8AIO-I 4 входи, 4 виходи наведені в табл. 5.14.

Таблиця 5.10 \_ Технічні характеристики 8-ми каналного модуля аналогового введення/виведення 0/4-20мА XN-322-8AIO-I 4 входи, 4 виходи

Технічна характеристика	Значення
Аналогові входи	
Кількість входів	4
Продовження таблиці 5.10	
Тип вхідного аналогового сигналу	Уніфіковані: від 0 мА до 20 мА, від 4 мА до 20 мА
Максимальний вхідний струм	100 мА
Роздільна здатність аналогових входів	16 біт
Вхідний опір	50 Ом
Максимум. розсіювання тепла	2,58 Вт
Аналогові виходи	
Кількість входів	4
Тип вихідного аналогового сигналу	від 0 мА до 20 мА
Роздільна здатність аналогових виходів	12 біт

Продовження табл. 5.10

Точність	±0,5 % повної шкали
Час оновлення [Всі канали]	1 мс
Резистивне навантаження	≤ 500 Ом
Електричне живлення	
Напруга живлення при постійному струмі, В	24
Номинальний робочий струм	0,078 А
Максимум. розсіювання тепла	2,58 Вт
Захист	IP20
Тип електричного роз'єму	штекерний роз'єм
Захист	IP20
Робоча температура довкілля, макс.	+55 °С
Кріплення модуля	Рейка DIN35x7,5 EN50022 або кріплення на стінку за допомогою шурупів DIN 7504P 3x25 використовуючи отвори в корпусі
Положення під час монтажу	будь-яке

Таких модулів потрібно 4 для забезпечення 13 вихідних сигналів. Оскільки за допомогою цього модуля забезпечується введення 16 вхідних сигналів, то для забезпечення введення 18 вхідних аналогових сигналів необхідно використати 1 0/4-20мА XN-322-8AI, а не 2.

16-ти канальний модуль цифрового виведення XN-322-16DO-P05, P, 24В DC, 0.5А, sp

Цифровий модуль виведення; 16 цифрових виходів, стійких до коротких замикань, по 24 В постійного струму/0,5 А; перемикаючий плюс.

Зовнішній вигляд 16-ти канального модуля цифрового виведення XN-322-16DO-P05, P, 24В DC, 0.5А, sp наведений на рис. 5.15.



Рисунок 5.15 - Зовнішній вигляд 16-ти канального модуля цифрового виведення XN-322-16DO-P05, P, 24В DC, 0.5А, sp.

Технічні характеристики 16-ти канального модуля цифрового виведення XN-322-16DO-P05, P, 24В DC, 0.5А, sp[22] наведені в табл. 5.11.

Таблиця 5.11 \_ Технічні характеристики 16-ти канального модуля цифрового виведення XN-322-16DO-P05, P, 24В DC, 0.5А, sp

Технічна характеристика	Значення
Цифрові виходи	
Кількість виходів	16
Вихідна напруга, номінальне значення [Ua]	24 В постійного струму
Вихідна напруга Низький рівень [UaL]	$0В < Ua L < 1В$
Затримка зміни сигналу	$< 100 \text{ мкс}$
Вихідна напруга Високий рівень [U aH]	$Ue - 1В < UaH < UeВ$
Вихідний струм, номінальне значення [I aL]	0,5 А
Вихідний струм Низький рівень сигналу [IA]	$0 < Ia L < 0,5 \text{ мА}$
Вихідний струм Високий рівень [I aH]	$0 \leq Ia H \leq 500 \text{ мА}$
Резистивне навантаження	$> 48 \text{ Ом}$
Ступінь захисту	IP20
Кріплення модуля	рейка DIN36x7,5 EN50022

#### Продовження таблиці 5.11

Положення під час монтажу	будь-яке
Умови експлуатації	
Температура навколишнього середовища	від 0 °С до +55 °С
Атмосферний тиск	від 84 до 106,7 кПа

Таких модулів потрібно 1.

#### 5.4 Вибір панелі оператора

Спеціально розроблені серії сенсорних панелей оператора з функціями ПЛК головним чином призначені для відображення та внесення змін до контрольованих процесів автоматизованого керування системами. Такі пристрої здатні у кілька разів підвищити ефективність за рахунок спрощення програмування. Користувач виконує самостійне налаштування в єдиному середовищі, яке забезпечує при цьому візуалізацію та контроль над роботою систем, що обслуговуються. Поєднання функцій ПЛК у сенсорній панелі оператора дозволяє не лише скоротити кількість електромонтажної арматури, але й суттєво розширити функціональність обладнання. Пропоновані пристрої побудовані з урахуванням високопродуктивних процесорів нового покоління.

Пристрої серії XV300[24] оснащені ємнісними мультисенсорними дисплеями високої роздільної здатності промислового типу. У поєднанні з високоточним та інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом така конфігурація дозволяє операторам одразу приступати до роботи без додаткової підготовки. Крім того, ці пристрої оснащені потужним графічним процесором, який дозволяє створювати ультрасучасні інтерфейси користувача, включаючи швидкі зміни екрана та інтегровані мультимедійні елементи: відео, PDF-файли та веб-контент. Гладке антиблікове та міцне скло панелі у поєднанні з компактною та елегантною конструкцією роблять це обладнання ідеально придатним для промислового застосування в суворих умовах.

Пристрої серії XV400 – багатофункціональні панелі оператора з діагоналлю від 5,7” до 15” оснащені процесором, частота якого становить 400 МГц. Завдяки додатковим модулям зв'язку (1 або 2) пристрій з'єднує з 8 об'єктами одночасно. Передня частина корпусу виготовлена із нержавіючої сталі.

Панелі оператора серії XVS400 оснащені інфрачервоним кольоровим TFT дисплеєм із діагоналлю від 5,7” до 15” та захисним склом. Пристрій забезпечує відмінну візуалізацію та високу швидкість зміни зображень. Ця серія панелей оператора виконується у металевому корпусі. Завдяки вбудованому логічному контролеру пристрій підтримує всі мови



12,1-дюймова інфрачервона сенсорна панель формату 4:3; вбудований модуль; роздільна здатність 800 x 600 пікселів; можна використовувати у портретній чи альбомній орієнтації; функцію ПЛК можна оснастити артикулом № 181585 LIC-PLC-A; багатошарове безпечне скло в алюмінієвій передній панелі; міцне і легко чиститься; металевий корпус; слот для картки SD; операційна система: Windows Embedded Compact 7 Pro; два незалежні інтерфейси Ethernet для надійної ізоляції високорівневих ІТ-комунікацій та машинної мережі; інші інтерфейси: CAN, RS232, RS485; USB-хост 2.0, USB-пристрій; можливість налаштування за допомогою Galileo та XSOFТ-CODESYS-2/3; інтегрована робоча ліцензія для візуалізації; ступінь захисту спереду: IP65.

Технічні характеристики сенсорної панелі XV363-12-C00-A00-1B наведені в табл. 5.12.

Таблиця 5.12 \_ Технічні характеристики сенсорної панелі XV363-12-C00-A00-1B

Характеристика	Значення
Тип дисплея	Кольоровий дисплей, TFT
Діагональ екрану	12,1 дюйма
Розширення	800 x 600 пікселів
Видима область екрану	246 x 185 мм
Формат	4:3
Кількість кольорів	65535 кольорів
Коефіцієнт контрастності (зазвичай)	Зазвичай 500:1
Інфрачервоний сенсорний захисний екран	Багатошарове захисне скло, що не відображає
Технології	Інфрачервоний дотик
Сенсорний датчик	Односенсорний дисплей
Процесор	ARM Cortex-A9 800 МГц
Внутрішня пам'ять	DRAM: 512 МБ RAM Flash: 1 ГБ SLC NVRAM: 128 КБ Retain
Зовнішня пам'ять	SD-карта, Тип: SDSC, SDHC
Охолодження	Безвентиляторне охолодження процесора та системи, пасивне охолодження на основі природної конвекції
Резервне копіювання годинника реального часу Акумулятор (термін служби)	незмінний, впаяний BR2330

Продовження таблиці 5.12

Програмне забезпечення для візуалізації	GALILEO XSOFT-CODESYS
ПЗ для програмування ПЛК	XSOFT-CODESYS-2 XSOFT-CODESYS-3
Операційна система	Windows Embedded Compact 7 Pro
вбудовані інтерфейси	2 x Ethernet 10/100 Мбіт/с 1 x RS232 1 x RS485 1 x CAN 1 x USB-хост 2.0 1 x USB-пристрій
USB-хост	USB 2.0, без гальванічної розв'язки
USB-пристрій	USB 2.0, без гальванічної розв'язки
РС-232	Без гальванічної розв'язки, 9-контактний штекер D-sub, UNC
РС-485	Без гальванічної розв'язки, 9-контактний штекер D-sub, UNC
Ethernet	10/100 Мбіт/с
Номінальна напруга	24 В постійного струму SELV (безпечна наднизька напруга)
Допустима напруга	Ефективна: 19,2-30,0 В пост. струму (номінальна робоча напруга -20%/+25%) Абсолютна з пульсацією: 19,2-30,0 В пост. струму Живлення від батареї: 18,0-31,2 В пост. струму (номінальна робоча напруга -25%/+30%) 35 В пост. струму протягом < 100 мс
Провали напруги	≤ 10 мс від номінальної напруги (24 В пост. струму) 5 мс від зниженої напруги (19,2 В пост. струму)
Потужність [Р макс.]	20,5 Вт



#### Продовження таблиці 5.12

Передній тип	Багатошарове захисне скло з покриттям антивідблиску в алюмінієвій рамі
Ступінь захисту (IEC/EN 60529, EN50178, VBG 4)	IP65 (спереду згідно з EN 60529-1), IP20 (ззаду згідно з EN 60529-1)
Робоча температура довкілля мін.	0 °С
Робоча температура довкілля макс.	+50 °С

### 5.5 Вибір засобів сигналізації

Для організації технологічної сигналізації застосуємо блок технологічної сигналізації ПТС-164.

Блок технологічної сигналізації застосовується для узагальненої та поканальної сигналізації параметрів технологічних процесів, значення яких в процесі роботи перевищують ті або інші технологічні уставки. Використовується в локальних та комплексних системах промислової автоматизації виробничих процесів в схемах технологічної та аварійної сигналізації.

Прилад технологічної сигналізації ПТС-164[] складається з одного блоку ПТС-25 (ведучий пристрій або прилад узагальненої сигналізації) та одного або кількох блоків ПТС-85 (ведене пристрій або прилад поканальної сигналізації).

Функціональні можливості.

Виконувані функції:

- Світлодіодна індикація спрацьовування поканальної (ПТС-85) та узагальненої сигналізації (ПТС-25);
- Підключення зовнішніх світлодіодних індикаторів (через клемний з'єднувач або роз'єм ГТС-Б);
- Вибір типу сигналу сигналізації - статичний сигнал (постійне свічення) або динамічний з частотою F1 або F2. Використання F1 та F2 направлено на два різноманітних (за тоном, силою звучання) звукових пристроїв;
- Квітування (зняття) сигналізації виконується за допомогою кнопки, що під'єднується до клем ПТС-25;
- Перевірка (тестування) сигналізації виконується за допомогою кнопки, що під'єднується до клем ПТС-25.

Пристрій ПТС-25 (ведучий) містить:

- Два незалежних канали сигналізації, що перемикаються контактами частоти F1 та F2;
- Задатчик частоти сигналів сигналізації F1 та F2;
- Вузол квітування (зняття) сигналізації;
- Вузол перевірки сигналізації;

Пристрій ПТС-85 (ведений) містить:

- Вісім незалежних каналів сигналізації з можливістю поканального вибору сигнала

сигналізації та номеру каналу спрацьовування сигналізації ПТС-25.

Зовнішній вигляд приладу технологічної сигналізації ПТС-64 представлений на рис. 5.17.



Рисунок 5.17 - Зовнішній вид приладу технологічної сигналізації ПТС-164

Підключення приладу технологічної сигналізації ПТС-164 здійснюється наступним чином. До ведучого пристрою ПТС-25 приєднуються від одного до восьми ведених пристроїв ПТС-85. Схема підключення приладу представлена на рис. 5.18.

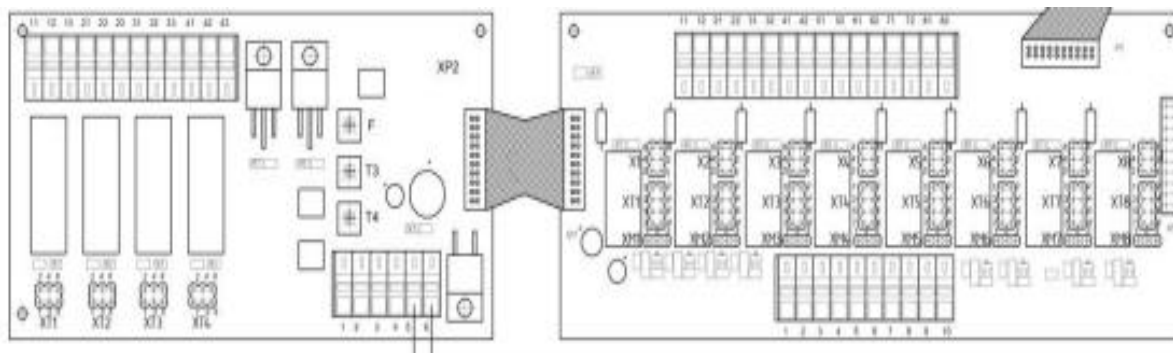


Рисунок 5.18 – Схема підключення приладу ПТС 164

## 5.6 Вибір блока живлення

Для живлення технічних засобів системи управління застосуємо блок живлення РМС-24V600W1ВА[27] 600Вт/24В / 25А /1-фазн., метал. корпус, для кріплення на панель. Він призначений для живлення стабілізованою напругою постійного струму комплексів вимірювальних перетворювачів теплоенергетичних параметрів, а також різних приладів та промислового обладнання.

Зовнішній вигляд блоку живлення PMC-24V600W1BA представлений на рис. 5.19.



Рисунок 5.19 - Зовнішній вид блоку живлення PMC-24V600W1BA.

Особливості блоку:

- Широкий діапазон вхідної напруги 85-264 В змінного струму або 120-375 В DC;
- Високий рівень захисту: захист від перевантаження, захист від перенапруги, захист від короткого замикання, тепловий захист;
- Витримує навантаження 200% (1200Вт) протягом 5 секунд;
- З функцією активної корекції фактора потужності (Active PFC);
- Відповідність RoHS;
- Можливість ручного коригування вихідної напруги;
- Час напрацювання на відмову MTBF – 300000 годин;
- Термін експлуатації – понад 10 років.

Технічні характеристики блоку живлення PMC-24V600W1BA наведені в табл. 5.13.

Таблиця 5.13 \_ Технічні характеристики блоку живлення PMC-24V600W1BA

Технічна характеристика	Значення
Тип блоку живлення	Імпульсний
Кількість фаз	1
Мінімальна вхідна напруга	85 В
Максимальна вхідна напруга	264 В
Номинальна вихідна напруга	24 В
Номинальне значення струму навантаження	25 А
Вихідний струм	не більше 25 А
Вихідна потужність	не більше 600 Вт
Точність вимірювання	+/- 1%
Коефіцієнт потужності	0.89
Захист від короткого замикання	Так
Захист від перевантаження	Так

Продовження табл. 5.13

Гвинтове приєднання	Так
Мінімальна робоча температура	-20 град.
Максимальна робоча температура	70 град.

Для живлення ПЛК, модулів вводу/виводу, панелі оператора, ПТС-164, електроприводу виконавчого механізму, а також датчиків оберемо блок живлення. Застосуємо 1 блок живлення PMS-24V600W1BA.

## 6 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Структура автоматизованої системи управління визначається її задачами в сфері діяльності підприємства, зв'язків структурних підрозділів, задіяних в управлінні, напрямками і формами передачі інформації.

На рис. 5.1 представлена модель трирівневої структурної схеми автоматизованої системи сучасного виробництва, як однієї з найпоширеніших.

Нижній рівень цієї схеми становлять вимірювальні прилади і виконавчі механізми. Наразі вони можуть бути аналоговими або цифровими (інтелектуальними). Аналогові представляють вимірювану величину у вигляді рівня напруги або струму. Цифрові ж мають вбудовані пристрої перетворення і представляють вимірювану величину у вигляді цифрового сигналу, що відповідає специфікації протоколу передачі даних, визначеного для цих пристроїв. Як правило, для кожного типу існують свої протоколи і формати обміну інформацією. Для обміну інформацією з приладами першого типу, необхідно використовувати АЦП / ЦАП (Аналого-цифрові/Цифро-аналогові перетворювачі).

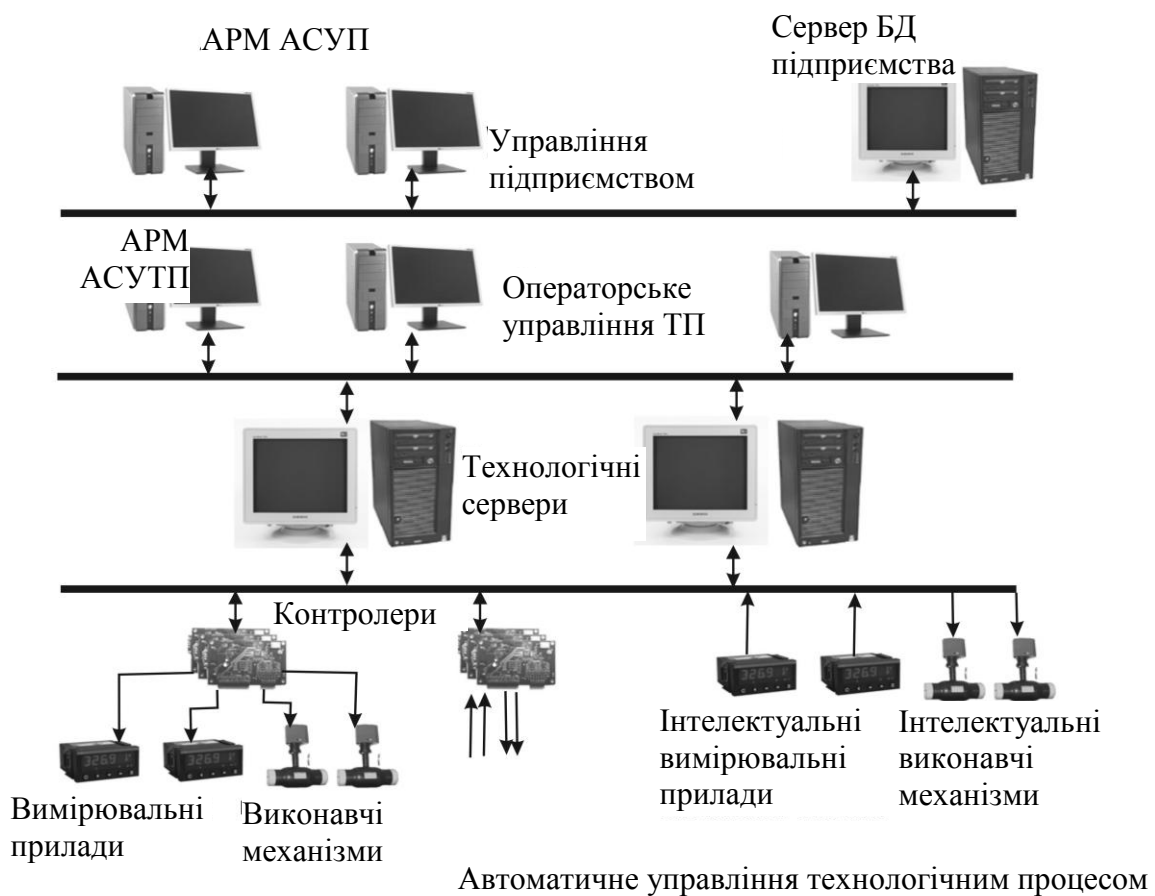


Рисунок 6.1 - Узагальнена структурна схема трирівневої автоматизованої системи управління сучасного виробництва

Із приладами другого типу можна обмінюватися інформацією безпосередньо мережею передачі даних.

Наступний рівень схеми - контролери. Вони виконують функцію автоматичного керування технологічним процесом. Метою управління є видача сигналів на виконавчі механізми в результаті обробки даних про стан технологічних параметрів, отриманих за допомогою вимірювальних приладів, за певними алгоритмами.

Сервери технологічних даних забезпечують обмін інформацією між технологічними пристроями і мережею персональних комп'ютерів. Вони підтримують протокол роботи з технологічними пристроями і протокол роботи з мережею персональних комп'ютерів. Дані про поточні параметри технологічного процесу можуть бути використані для контролю стану технологічного процесу і управління ним з автоматизованих робочих місць операторів; для архівування історії зміни технологічних параметрів; для формування сумарних звітних форм з метою надання інформації керівному персоналу. У цій схемі, SCADA-система (аббревіатура за іноземною класифікацією) представлена серверами технологічних даних та автоматизованими робочими місцями операторів.

Сучасна SCADA система - це набір інструментальних засобів і виконавчих модулів, призначених для створення автоматизованих робочих місць операторів зі спостереження за станом технологічного процесу і керування ним.

Відзначимо функції SCADA-систем:

- 1) збір, первинну обробку та накопичення інформації про параметри технологічного процесу і стан обладнання від промислових контролерів і інших цифрових пристроїв, безпосередньо пов'язаних з технологічною апаратурою;
- 2) відображення інформації про поточні параметри технологічного процесу на екрані монітора у вигляді графічних мнемосхем;
- 3) відображення графіків поточних значень технологічних параметрів в реальному часі за заданий інтервал;
- 4) виявлення критичних (аварійних) ситуацій;
- 5) виведення на екран монітора технологічних та аварійних повідомлень;
- 6) архівування історії зміни параметрів технологічного процесу;
- 7) операторське управління технологічним процесом;
- 8) надання даних про параметри технологічного процесу для їх використання в системах управління підприємством.

На третьому рівні сервери баз даних підприємства формують зведені плани роботи за всією номенклатурою продукції, отримують дані з рівня оперативного управління і створюють звіти про випуск продукції і формування виробничих і фінансових показників.

Така структура за принципом відкритих систем може бути розширена в певному напрямку і також – обмежена.

## 7 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 7.1 Ідентифікація об'єкта управління

Для розрахунку виберемо процес підтримки температури плаву аміачної селітри у випарнику, як одного з основних процесів отримання аміачної селітри. Об'єкт являє собою вертикальний кожухотрубний одноходовий випарник. Упарювання йде за рахунок тепла конденсації насиченої пари і гарячого повітря. Температура підтримується подачею гарячого повітря у навколотрубному просторі випарника.

Крива розгону об'єкта по основному каналу, отримана в результаті проведення експерименту приведена до нормованого виду, наведена на рис. 7.1

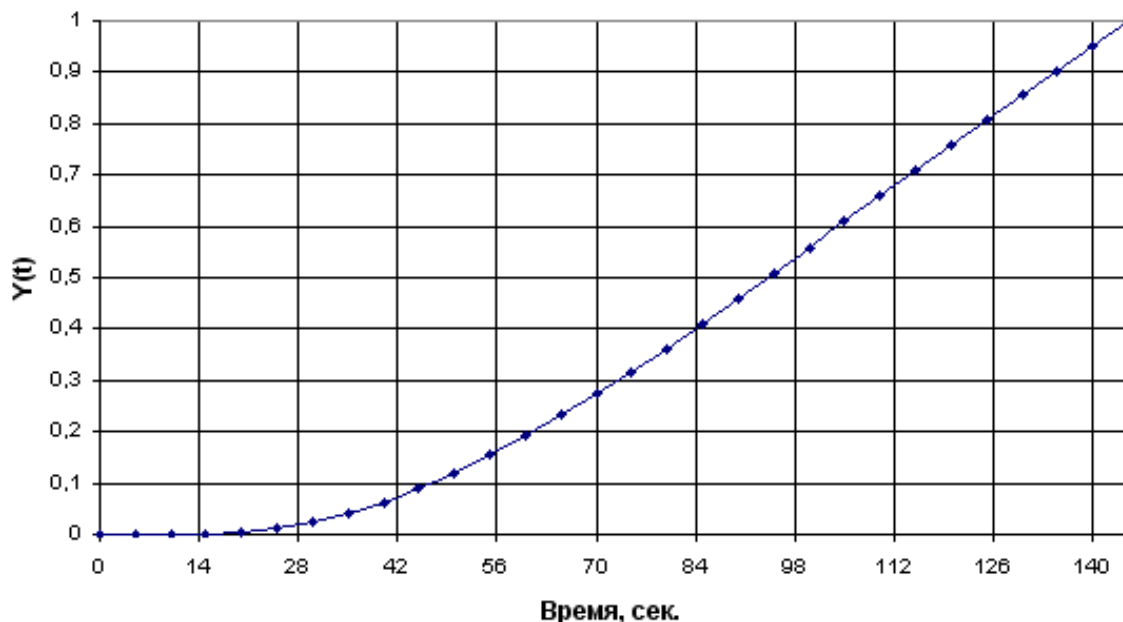


Рисунок 7.1 - Нормована крива розгону об'єкта основним каналом

Визначення передавальної функції об'єкта основним каналом проводимо по кривій розгону, отриманій в результаті експерименту. Розрахунок ведемо відповідно до рекомендованої послідовності як для об'єкта без самовирівнювання. До кривої розгону проводимо асимптоти (рис. 7.2).



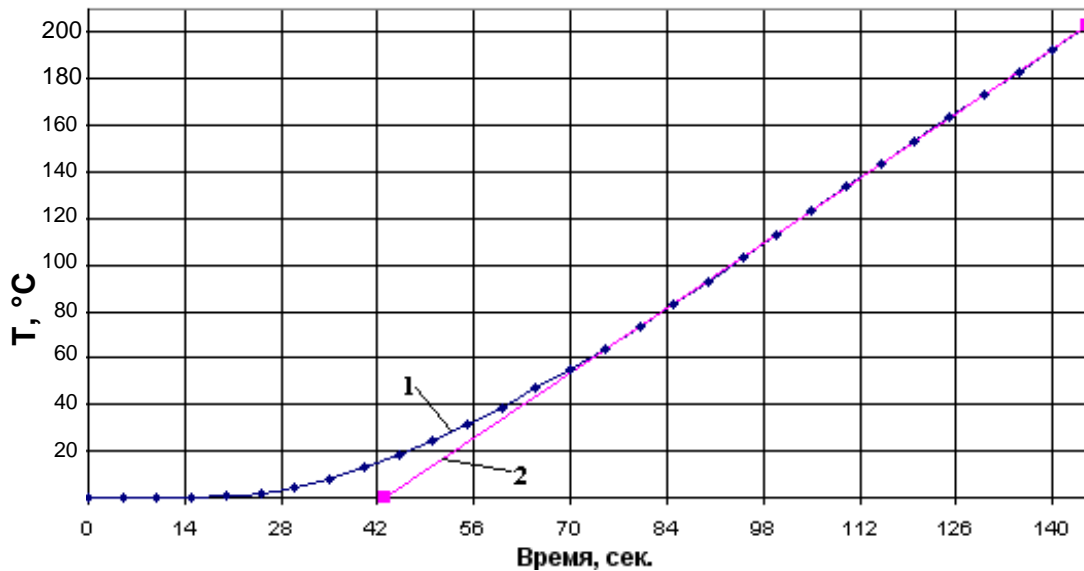


Рисунок 7.2 – Обробка кривої розгону: 1-Крива розгону об'єкта по основному каналу; 2- Асимптота.

Знаходимо тангенс кута нахилу асимптоти:

$$\text{tg } \alpha = k_1 = (202,68 - 0) / (145 - 43) = 1,98 \text{ (град./с)}.$$

Далі оформляємо таблицю 7.1. У першому стовпці записуємо час  $t$ , у другому стовпці - значення кривої розгону за даними експерименту, у третьому стовпці - значення прямої  $X_1(t)$ , які знаходимо за формулою:

$$X_1 = k_1 \cdot t$$

Таблиця 7.1\_Розкладання кривої розгону об'єкта на ряд фіктивних об'єктів

Час, с	Температура, °С	$X_1=K_1 \cdot x(t)$	$X_2=X_1-X_{\text{вих}}$	$X_{1\text{норм}}$	$X_{2\text{норм}}$
0	0,00	0	0	0	0
5	0,00	9,95	09,95	0,115873	0,115873
10	0,00	19,9	19,9	0,231746	0,231746
15	0,00	29,85	29,85	0,347618	0,347618
20	0,60	39,8	39,2	0,463491	0,456504
25	2,17	49,75	47,58	0,579364	0,554093
30	4,58	59,7	55,12	0,695237	0,641901
35	8,19	69,65	61,46	0,811111	0,715733
40	12,77	79,6	66,83	0,926983	0,778269
45	18,18	89,55	71,37	1,042855	0,83114
50	24,45	99,5	75,05	1,158728	0,873996
55	31,67	109,45	77,78	1,274601	0,905788
60	38,90	119,4	80,5	1,390474	0,937464
65	46,97	129,35	82,38	1,506347	0,959357
70	55,40	139,3	83,9	1,62222	0,977058
75	64,19	149,25	85,06	1,738092	0,990567
80	73,22	159,2	85,98	1,853965	1,001281
85	82,85	169,15	86,3	1,969838	1,005008
90	93,09	179,1	86,01	2,085711	1,00163

Продовження таблиці 7.1

95	103,33	189,05	85,72	2,201584	0,998253
100	113,20	199,0	85,8	2,317457	0,999185
105	123,44	208,95	85,51	2,433329	0,995808
110	133,68	218,9	85,22	2,549202	0,99243
115	143,31	228,85	85,54	2,665075	0,996157
120	153,55	238,8	85,25	2,780948	0,99278
125	163,78	248,75	84,97	2,896821	0,989519
130	173,42	258,7	85,28	3,012694	0,993129
135	183,05	268,65	85,6	3,128566	0,996856
140	192,69	278,6	85,91	3,244439	1,000466
145	202,68	288,55	85,87	3,360312	1

Віднімаючи з прямої  $X_1(t)$  вихідну криву  $X_{\text{вих}}(t)$  отримуємо функцію  $X_2(t)$ .

$$X_2(t) = X_1(t) - X_{\text{вих}}(t)$$

Значення отриманої кривої записуємо в четвертий стовпець таблиці 7.1.

Таким чином, вихідну криву розгону ми розклали на два фіктивні об'єкти -  $X_1(t)$  та  $X_2(t)$ . Перший з яких – пряма, другий – крива звичайного об'єкта із самовирівнюванням. Значення кривих  $X_1(t)$  та  $X_2(t)$  ділимо на  $X_{2\text{max}} = 85,87 \text{ } ^\circ\text{C}$  і значення  $X_1(t)_{\text{норм.}}$  та  $X_2(t)_{\text{норм.}}$  заносимо у п'ятий і шостий стовпці таблиці 7.1. Таким чином, обидві фіктивні функції наведені до безрозмірної форми.

Отримані фіктивні об'єкти на рис. 7.3.

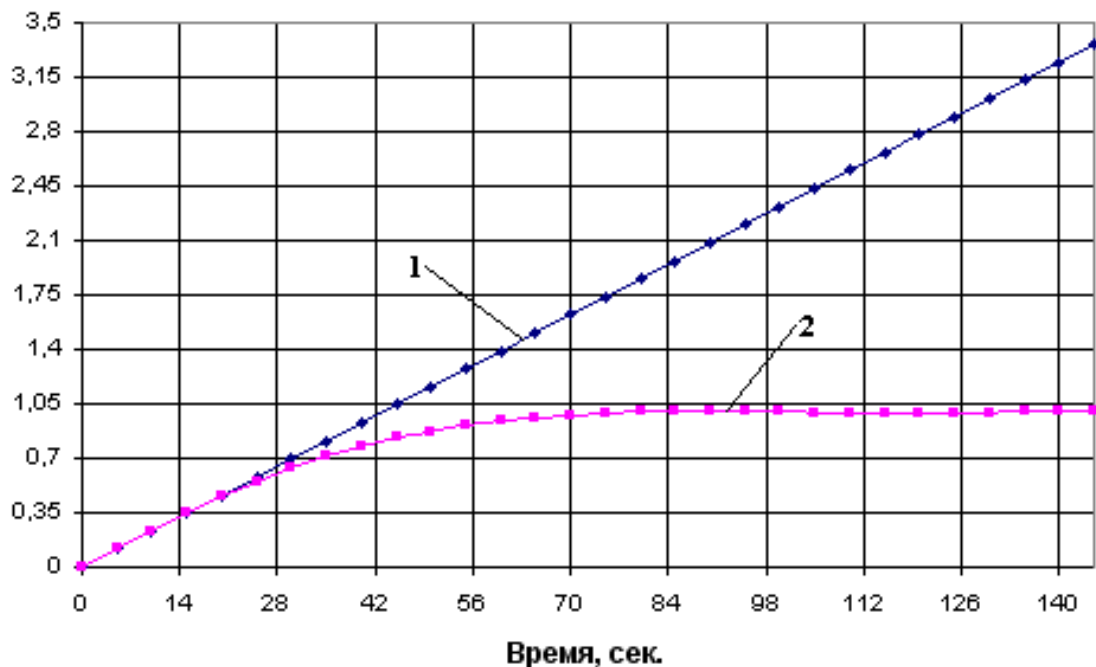


Рисунок 7.3 - Нормовані криві: 1 першого фіктивного об'єкта;

2- другого фіктивного об'єкта.

Передатна функція, що відповідає кривій першого фіктивного об'єкта, є передатною функцією інтегруючої ланки і може бути записана в наступному вигляді:

$$W_A(s) = \frac{k_1}{X_{2max}} \cdot \frac{1}{s} = \frac{1,98}{85,87} \cdot \frac{1}{s} = \frac{0,023}{s}$$

Визначення передавальної функції другого фіктивного об'єкта проводиться у тому порядку, що й об'єктів з самовирівнюванням. Подібні об'єкти відмінно розраховуються за допомогою програмного забезпечення, зокрема *Calcul9*. Для розрахунку передавальної функції достатньо ввести до програми значення точок кривої розгону об'єкта:

$$W_A(s) = \frac{1,476s + 1}{189,645s^2 + 27,584s + 1}$$

$$W_1 = \frac{0,023}{s} - \frac{1,476s + 1}{189,645s^2 + 27,584s + 1} = \frac{125,47s^2 + 15,89s + 1}{8237,83s^3 + 1199,31s^2 + 43,48s}$$

Знаходимо наступні коефіцієнти за основним каналом (для  $W_1(s)$ ):

	<i>A</i>	<i>B</i>
k(0)	0	1
K(1)	43,48	15,89
K(2)	1199,31	125,47
K(3)	8237,83	

Коефіцієнт передачі об'єкта основним каналом становить:

$$K = \frac{X_{2max}}{w} = \frac{8,587}{10} = 0,859,$$

де  $w$  - величина зовнішнього збурення,  $w = 10\%$ .

## 7.2 Перевірка апроксимації

Перевірку апроксимації проводимо для знаходження статичної помилки між експериментальною кривою розгону і кривою отриманої по розрахунковому перехідному процесу по кожному каналу.

Перевірку апроксимації проводимо за допомогою теореми розкладання в програмі «Калькулятор передавальних функцій» *CALCUL9*. Після введення в програму коефіцієнтів передавальної функції отримаємо наступний математичний вираз реакції системи на одиничний ступінчастий вплив  $y(t)$ :

$$y(t) = \text{Exp}^{(-0,068 \cdot (t+20,000))} \cdot (+1,432) + \text{Exp}^{(-0,077 \cdot (t+20,000))} \cdot (-1,163) + 0,023 \cdot (t + 20,000)^{-1} - 0,269$$

Корені аналітичного виразу:

$$0,068 - j0,000$$

$$0,077 - j0,000$$

0,000+j0,000

Координати точок нормованої та апроксимованої кривих розгону по основному каналу  $W_1(S)$  занесемо в таблицю 7.2.

Таблиця 7.2\_Перевірка апроксимації кривої перехідного процесу каналом зовнішнього обурення

Час, с	Темп., °С	Нормоване значення	Апроксимоване значення	Похибка
0	0,00	0	0	0
5	0,00	0	0	0
10	0,00	0	0	0
15	0,00	0	0	0
20	0,60	0,00296	0,000001	0,295933
25	2,17	0,010707	0,018405	-0,76985
30	4,58	0,022597	0,036829	-1,42318
35	8,19	0,040409	0,056717	-1,63085
40	12,77	0,063006	0,085632	-2,26263
45	18,18	0,089698	0,112659	-2,2961
50	24,45	0,120634	0,14864	-2,80065
55	31,67	0,156256	0,186322	-3,00658
60	38,90	0,191928	0,225421	-3,34928
65	46,97	0,231745	0,265671	-3,39264
70	55,40	0,273337	0,306835	-3,34977
75	64,19	0,316706	0,348716	-3,20099
80	73,22	0,361259	0,391151	-2,98919
85	82,85	0,408772	0,43401	-2,52376
90	93,09	0,459295	0,487191	-2,78956
95	103,33	0,509818	0,530615	-2,07966
100	113,20	0,558516	0,584222	-2,57061
105	123,44	0,609039	0,637964	-2,89251
110	133,68	0,659562	0,691808	-3,22461
115	143,31	0,707075	0,735726	-2,86508
120	153,55	0,757598	0,7797	-2,21018
125	163,78	0,808072	0,823714	-1,56422
130	173,42	0,855634	0,867758	-1,21235
135	183,05	0,903148	0,911824	-0,86762
140	192,69	0,95071	0,955906	-0,51955
145	202,68	1	1	0

Порівняння графіків нормованої та апроксимованої кривих розгону представлено на рис. 7.4

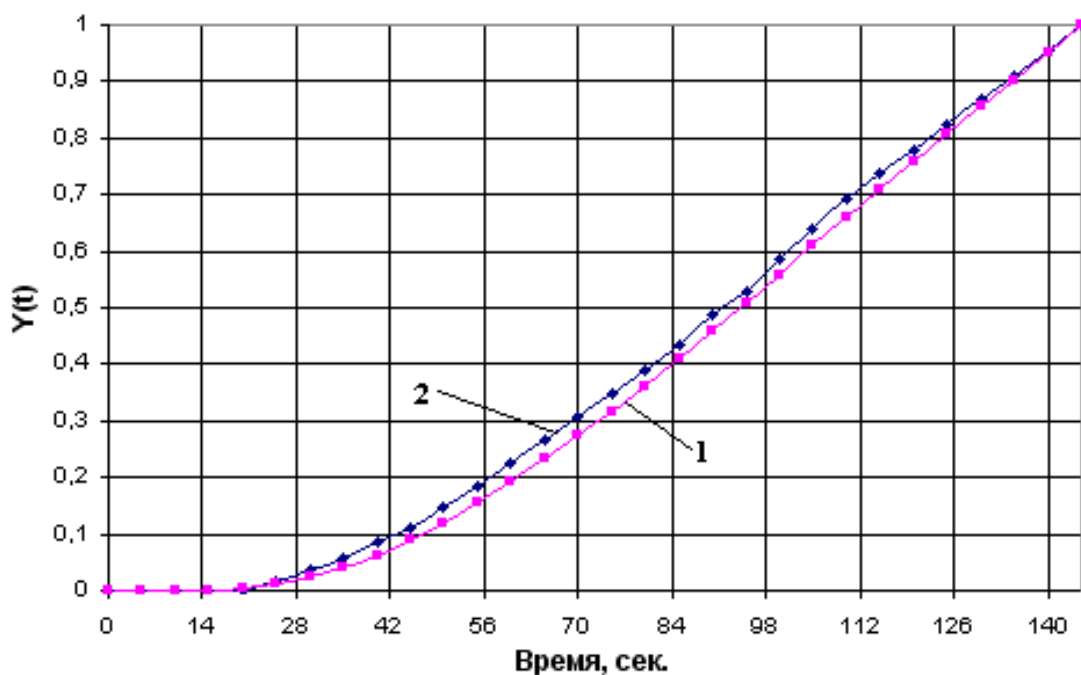


Рисунок 7.4 – Порівняння кривих розгону: 1-нормована; 2- апроксимована. 4 – Порівняння кривих розгону: 1-нормована; 2- апроксимована.

### 7.3 Обробка кривої розгону внутрішнього каналу

Аналогічно обробці даних основного каналу, отримаємо нормовану і апроксимовану криву розгону для внутрішнього контуру. За отриманими даними табл. 7.3 будемо графік нормованої кривої розгону рис. 7.5

Таблиця. 7.3\_Перевірка апроксимації кривої перехідного процесу за внутрішнім каналом

Час, с.	Витрата повітря, м <sup>3</sup> /год.	Нормоване значення температури	Апроксимоване значення температури	Похибка
0	12,3	0	0	0
0,5	12,45	0,060932	0,031891	2,904107
1	12,68	0,121864	0,109251	1,261301
1,5	13,25	0,191159	0,210609	-1,94496
2	13,94	0,276583	0,321048	-4,44653
2,5	14,62	0,381123	0,430658	-4,95346
3	15,31	0,492832	0,533256	-4,04243
3,5	16,18	0,604241	0,625373	-2,11318
4	16,99	0,708184	0,705449	0,273463
4,5	17,67	0,798984	0,773217	2,576772
5	18,1	0,868578	0,829236	3,934246
5,5	18,35	0,916965	0,874554	4,241102
6	18,51	0,946535	0,910464	3,607082
6,5	18,61	0,964456	0,938335	2,612121
7	18,66	0,975806	0,959503	1,630338
7,5	18,7	0,982975	0,975205	0,777001

Продовження таблиці 7.3

8	18,73	0,987754	0,986542	0,121225
8,5	18,75	0,991637	0,994464	-0,28269
9	18,77	0,994624	0,999771	-0,51469
9,5	18,79	0,997312	1,00312	-0,58077
10	18,8	1	1,00504	-0,50397

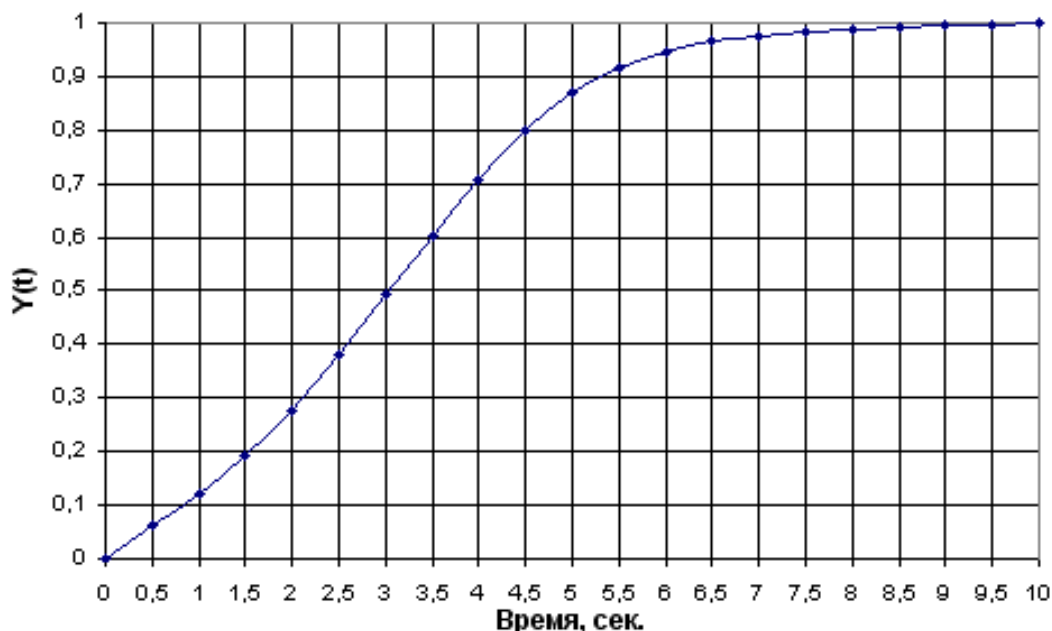


Рисунок 7.5 – Графік нормованої кривої розгону внутрішнього каналу.

Для отримання передавальної функції  $W_2(S)$  використовуємо метод Симою[29] (метод площ). Знаходимо наступні коефіцієнти по внутрішньому каналу (для  $W_2(S)$ ):

$$W_2 = \frac{1}{3,357s^2 + 3,118s + 1}$$

	A	B
K(0)	1	1
K(1)	3,118	
K(2)	3,357	

Перевірку апроксимації проводимо за допомогою теореми розкладання в програмі «Калькулятор передавальних функцій» *CALCUL9*. Після введення в програму коефіцієнтів передавальної функції отримаємо наступний математичний вираз реакції системи на одиничний ступінчастий вплив  $y(t)$ :

$$y(t) = \text{Exp}^{(-0,464t)} * (+1,903 * \cos(t * 0,287 + 2,124)) + 1,000$$

Корені аналітичного виразу:

$$0,464 - j0,287$$

0,464+j0,287

Порівняємо графіки нормованих та апроксимованих кривих розгону для внутрішнього каналу (для  $W_2(S)$ ) (рис. 7.6):

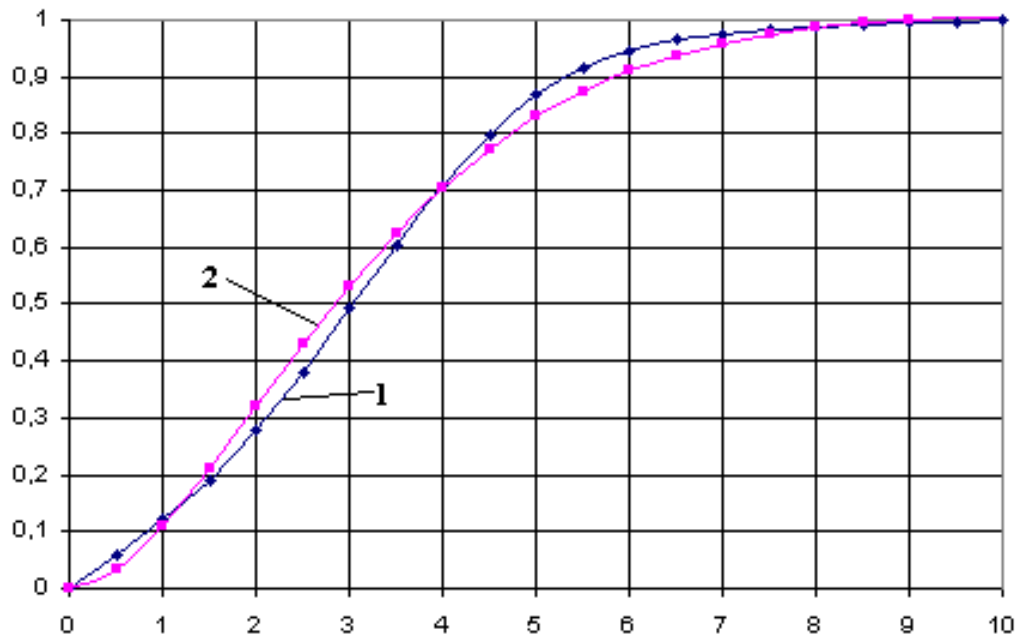


Рисунок 7.6 – Порівняння кривих розгону: 1-нормована; 2- апроксимована.

#### 7.4 Обробка кривої розгону зовнішнього збурення

Апроксимацію перехідного процесу по каналу зовнішнього збурення проводимо в послідовності, проведеної при апроксимації перехідного процесу по основному каналу, так як обидва об'єкти є об'єктами без самовирівнювання.

З графіка знаходимо тангенс кута нахилу асимптоти:

$$k_1 = \operatorname{tg} a = (0 - 13,368) / (230 - 90) = 0,0955; \text{ (град./с.)}$$

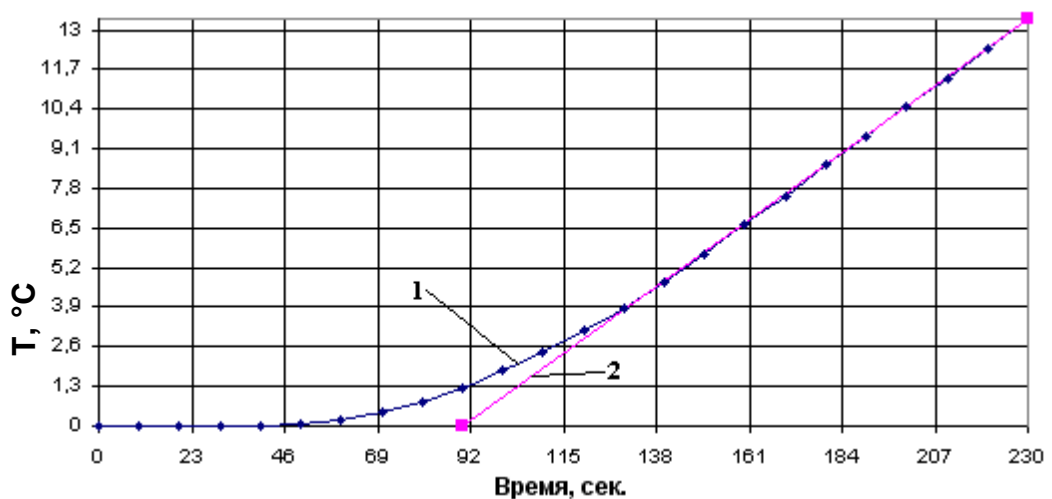


Рисунок 7.7 - Обробка кривої розгону по каналу зовнішнього збурення:

1-Крива розгону об'єкта по основному каналу; 2- Асимптота.

Далі заповнюємо таблицю 7.4.

У першому стовпці записуємо час  $t$ , у другому стовпці - значення кривої розгону за даними експерименту, у третьому стовпці - значення прямої  $X_1(t)$ , які знаходимо за формулою:

$$X_1 = k_1 \cdot t$$

Віднімаючи з вихідної кривої  $X_{\text{вих}}(t)$  пряму  $X_1(t)$  отримуємо функцію  $X_2(t)$ .

$$X_2(t) = X_1(t) - X_{\text{вих}}(t)$$

Значення одержаної кривої записуємо в четвертий стовпець таблиці 7.4.

Таблиця 7.4-Розкладання кривої розгону об'єкта на ряд фіктивних об'єктів

Час, с	Температура, °C	$X_1=K_1xt$	$X_2=X_1-X_{\text{вих}}$	$X_{1\text{норм}}$	$X_{2\text{норм}}$
0	0	0	0	0	0
10	0	0,955	0,955	0,111107	0,111107
20	0	1,910	1,910	0,222215	0,222215
30	0	2,865	2,865	0,333322	0,333322
40	0	3,819	3,819	0,44443	0,44443
50	0,60	4,774	4,714	0,555537	0,548555
60	2,17	5,729	5,512	0,666645	0,641394
70	4,58	6,684	6,226	0,777752	0,724459
80	8,19	7,639	6,820	0,888859	0,79356
90	12,77	8,594	7,317	0,999967	0,851375
100	18,18	9,549	7,731	1,111074	0,899531
110	24,45	10,503	8,058	1,222182	0,937681
120	31,67	11,458	8,291	1,333289	0,964776
130	38,90	12,413	8,523	1,444396	0,991755
140	46,97	13,368	8,671	1,555504	1,00896
150	55,40	14,323	8,683	1,666611	1,010339
160	64,19	15,278	8,659	1,777719	1,00753
170	73,22	16,233	8,681	1,888826	1,010073
180	82,85	17,187	8,602	1,999934	1,000981
190	93,09	18,142	8,633	2,111041	1,004571
200	103,33	19,097	8,634	2,222148	1,004671
210	113,20	20,052	8,662	2,333256	1,007912
220	123,44	21,007	8,633	2,444363	1,004521
230	133,68	21,962	8,594	2,555471	0,999967

Таким чином, вихідну криву розгону ми розклали на два фіктивні об'єкти -  $X_1(t)$  та  $X_2(t)$ . Перший з яких - пряма, другий - крива звичайного об'єкта з самовирівнюванням. Значення кривих  $X_1(t)$  та  $X_2(t)$  ділимо на  $X_{2\text{max}} = 8,594$  °C і знаходимо значення  $X_1(t)_{\text{норм}}$  та  $X_2(t)_{\text{норм}}$ , і заносимо у п'ятий і шостий стовпці таблиці 7.4. Таким чином, обидві фіктивні функції наведені до безрозмірної форми.

Отримані нормовані криві фіктивних об'єктів на рис. 7.8.



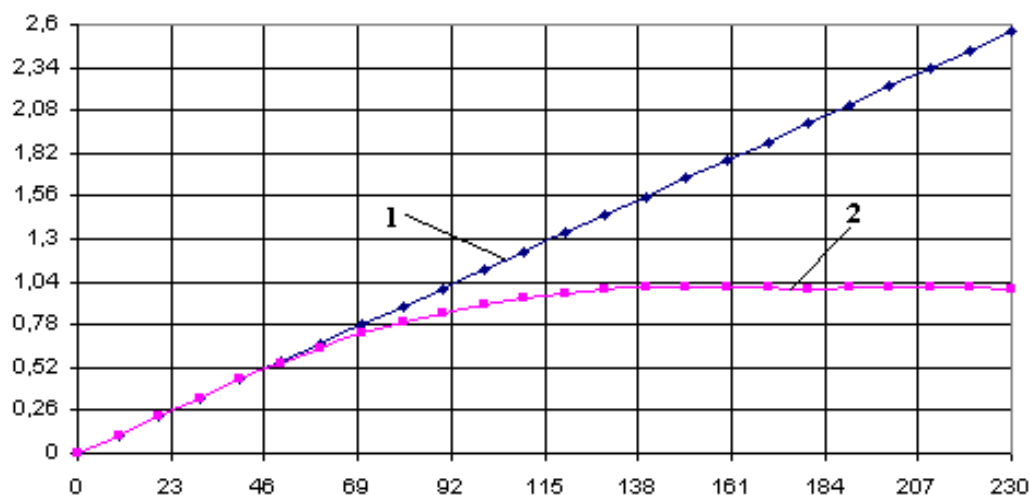


Рисунок 7.8 – Нормовані криві: 1 першого фіктивного об'єкта;  
2- другого фіктивного об'єкта.

Передатна функція, що відповідає кривій першого фіктивного об'єкта, є передатною функцією інтегруючої ланки і може бути записана в наступному вигляді:

$$W_A(S) = \frac{k_1}{X_{2\max}} \cdot \frac{1}{S} = \frac{0,0955}{8,594} \cdot \frac{1}{S} = \frac{0,0111}{S}$$

Визначення передавальної функції другого фіктивного об'єкта проводиться у тому порядку, що й об'єктів з самовирівнюванням. Подібні об'єкти відмінно розраховуються за допомогою програмного забезпечення, зокрема *Calcul9*. Для розрахунку передавальної функції достатньо ввести до програми значення точок кривої розгону об'єкта:

$$W_B(S) = \frac{5,32s + 1}{1025,617s^2 + 55,07s + 1}$$

$$W_3(S) = W_A(S) - W_B(S)$$

$$W_3 = \frac{0,0111}{S} - \frac{5,32s + 1}{1025,617s^2 + 55,07s + 1} = \frac{546,31s^2 + 35,05s + 1}{92397,93s^3 + 4961,26s^2 + 90,1s}$$

Знаходимо наступні коефіцієнти основним каналом (для  $W_3(S)$ ):

	A	B
k(0)	0	1
K(1)	90,1	35,05
K(2)	4961,26	546,31
K(3)	92397,93	

Коефіцієнт передачі об'єкта каналом зовнішнього збурення становить:

$$K = \frac{X_{2\max}}{w} = \frac{8,594}{25} = 0,34$$

де  $w$  - величина зовнішнього збурення,  $w = 25 \text{ м}^3/\text{год}$ .

## 7.5 Перевірка апроксимації

Перевірку апроксимації проводимо для знаходження статичної помилки між експериментальною кривою розгону і кривою, отриманою за розрахунковим перехідним процесом по кожному каналу.

Перевірку апроксимації проводимо за допомогою теореми розкладання в програмі «Калькулятор передавальних функцій» *CALCUL9*. Після введення в програму коефіцієнтів передавальної функції отримаємо наступний математичний вираз реакції системи на одиничний ступінчастий вплив  $y(t)$ :

$$y(t) = +\text{Exp}^{(-0,027*(t+50,000))} * (+0,227 * \cos((t+50,000)*0,016+0,216)) + 0,011*(t+50,000)^{-1-0,222}$$

Корені аналітичного виразу:

$$0,027 - j0,016$$

$$0,027 + j0,016$$

$$0,000 - j0,000$$

Координати точок нормованої та апроксимованої кривих розгону по основному каналу  $W_3(S)$  занесемо в таблицю 7.5.

Таблиця 7.5 Перевірка апроксимації кривої перехідного процесу каналом зовнішнього збурення

Час, с	Температура, °С	Нормоване значення температури	Апроксимоване значення температури	Похибка
0	0	0	0	0
10	0	0	0	0
20	0	0	0	0
30	0	0	0	0
40	0	0	0	0
50	0,06	0,00448833	0,000000003	0,448833
60	0,217	0,016232795	0,025201667	-0,89689
70	0,458	0,034260922	0,054447114	-2,01862
80	0,819	0,061265709	0,097801368	-3,65357
90	1,277	0,095526631	0,13499492	-3,94683
100	1,818	0,135996409	0,175582884	-3,95865
110	2,445	0,182899461	0,22905116	-4,61517
120	3,167	0,236909037	0,274883668	-3,79746
130	3,89	0,290993417	0,332601792	-4,16084
140	4,697	0,35136146	0,391784643	-4,04232
150	5,64	0,421903052	0,46207657	-4,01735
160	6,619	0,495137642	0,533186677	-3,8049
170	7,552	0,564931179	0,604883691	-3,99525
180	8,585	0,642205266	0,676988499	-3,47832
190	9,509	0,711325554	0,749365882	-3,80403
200	10,463	0,782690006	0,811916402	-2,92264
210	11,39	0,85203471	0,874568974	-2,25343
220	12,374	0,925643327	0,937274409	-1,16311
230	13,368	1	1	0

Порівняння графіків нормованої та апроксимованої кривих розгону по каналу зовнішнього збурення представлено малюнку 7.9.

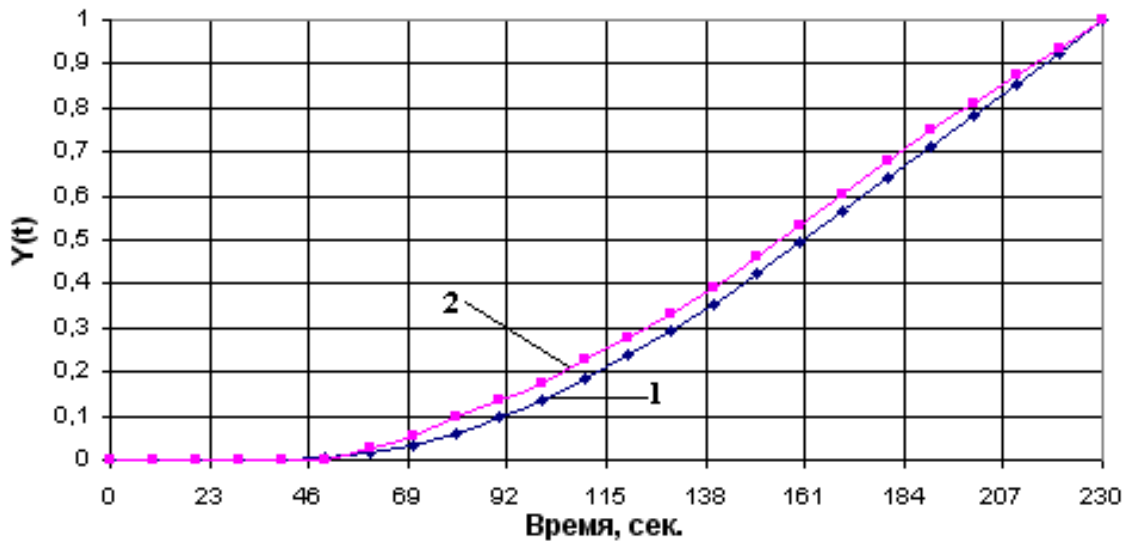


Рисунок 7.9 - Порівняння кривих розгону каналом зовнішнього збурення:  
1-нормована; 2- апроксимована.

Результати апроксимації зведемо до таблиці:

Таблиця 7.6-Передавальні функції каналами  $W_1(S)$ ,  $W_2(S)$ ,  $W_3(S)$

Передатна функція	Відносна похибка, %
$W_1(S) = \frac{125,47s^2 + 15,89s + 1}{8237,83s^3 + 1199,31s^2 + 43,48s} \cdot e^{-20s}$	3,39%
$W_2(S) = \frac{1}{3,357s^2 + 3,118s + 1}$	4,95%
$W_3(S) = \frac{546,31s^2 + 35,05s + 1}{92397,93s^3 + 4961,26s^2 + 90,1s} \cdot e^{-50s}$	4,62%

Оскільки максимальне відхилення розрахункових кривих від експериментальних не перевищує 5%, то отримані передавальні функції можуть бути використані для подальших розрахунків.

## 7.6 Розрахунок системи регулювання

Отримані передавальні функції відображають динамічні властивості об'єкта управління. Попередньо складно визначити яка схема регулювання краще впорається з поставленим завданням, тому розраховуватимемо кілька варіантів схем: одноконтурну, каскадну і комбіновану схеми.

Порядок розрахунку:

- Задаємо відомою передатною функцією.
- Вибираємо тип регулятора.
- Визначаємо налаштування регулятора.

### 7.6.1 Розрахунок одноконтурної системи регулювання

Передатна функція об'єкта основного каналу  $W_1(S)$  – температура плаву у випарнику - зміна витрати гарячого повітря на випарник має вигляд:

$$W_1(S) = \frac{125,47s^2 + 15,89s + 1}{8237,83s^3 + 1199,31s^2 + 43,48s} \cdot e^{-20s}$$

Структурна схема одноконтурної АСР регулювання температури зображена на рис. 7.10

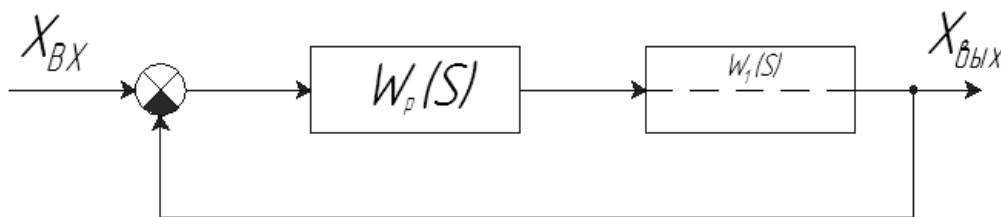


Рисунок 7.10 - Структурна схема одноконтурної АСР

де:

- Завдання, вхідний вплив - зміна подачі гарячого повітря у випарник;
- вихідна величина – температура плаву;
- Передавальна функція регулятора;
- Передавальна функція об'єкта.

Для розрахунку оптимальних налаштувань регулятора будемо використовувати програму *Calcul9*. Після запуску програми в головному меню вибираємо пункт «Оптимальний регулятор». У поле даних вносимо параметри передавальної функції об'єкта регулювання, вводимо тип регулятора і далі натискаємо «Обчислити». В даному випадку вибираємо ПІ регулятор, тому що потрібна точність регулювання та швидкодія. Отримаємо наступні налаштування регулятора зображені на рис. 7.11.

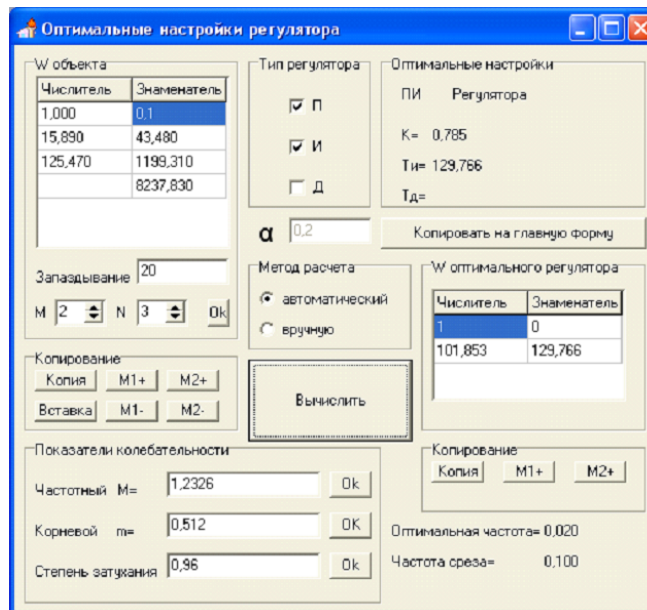


Рисунок 7.11 – Налаштування регулятора одноконтурної АСР

Коефіцієнт пропорційності  $K_p = 0,785$ ;

Час інтегрування  $T_i = 129,766$ ;

Оптимальна частота  $\omega_{\text{опт}} = 0,02$ ;

Передатна функція ПІ - регулятора має вигляд:

$$W_p(S) = K_{II} + \frac{I}{T_{II} \cdot S}$$

$$W_p(S) = 0,785 + \frac{1}{129,766 \cdot S} = \frac{101,853 \cdot S + 1}{129,766 \cdot S}$$

## 7.6.2 Розрахунок каскадної системи регулювання

### Розрахунок внутрішнього контуру

Для більш оптимального ведення процесу регулювання та підтримки технологічних параметрів на заданому рівні, можливо реалізувати каскадну схему управління. Каскадна система регулювання є однією з поширених систем регулювання з однією регульованою величиною, в якій вводиться додаткова стабілізація деякої проміжної величини додатковим регулятором. Така система складається з двох контурів (внутрішній контур - стабілізуючий чи ведений, зовнішній - коригуючий чи провідний).

На рис. 7.12. зображена структурна схема каскадної АСР, за якою робимо розрахунок оптимальних налаштувань регулятора.

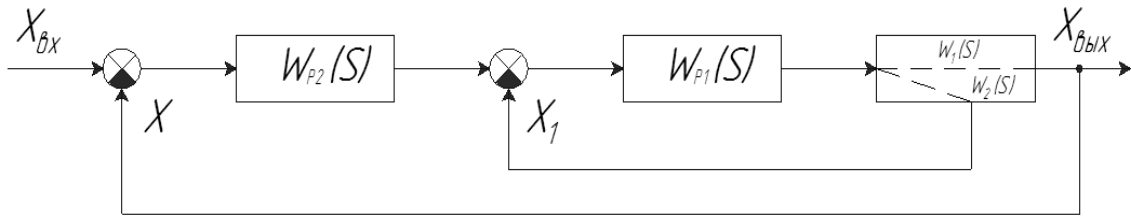


Рисунок 7.12 – Структурна схема каскадної АСР

де:

$X_{BX}$  - Завдання, вхідний вплив - заданий витрата гарячого повітря;

$X_{ВЫХ}$  - вихідна величина – температура плаву;

$W_{P1}(S)$  - передавальна функція керованого регулятора;

$W_{P2}(S)$  - Передавальна функція провідного регулятора;

$W_1(S)$  - передавальна функція об'єкта за основним контуром;

$W_2(S)$  - Передавальна функція об'єкта за внутрішнім контуром.

Регулятор P2 контролює основну величину X і за її відхиленні впливає не на регулюючий орган, а на завдання регулятора P1. А регулятор P1, у свою чергу, підтримує на заданому значенні допоміжну величину X1. Така система є двоконтурною.

Внутрішній контур, утворений  $W_{P1}(S)$  і  $W_2(S)$  є стабілізуючим або веденим. Зовнішній контур, утворений  $W_{P2}(S)$  і  $W_1(S)$  є коригуючим або провідним.

Розрахунок оптимальних налаштувань регуляторів для каскадної АСР будемо проводити в наступній послідовності:

- Визначаємо налаштування регулятора внутрішнього контуру.
- Визначаємо вид передавальної функції для еквівалентного об'єкта.
- По передавальній функції еквівалентного об'єкта визначаємо налаштування регулятора для зовнішнього контуру.

Налаштування регулятора внутрішнього контуру визначаємо за передавальною функцією внутрішнього каналу об'єкта:

$$W_2(S) = \frac{1}{3,357s^2 + 3,118s + 1}$$

Розрахунок проводимо аналогічно до розрахунку одноконтурної АСР. Отримуємо наступні налаштування регулятора (рис. 7.13):

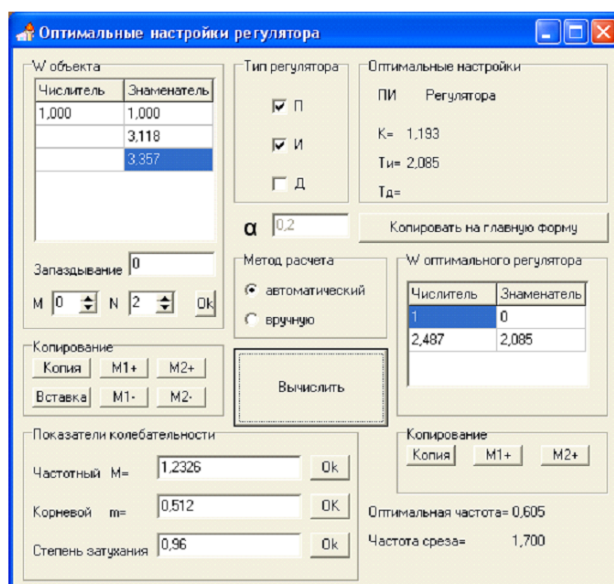


Рисунок 7.13 – Налаштування регулятора внутрішнього контуру АСР

Коефіцієнт передачі об'єкта  $K_p = 1,193$

Час інтегрування  $T_i = 2,085$ ;

Оптимальна частота  $\omega_{\text{опт}} = 0,605$ ;

Передатна функція ПІ - регулятора має вигляд:

$$W_p(S) = K_{II} + \frac{1}{T_{II} \cdot S}$$

$$W_p(S) = 1,193 + \frac{1}{2,085 \cdot S} = \frac{2,487 \cdot S + 1}{2,085 \cdot S}$$

### Розрахунок еквівалентного об'єкту

Для визначення інерційності контурів побудуємо в одній системі координат динамічну нормовану характеристику по основному каналу та криву перехідного процесу по внутрішньому каналу (рис. 7.14).

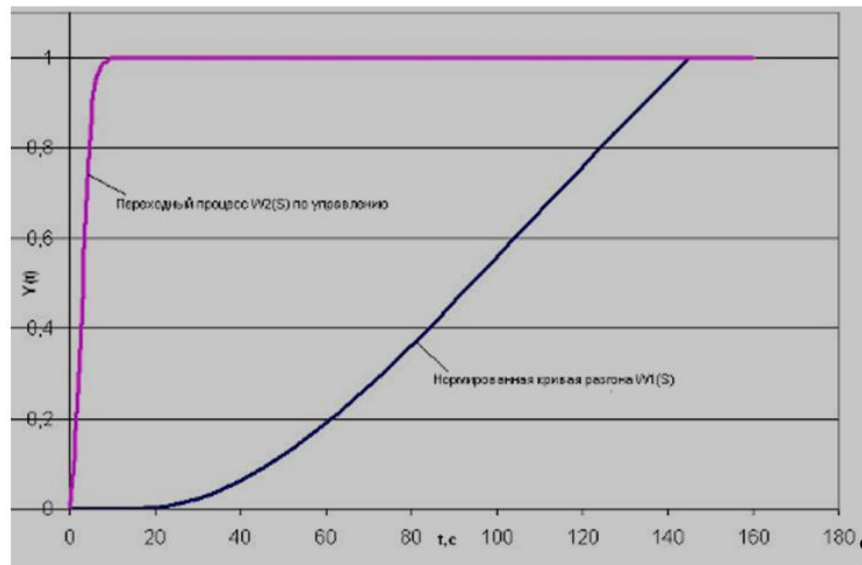


Рисунок 7.14 - Графіки кривої розгону по основному каналу (1) і перехідного процесу внутрішнього каналу з збурення (2).

Як видно з рисунка інерційність внутрішнього контуру значно менше інерційності основного, отже, передавальна функція еквівалентного об'єкта, за якою визначимо налаштування провідного регулятора, має вигляд:

$$W_3(S) = \frac{W_1(S)}{W_2(S)}$$

де:

$W_3(S)$  - Передавальна функція еквівалентного об'єкта;

$W_1(S)$  - Передавальна функція основного каналу;

$W_2(S)$  - Передавальна функція внутрішнього каналу.

Вирази для передавальних функцій  $W_1(S)$  і  $W_2(S)$  розраховані раніше і мають вигляд:

$$W_1(S) = \frac{125,47s^2 + 15,89s + 1}{8237,83s^3 + 1199,31s^2 + 43,48s} \cdot e^{-20s}$$

$$W_2(S) = \frac{1}{3,357s^2 + 3,118s + 1}$$

За допомогою програми *Calcul9* отримаємо наступні вирази для передавальної функції еквівалентного об'єкта  $W_e(S)$  (рис. 7.15):



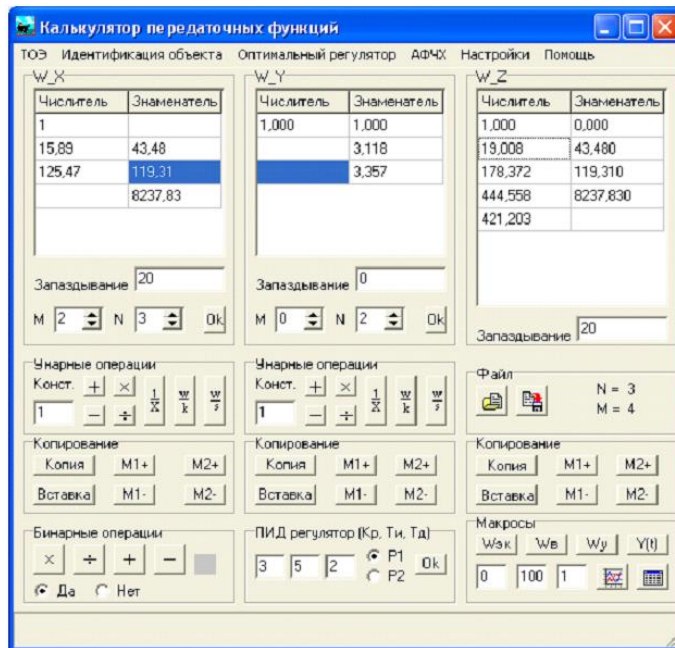


Рисунок 7.15 – Визначення передавальної функції еквівалентного об'єкта

$$W_3(s) = \frac{421,203s^4 + 444,558s^3 + 178,372s^2 + 19,008s + 1}{8237,83s^3 + 119,31s^2 + 43,48s} \cdot e^{-20s}$$

У програмі *Calcul9* визначаємо налаштування провідного регулятора. Для ПІ-регулятора одержуємо (рис. 7.16):

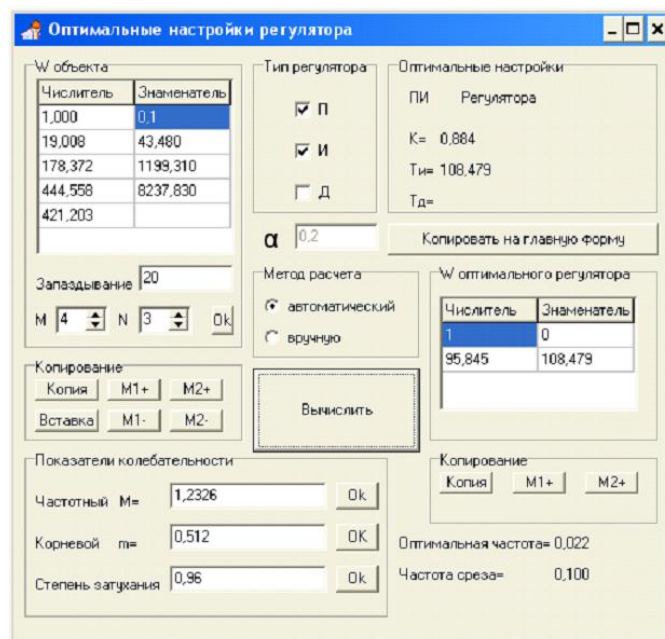


Рисунок 7.16 - Налаштування регулятора

Коефіцієнт пропорційності  $K_p = 0,884$ ;

Час інтегрування  $T_i = 108,479$ ;

Оптимальна частота  $\omega_{\text{опт}} = 0,056$ ;

Передатна функція ПІ – регулятора має вигляд:

$$W_{P2}(S) = K_{II} + \frac{1}{T_{II} \cdot S}$$

$$W_{P2}(S) = 0,884 + \frac{1}{108,479 \cdot S} = \frac{95,845 \cdot S + 1}{108,479 \cdot S}$$

Після визначення настроювальних параметрів провідного регулятора перераховуємо налаштування стабілізуючого регулятора по передавальній функції, що визначається за формулою:

$$W_{об}(S) = W_2(S) + W_1(S) \cdot W_{P2}(S)$$

Отримаємо наступну передатну функцію еквівалентного об'єкта:

$$W_{\hat{об}}(S) = \frac{40370,181 \cdot S^5 + 936661,343 \cdot S^4 + 147640,573 \cdot S^3 + 6716,861 \cdot S^2 + 114,853 \cdot S + 1}{2999920,815 \cdot S^6 + 3223088,424 \cdot S^5 + 1315116,953 \cdot S^4 + 144806,517 \cdot S^3 + 4716,667 \cdot S^2}$$

У програмі *Calcul9* отримуємо наступні уточнені настройки керованого регулятора (рис. 7.17):

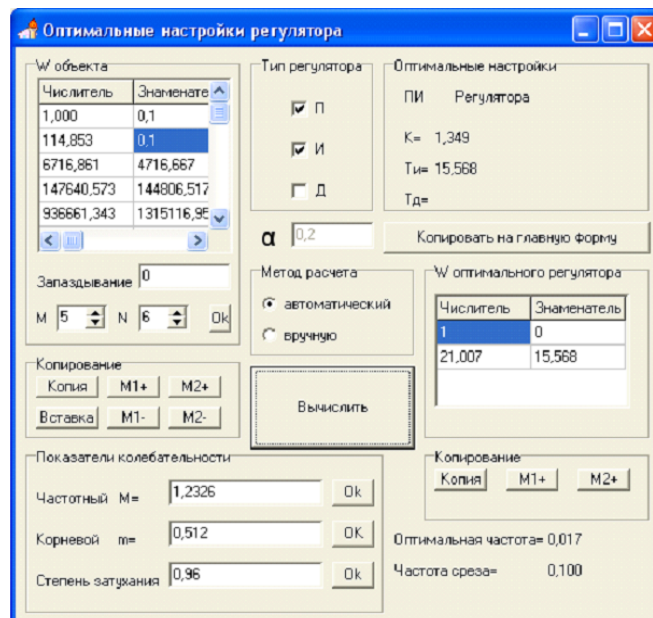


Рисунок 7.17 - Налаштування регулятора

Коефіцієнт пропорційності  $K_p = 1,349$ ;

Час інтегрування  $T_i = 15,568$ ;

Оптимальна частота  $\omega_{опт} = 0,017$ .

Передатна функція ПІ-регулятора має вигляд:

$$W_{P1}(S) = K_{II} + \frac{1}{T_{II} \cdot S}$$

$$W_{P1}(S) = 1,349 + \frac{1}{15,568 \cdot S} = \frac{21,007 \cdot S + 1}{15,568 \cdot S}$$

### 7.6.3 Розрахунок комбінованої системи регулювання

При протіканні технологічного процесу можлива ситуація, коли продуктивність випарювача не буде відповідати кількості плаву, що перекачується насосом. Ця невідповідність, безумовно, відіб'ється на часі операції випарювання і, звичайно, на температурі плаву. Таким чином, це буде збурюючим впливом, і тоді немає сенсу чекати, коли це збурення позначиться на температурі плаву і регулятор подачі гарячого повітря його відпрацює. Це збурення можна зафіксувати коригуючим пристроєм. Введення цього додаткового впливу покликане давати більш своєчасну інформацію про появу збурення від витрати плаву (ще до того, як вона встигне вплинути на основну регулюючу величину).

Структурну схему каскадно-комбінованої системи регулювання наведено на рис. 7.18.

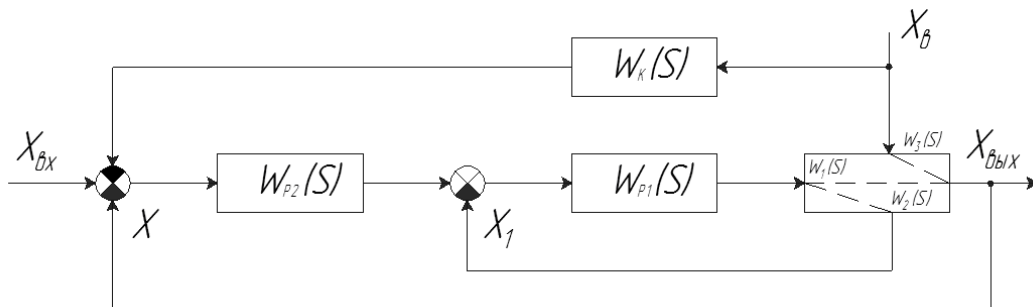


Рисунок 7.18 – Структурна схема каскадно-комбінованої системи

де:

$X_{BX}$  - Завдання, вхідний вплив - заданий витрата гарячого повітря;

$X_{BYX}$  - вихідна величина – температурі плав у випарнику;

$X_B$  - збурююча дія - витрата плав у випарника;

$W_{P1}(S)$  - передавальна функція керованого регулятора;

$W_{P2}(S)$  - Передавальна функція провідного регулятора;

$W_K(S)$  - передавальна функція пристрою введення збурення;

$W_1(S)$  - передавальна функція об'єкта за основним контуром;

$W_2(S)$  - передавальна функція об'єкта за внутрішнім контуром;

$W_3(S)$  - передавальна функція об'єкта за каналом збурення.

Для визначення налаштувань компенсуючого пристрою визначимо передатну функцію  $W_K(S)$  еквівалентного об'єкта для компенсуючого пристрою:

$$W_K(S) = \frac{W_3(S)}{W_3(S) \cdot W_{P2}(S)}$$

де:

$W_K(S)$  - передавальна функція введення обурення;

$W_3(S)$  - передавальна функція об'єкта каналом обурення;

$W_{P2}(S)$  - Передавальна функція провідного регулятора каскадної АСР;

$W_3(S)$  - Передавальна функція еквівалентного об'єкта каскадної АСР.

Вираз передавальної функції, розрахований раніше в розділі 6 і має вигляд:

$$W_3(S) = \frac{546,31s^2 + 35,05s + 1}{92397,93s^3 + 4961,26s^2 + 90,1s} \cdot e^{-50s}$$

Вираз передавальної функції  $W_3(S)$ , розрахований раніше і має вигляд:

$$W_3(S) = \frac{421,203s^4 + 444,558s^3 + 178,372s^2 + 19,008s + 1}{8237,83s^3 + 119,31s^2 + 43,48s} \cdot e^{-20s}$$

Вираз передавальної функції  $W_{P2}(S)$ , розрахований раніше і має вигляд:

$$W_{P2}(S) = 0,884 + \frac{1}{108,479 \cdot S} = \frac{95,845 \cdot S + 1}{108,479 \cdot S}$$

Підставимо значення передавальних функцій еквівалентного об'єкта, зовнішнього регулятора каскадної АСР і каналу зовнішнього збурення у формулу для обчислення передавальної функції регулятора. Проведемо відповідні математичні обчислення у програмі *Calcul9*. Отримаємо наступну передатну функцію компенсатора:

$$W_K(s) = \frac{602651,497 \cdot s^5 + 1692352,76 \cdot s^4 + 283675381,7 \cdot s^7 + 353554796,9 \cdot s^6 + 179650433,7 \cdot s^5 + 38268749,56 \cdot s^4 + 709851,468 \cdot s^3 + 41691,778 \cdot s^2 + 1103,131 \cdot s}{4159315,916 \cdot s^3 + 251418,796 \cdot s^2 + 7330,62 \cdot s + 90,1}$$

Розрахунок настроювальних параметрів компенсатора проводимо для нульової та для резонансної частоти. Резонансна частота основного каналу АСР становить 0,005 рад/с. Для визначення векторів завантажимо передатну функцію  $W_K(S)$  в програму *Calcul9*. Отримані значення представлені у таблиці 7.7.

Таблиця 7.7 -Значення векторів для розрахунку компенсуючого пристрою

Частота	Дійсна складова $U$	Уявна складова $V$
$\omega_0 = 0 \text{ c}^{-1}$	0,000	0,000
$\omega_{PE3} = 0,005 \text{ c}^{-1}$	0,3511	666,1

Як компенсуючий пристрій виберемо реальну диференціюючу ланку вигляду:

$$W(S) = \frac{Ks}{T_d s + 1}$$

Для визначення налаштувань пристрою, що компенсує, на координатній площині рис. 7.19 відкладемо вектори для нульової та резонансної частоти з табл. 7.7. Через кінець вектору і початком координат проведемо коло з центром на дійсній напіввісі.

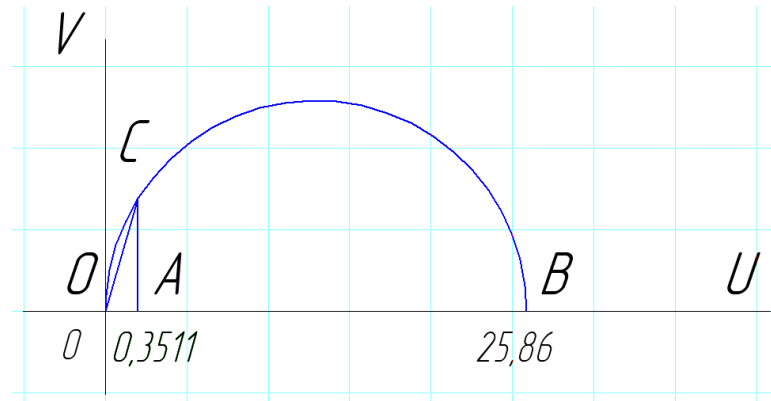


Рисунок 7.19 - Визначення параметрів компенсуючого пристрою.

Налаштування компенсуючого пристрою знайдемо за формулами:

$$K_d = OB = 25,86;$$

$$T_d = \frac{1}{\omega_{рез}} \sqrt{\frac{OA}{AB}}$$

$$OA = 0,3511 = OB - OA = 25,51$$

$$T_d = \frac{1}{0,005} \sqrt{\frac{0,3511}{25,51}} = 65,1$$

Передатна функція компенсуючого пристрою має вигляд:

$$W_k(s) = \frac{K_d \cdot s}{T_d \cdot s + 1}$$

$$W_k(s) = \frac{25,86 \cdot s}{65,1 \cdot s + 1}$$

### 7.7 Моделювання розрахованої системи регулювання

Моделювання проводимо, використовуючи програмне забезпечення *MatLab* з використанням бібліотеки *Simulink*. У даному пакеті зробимо моделювання процесу, використовуючи передавальні функції розрахованих каналів. Дані передавальні функції та налаштування регуляторів були отримані раніше. За цими даними отримуємо відгуки на одиничний стрибок по каналу управління та по каналу збурення наступних систем: одноконтурна, каскадна, каскадно-комбінована.

### 7.6.1 Перехідні процеси у одноконтурній системі регулювання

Для моделювання перехідних процесів в одноконтурній АСР з управління скористаємося моделлю, показаною на рис 7.20:

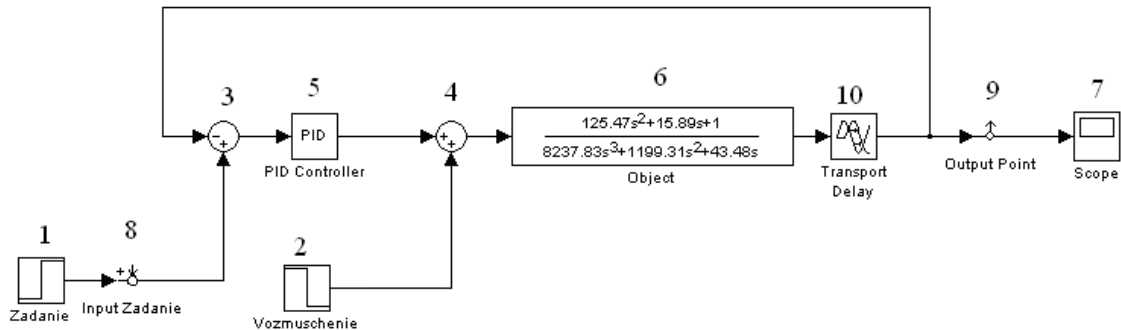


рисунок 7.20 - Модель одноконтурної АСР для зняття перехідного процесу з управління

На рис. 7.20 позначені:

- 1, 2 - блок генерації ступінчастого вихідного сигналу;
- 3, 4 - блок підсумовування або віднімання вхідних сигналів;
- 5 – блок, що реалізує функцію ПІ-регулятора;
- 6 - блок, що реалізує передавальну функцію  $W_1(S)$  по основному каналу;
- 7 - блок, який графічно реєструє зміну контрольованої величини в часі для подальшого аналізу;
- 8 - точка подачі збурювальних впливів аналізатора LTI Viewer;
- 9 – точка контролю аналізатора LTI Viewer;
- 10 - блок, що реалізує запізнення основного каналу  $W_1(S)$ .

Параметри налаштування блоку ПІ регулятора показано на рис. 7.21. Оскільки блок ПІ-регулятора використовує коефіцієнт інтегральної складової  $K_{II} = \frac{I}{T_{II}}$ , то в налаштуваннях блоку

ПІ-регулятора вказана величина  $K_{II} = \frac{1}{129,766}$ .

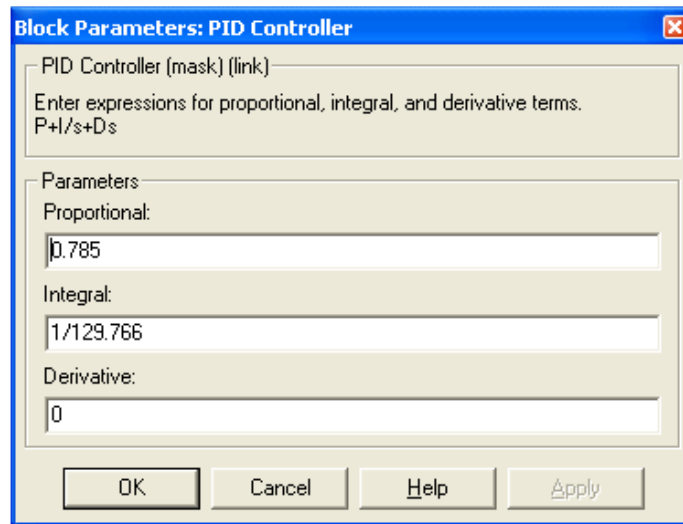


Рисунок 7.21 – Параметри налаштування блоку ПІ-регулятора.

Отриманий графік перехідного процесу в одноконтурній АСР з управління показаний на рис. 7.22.

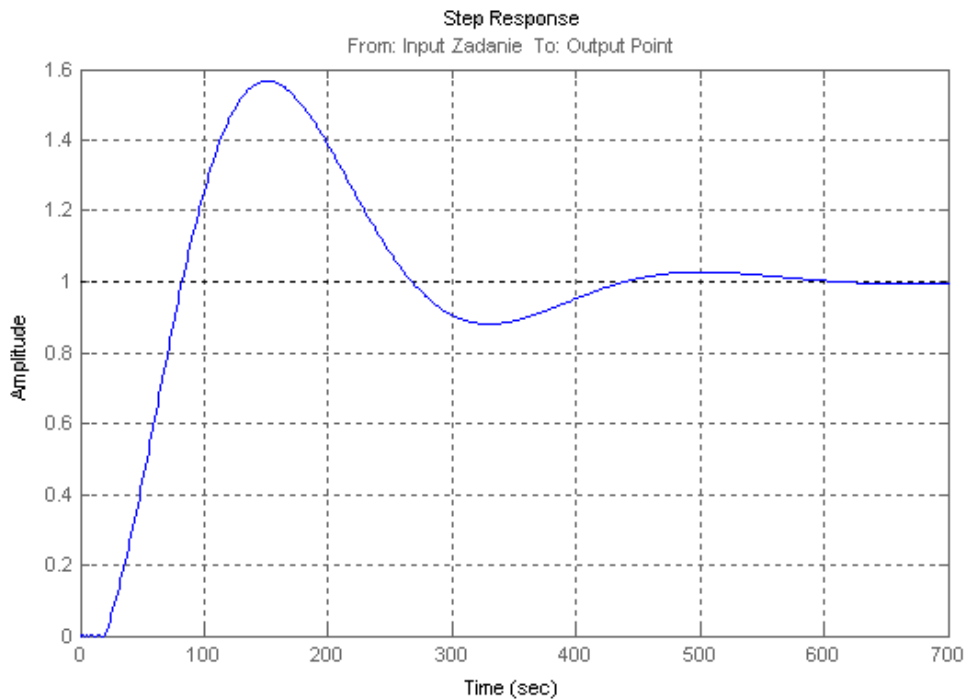


Рисунок 7.22 - Графік перехідного процесу в одноконтурній АСР з управління

Для моделювання перехідних процесів в одноконтурній АСР зі збуренням скористаємося моделлю, показаною на рис 7.23:

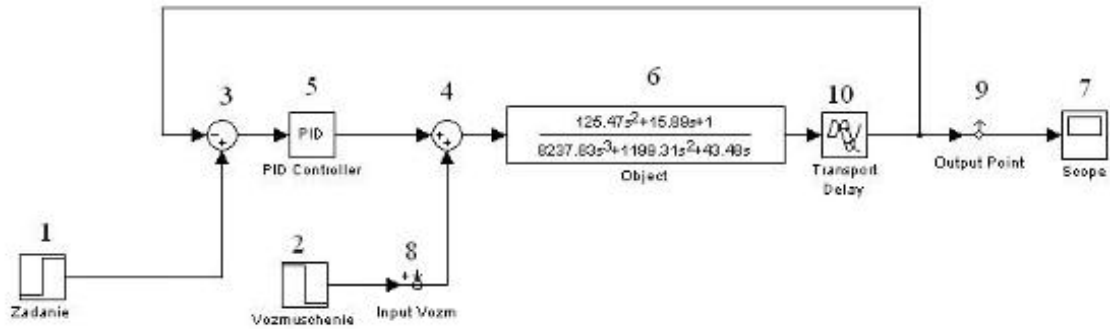


Рисунок 7.23 - Модель одноконтурної АСР для зняття перехідного процесу за збуренням

На рис. 7.23 позначені:

1, 2 - блок генерації ступінчастого вихідного сигналу;

3, 4 - блок підсумовування або віднімання вхідних сигналів;

5 – блок, що реалізує функцію ПІ регулятора;

6 - блок, що реалізує передавальну функцію  $W_f(S)$  по основному каналу;

7 - блок, що графічно реєструє зміну контрольованої величини у часі для подальшого аналізу;

8 - точка подачі збурювальних впливів аналізатора LTI Viewer;

9 – точка контролю аналізатора LTI Viewer;

10 - блок, що реалізує запізнення основного каналу  $W_f(S)$ .

Параметри налаштування блоку ПІ регулятора не змінюються і показано на рис. 7.20.

Отриманий графік перехідного процесу в одноконтурній АСР за збуренням показаний на рис. 7.24.

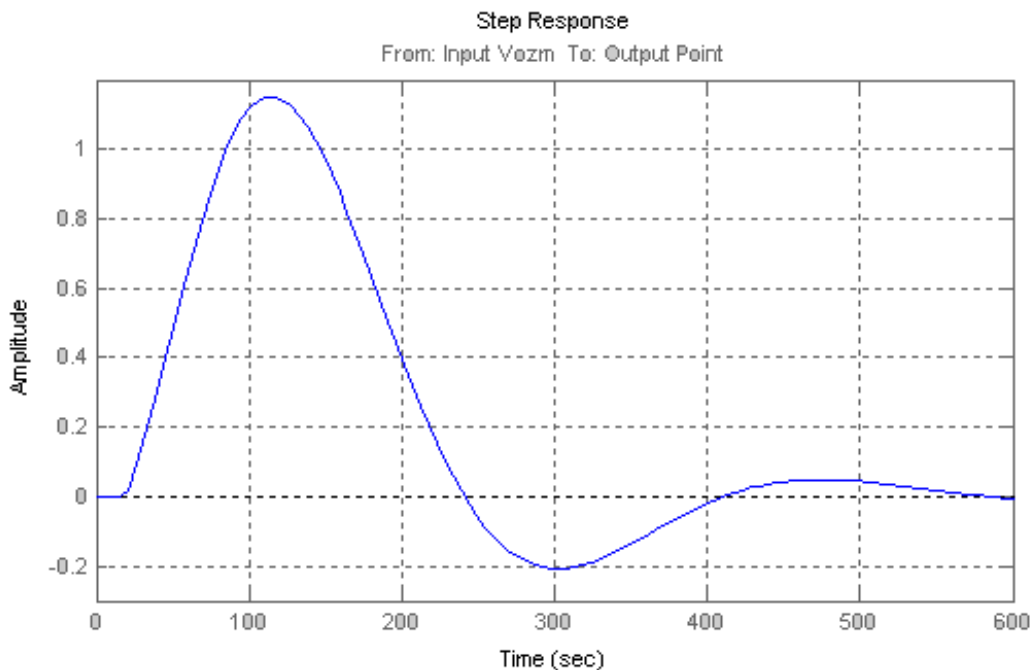


Рисунок 7.24 – Графік перехідного процесу в одноконтурній АСР за збуренням.



Проаналізуємо отримані графіки перехідних процесів одноконтурної АСР, отримані показники якості перехідного процесу показані в таблиці 7.8.

Таблиця 7.8. Якісні показники регулювання в одноконтурній АСР

Параметр	За управлінням	За збуренням
Перерегулювання	56,7 %	-
Динамічна помилка	0,57	1,15
Час регулювання	398 с.	383 с.

### 7.6.2 Перехідні процеси у внутрішньому контурі каскадної системи регулювання

Для моделювання перехідних процесів у внутрішньому контурі каскадної АСР за управлінням скористаємося моделлю, показаною на рис. 7.25:

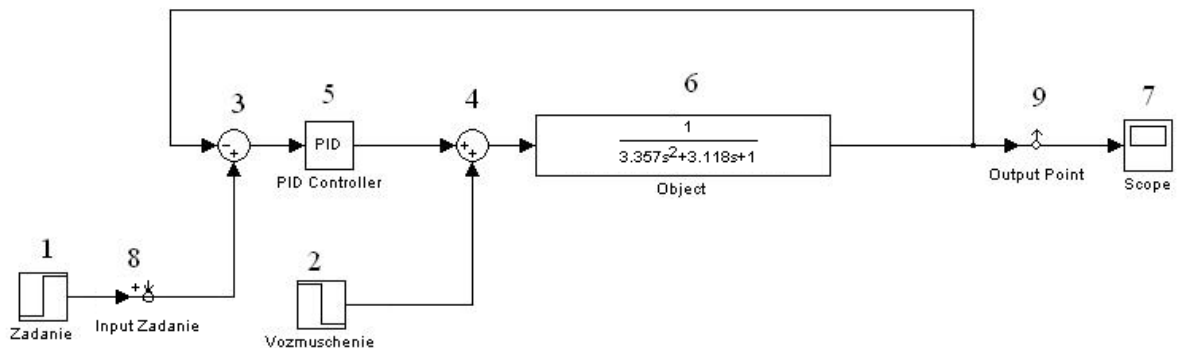


Рисунок 7.25 - Модель внутрішнього контуру каскадної АСР для зняття перехідного процесу за управлінням.

На рис. 7.25 позначені:

- 1, 2 - блок генерації ступінчастого вихідного сигналу;
- 3, 4 - блок підсумовування або віднімання вхідних сигналів;
- 5 – блок, що реалізує функцію ПІ-регулятора;
- 6 - блок, що графічно реалізує передавальну функцію  $W_f(S)$  по основному каналу;
- 7 - блок, що графічно реєструє зміну контрольованої величини у часі для подальшого аналізу;
- 8 - точка подачі збурювальних впливів аналізатора LTI Viewer;
- 9 – точка контролю аналізатора LTI Viewer.

Параметри налаштування блоку ПІ-регулятора показано на рис. 7.26. Оскільки блок ПІ-регулятора використовує коефіцієнт інтегральної складової  $K_H = \frac{I}{T_H}$ , то в налаштуваннях блоку ПІ-

регулятора вказано величину  $K_H = \frac{1}{2,085}$

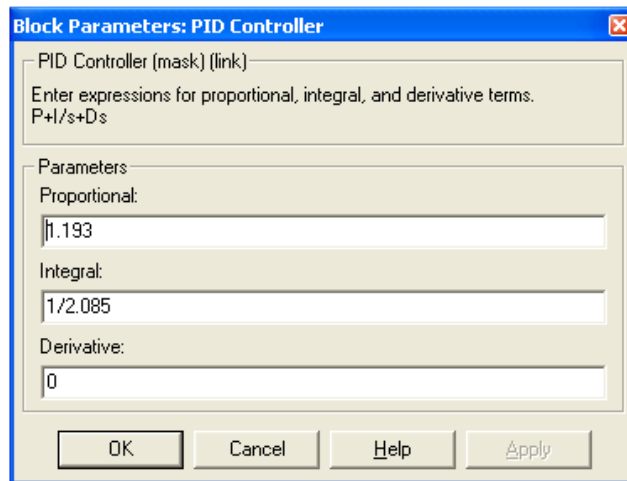


Рисунок 7.26 - Параметри налаштування блоку ПІ-регулятора

Отриманий графік перехідного процесу у внутрішньому контурі каскадної АСР за управлінням показаний на рис. 7.27

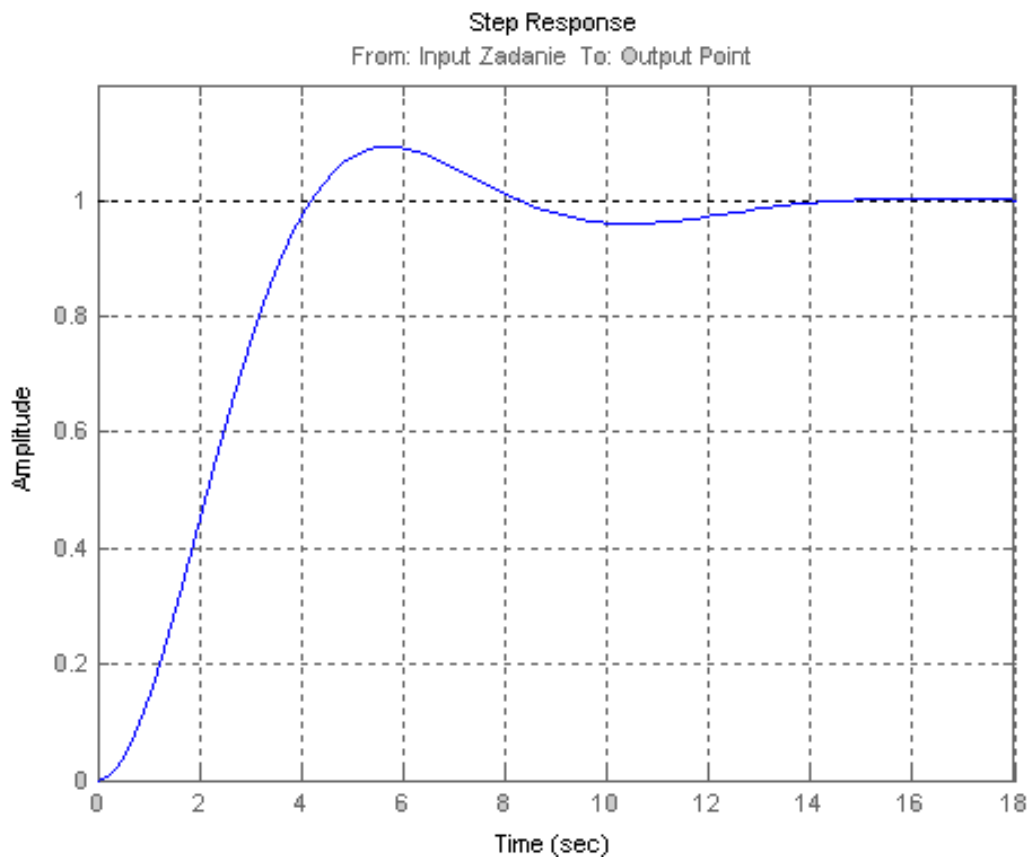


Рисунок 7.27 - Графік перехідного процесу у внутрішньому контурі каскадної АСР за управлінням

Для моделювання перехідних процесів у внутрішньому контурі каскадної АСР за збуренням скористаємося моделлю, показаною на рис. 7.28:

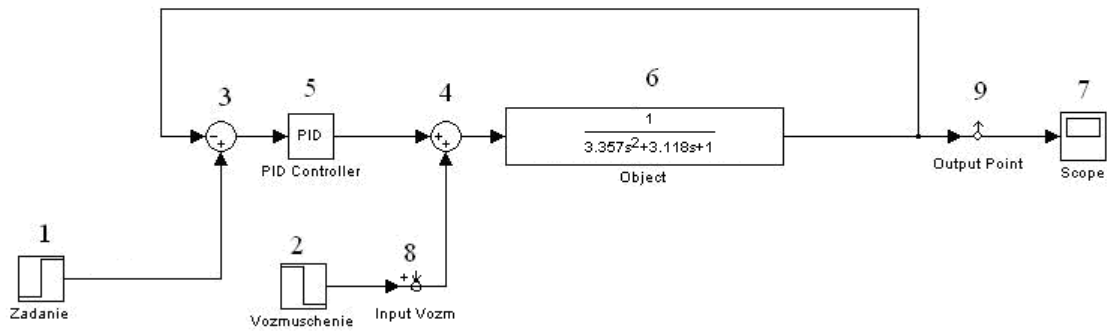


Рисунок 7.28 – Модель внутрішнього контуру каскадної АСР для зняття перехідного процесу за збуренням

На рис. 7.28 позначені:

- 1, 2 - блок генерації ступінчастого вихідного сигналу;
- 3, 4 - блок підсумовування або віднімання вхідних сигналів;
- 5 – блок, що реалізує функцію ПІ-регулятора;
- 6 - блок, що реалізує передавальну функцію  $W_l(S)$  по основному каналу;
- 7 - блок, що графічно реєструє зміну контрольованої величини у часі для подальшого аналізу;
- 8 - точка подачі збурювальних впливів аналізатора LTI Viewer;
- 9 – точка контролю аналізатора LTI Viewer.

Параметри налаштування блоку ПІ-регулятора не змінюються і показані на рис. 7.26.

Отриманий графік перехідного процесу у внутрішньому контурі каскадної АСР за збуренням показаний на рис. 7.29.

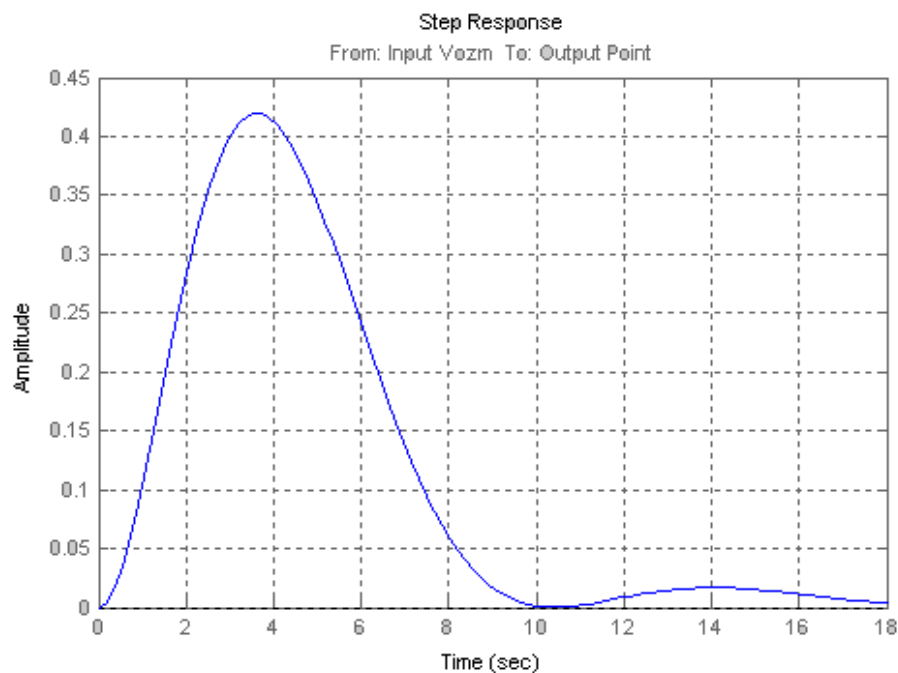


Рисунок 7.29 – Графік перехідного процесу у внутрішньому контурі каскадної АСР за збуренням.

Проаналізуємо отримані графіки перехідних процесів у внутрішньому контурі каскадної АСР, отримані показники якості перехідного процесу наведено в таблиці 7.8.

Таблиця 7.8 Якісні показники регулювання у внутрішньому контурі каскадної АСР.

Параметр	За управлінням	За збуренням
Перерегулювання	9,25 %	-
Динамічна помилка	0,09	-
Час регулювання	7,14 с.	8,86 с.

### 7.6.3 Перехідні процеси у каскадній системі регулювання

Для моделювання перехідних процесів у каскадній АСР з управління скористаємося моделлю, показаною на рис 7.30:

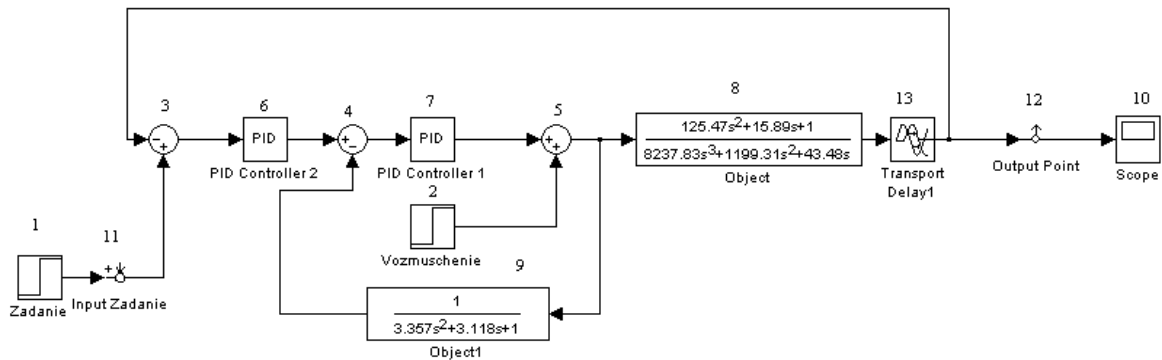


Рисунок 7.30 - Модель каскадної АСР для зняття перехідного процесу за управлінням

На рис. 7.30. позначені:

- 1, 2 - блок генерації ступінчастого вихідного сигналу;
  - 3, 4, 5 - блок підсумовування або віднімання вхідних сигналів;
  - 6, 7 – блок, що реалізує функцію ПІ-регулятора;
  - 8 - блок, що реалізує передавальну функцію  $W_1(S)$  по основному каналу;
  - 9 - блок, що реалізує передавальну функцію  $W_2(S)$  по внутрішньому каналу;
  - 10 - блок, графічно реєструючий зміну контрольованої величини часу для подальшого аналізу;
  - 11 - точка подачі збурювальних впливів аналізатора LTI Viewer;
  - 12 – точка контролю аналізатора LTI Viewer;
  - 13 - блок, що реалізує запізнення основного каналу  $W_1(S)$ .
- Параметри налаштування блоків ПІ-регуляторів показано на рис. 7.31.

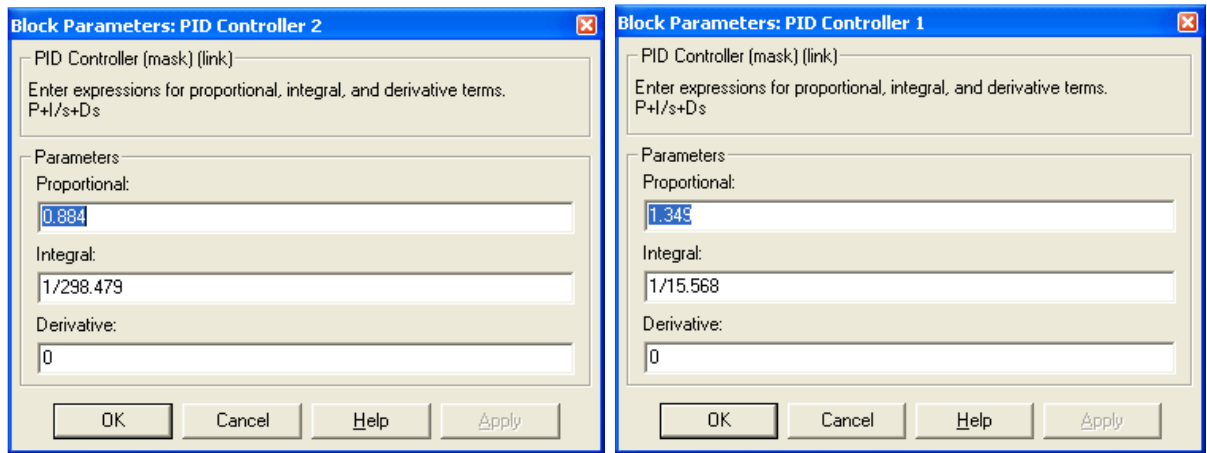


Рисунок 7.31 - Параметри налаштування блоків ПІ-регуляторів

Рисунок 4.31 - Параметри налаштування блоків ПІ регуляторів

Отриманий графік перехідного процесу в каскадній АСР з управління показаний на рис. 7.32.

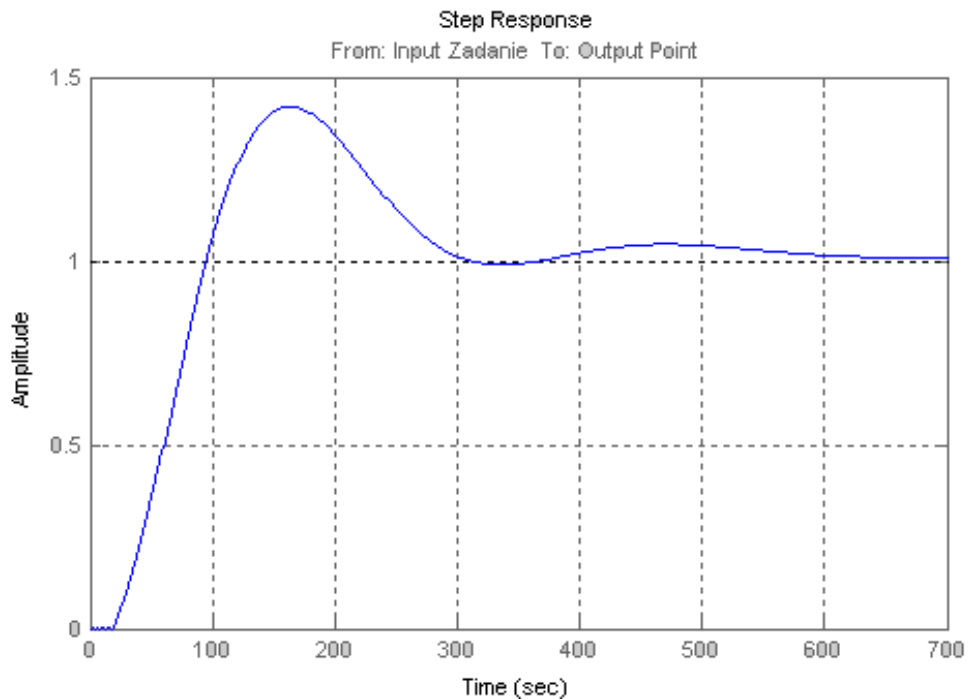


Рисунок 7.32 - Графік перехідного процесу у каскадній АСР за управлінням

Для моделювання перехідних процесів у каскадній АСР за збуренням скористаємося моделлю, показаною на рис 7.33:

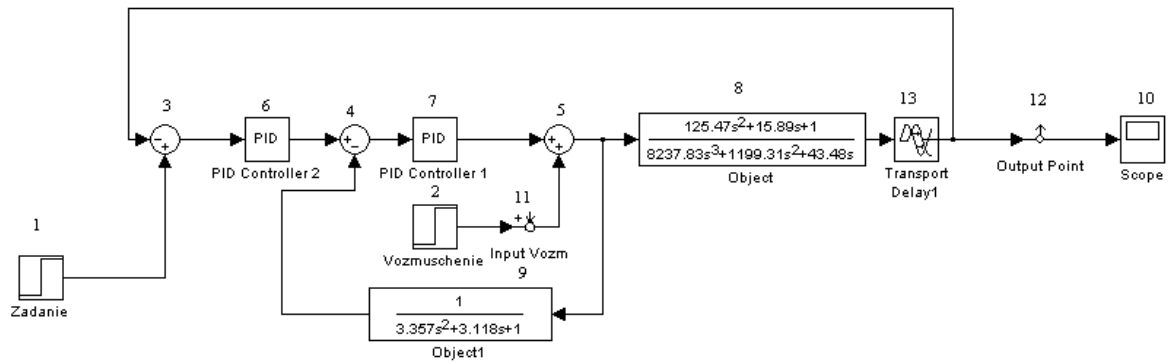


Рисунок 7.33 - Модель каскадної АСР зі зняттям перехідного процесу за збуренням

На рис. 7.33 позначені:

1, 2 - блок генерації ступінчастого вихідного сигналу;

3, 4, 5 - блок підсумовування або віднімання вхідних сигналів;

6, 7 – блок, що реалізує функцію ПІ регулятора;

8 - блок, що реалізує передавальну функцію  $W_1(S)$  по основному каналу;

9 - блок, що реалізує передавальну функцію  $W_2(S)$  по внутрішньому каналу;

10 - блок, графічно реєструючий зміну контрольованої величини у часі для подальшого аналізу;

11 - точка подачі обурювальних впливів аналізатора LTI Viewer;

12 – точка контролю аналізатора LTI Viewer;

13 - блок, що реалізує запізнення основного каналу  $W_1(S)$ .

Параметри налаштування блоку ПІ-регулятора не змінюються і показані на рис. 7.31.

Отриманий графік перехідного процесу в каскадній АСР за збуренням показаний на рис. 7.34.

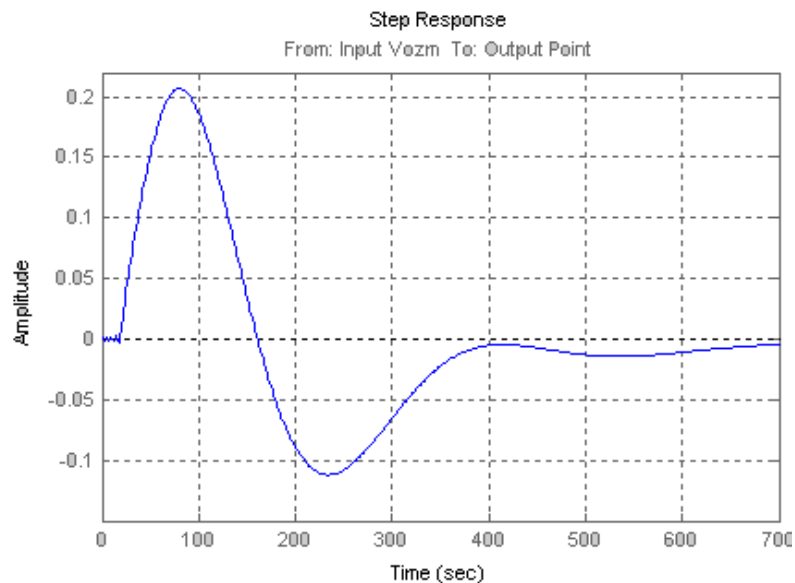


Рисунок 7.34 - Графік перехідного процесу в каскадній АСР за збуренням

Проаналізуємо графіки перехідних процесів у каскадній АСР, отримані показники якості перехідного процесу показані в таблиці 7.9.

Таблиця 7.9\_Якісні показники регулювання у каскадній АСР

Параметр	За управлінням	За збуренням
Перерегулювання	42 %	-
Динамічна помилка	0,42	-
Час регулювання	280 с.	607 с.

#### 7.6.4 Перехідні процеси за збуренням в комбінованій системі регулювання без компенсуючого пристрою та з компенсуючим пристроєм

Для моделювання перехідних процесів за збуренням у комбінованій АСР без компенсуючого пристрою скористаємося моделлю, показаною на рис.7.35:

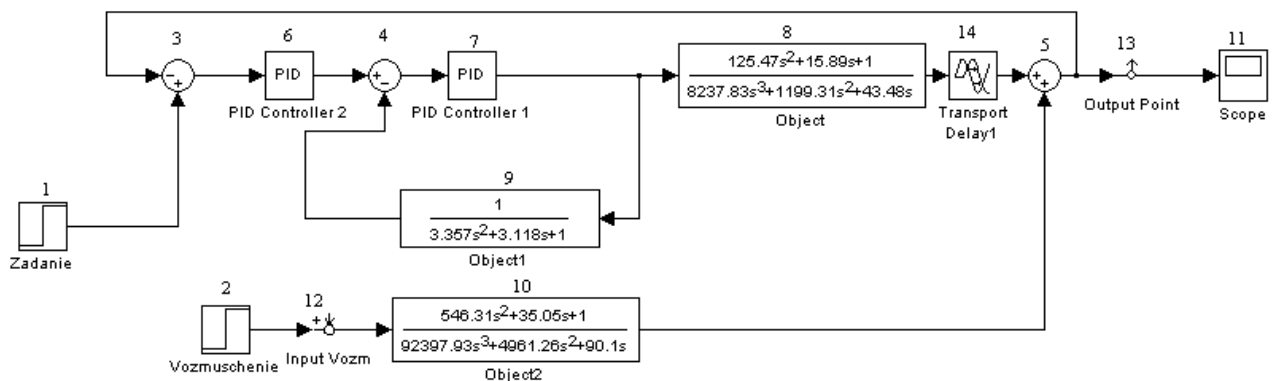


Рисунок 7.35 - Модель комбінованої АСР без пристрою для зняття перехідного процесу за збуренням

На рис. 7.35. позначені:

- 1, 2 - блок генерації ступінчастого вихідного сигналу;
- 3, 4, 5 - блок підсумовування або віднімання вхідних сигналів;
- 6, 7 – блок, що реалізує функцію ПІ-регулятора;
- 8 - блок, що реалізує передавальну функцію  $W_1(S)$  по основному каналу;
- 9 - блок, що реалізує передавальну функцію  $W_2(S)$  по внутрішньому каналу;
- 10 - блок, що реалізує передавальну функцію  $W_3(S)$  по каналу збурення;
- 11 - блок, який графічно реєструє зміну контрольованої величини в часі для подальшого аналізу;

12 - точка подачі збурювальних впливів аналізатора LTI Viewer;

13 – точка контролю аналізатора LTI Viewer;

14 - блок, що реалізує запізнення основного каналу  $W_1(S)$ .

Параметри налаштування блоків ПІ-регуляторів показано на рис. 7.36.

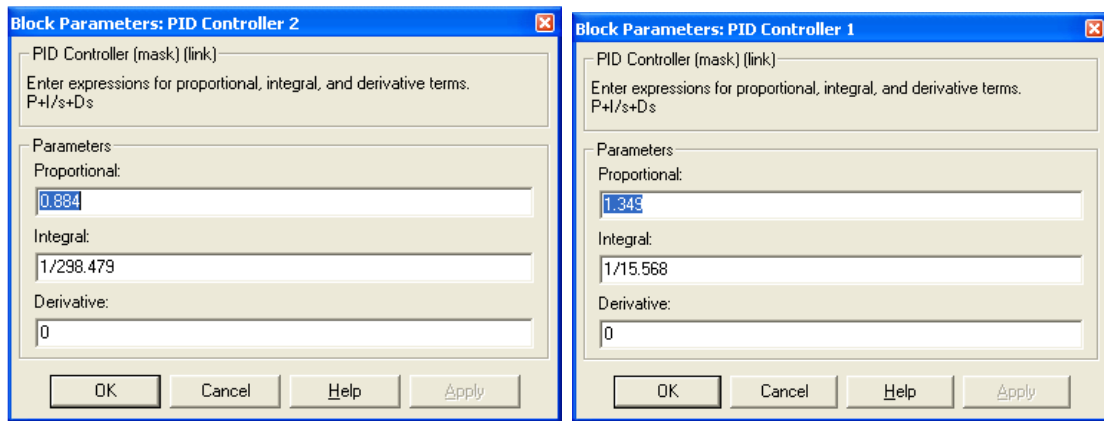


Рисунок 7.36 - Параметри налаштування блоків ПІ-регуляторів  
 Для моделювання перехідних процесів за збуренням в комбінованій АСР з пристроєм, що компенсує, скористаємося моделлю, показаною на рис 7.37:

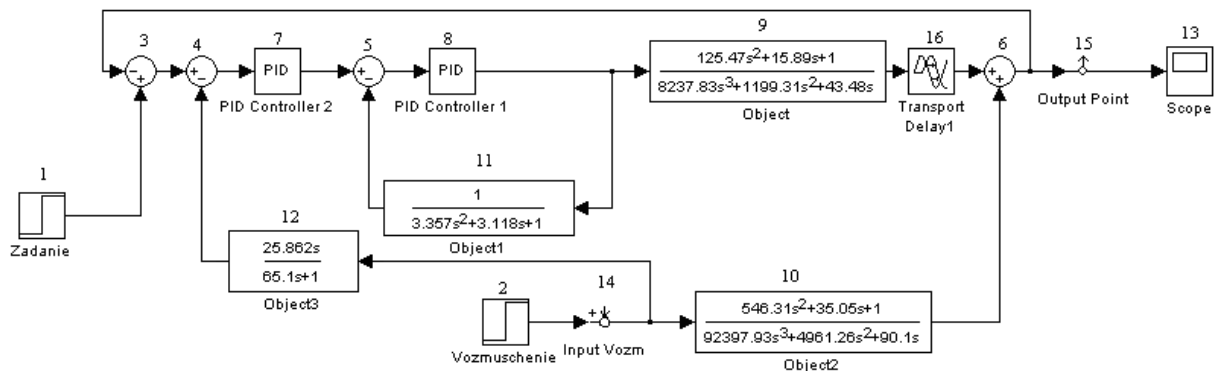


Рисунок 7.37 - Модель комбінованої АСР з пристроєм, що компенсує, для зняття перехідного процесу за збуренням

На рис. 7.37 позначені:

- 1, 2 - блок генерації ступінчастого вихідного сигналу;
- 3, 4, 5, 6 - блок підсумовування або віднімання вхідних сигналів;
- 7, 8 – блок, що реалізує функцію ПІ-регулятора;
- 9 блок, що реалізує передавальну функцію  $W_1(S)$  по основному каналу;
- 10- блок, що реалізує передавальну функцію  $W_2(S)$  по внутрішньому каналу;
- 11- блок, що реалізує передавальну функцію  $W_3(S)$  по каналу збурення;
- 12- блок, що реалізує передатну функцію  $W_0(S)$  компенсуючого пристрою;
- 13- блок, графічно реєструючий зміну контрольованої величини в часі для подальшого аналізу;
- 14- точка подачі збурювальних впливів аналізатора LTI Viewer;
- 15 - точка контролю аналізатора LTI Viewer;
- 16 блок, що реалізує запізнення основного каналу  $W_1(S)$ .

Параметри налаштування блоку ПІ-регулятора не змінюються і показані на рис. 7.36. Отримані графіки перехідних процесів у комбінованій АСР за збуренням показані на рис. 7.38.



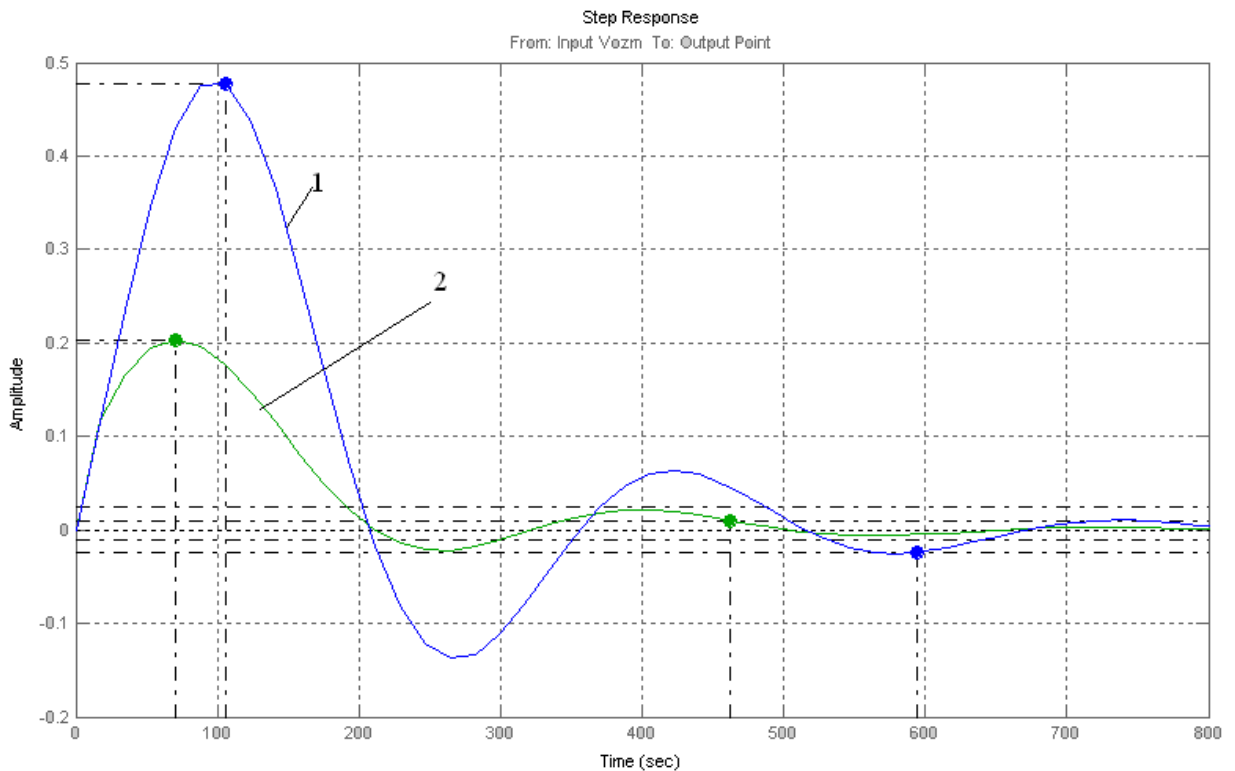


Рисунок 7.38 - Графіки перехідних процесів у комбінованій АСР за збуренням: 1 - без компенсуючого пристрою; 2 - з пристроєм, що компенсує.

Проаналізуємо отримані графіки перехідних процесів у каскадній АСР, отримані показники якості перехідного процесу показані в таблиці 7.10.

Таблиця 7.10 Якісні показники регулювання в комбінованій АСР

Параметр	Без компенсатора	З компенсатором
Динамічна помилка	0,47	0,2
Час регулювання	594 с.	460 с.

### 7.7 Аналіз якості перехідних процесів та вибір системи регулювання

Для аналізу якості перехідних процесів будемо годографи частотних характеристик замкнутих систем з управління та збурення (одноконтурна, каскадна) з перевіркою графіків перехідних процесів за резонансною частотою:

$$T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_p}$$

де  $T$  - період коливання перехідного процесу;

$\omega_p$  - резонансна частота.

Для побудови годографів треба вирахувати передавальні функції замкнутих систем. Усі необхідні обчислення зробимо у програмі *Mathcad*.

Передавальні функції замкнутих систем з управління обчислюємо за формулою

$$W_y(s) = \frac{W_0(s) \cdot W_p(s)}{1 + W_0(s) \cdot W_p(s)}$$

де:  $W_0(s)$  - передатна функція об'єкта керування;

$W_p(s)$  - передавальна функція регулятора.

Передавальні функції замкнутих систем з обурення обчислюємо за формулою

$$W_b(s) = \frac{W_0(s)}{1 + W_0(s) \cdot W_p(s)}$$

де:  $W_0(s)$  - передатна функція об'єкта керування;

$W_p(s)$  - передавальна функція регулятора.

За отриманими передатними функціями побудуємо годографи частотних характеристик із зазначенням частот і знаходженням резонансної частоти рис. 7.39, 7.40, 7.41, 7.42. Усі побудови здійснюємо у програмі *Mathcad*.

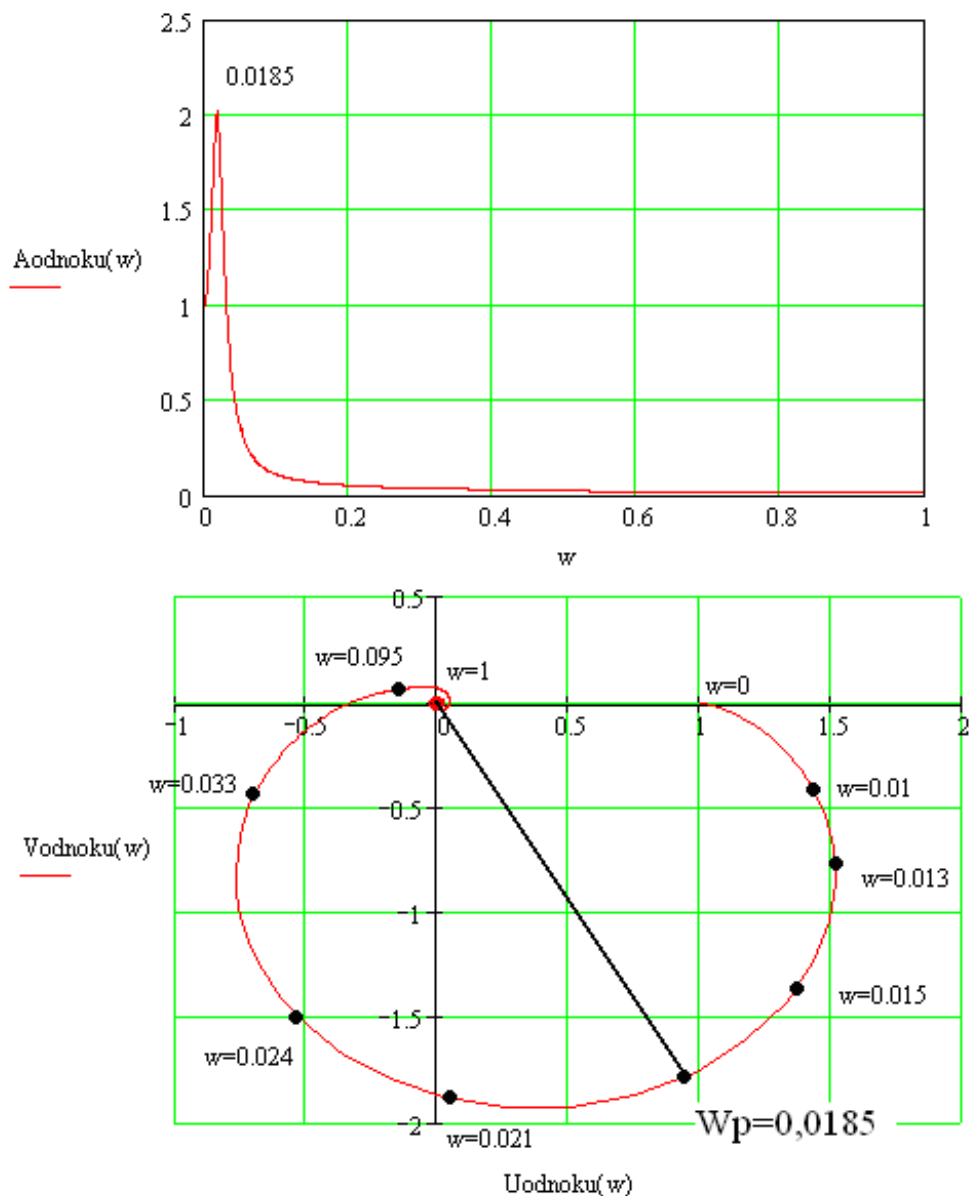


Рисунок 7.39 - АЧХ та годограф одноконтурної системи за управлінням

Із рисунку 7.39 отримаємо:  $\omega_p = 0,0185$  рад/с.

Проведемо перевірку перехідного процесу за резонансною частотою:

$$T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_{кр}} = \frac{2 \cdot 3,14}{0,0185} = 339 \text{ с}$$

Розрахунковий час періоду регулювання 339; за графіком перехідного процесу 331 с.

Перехідний процес побудований *Matlab*, отримано правильно.

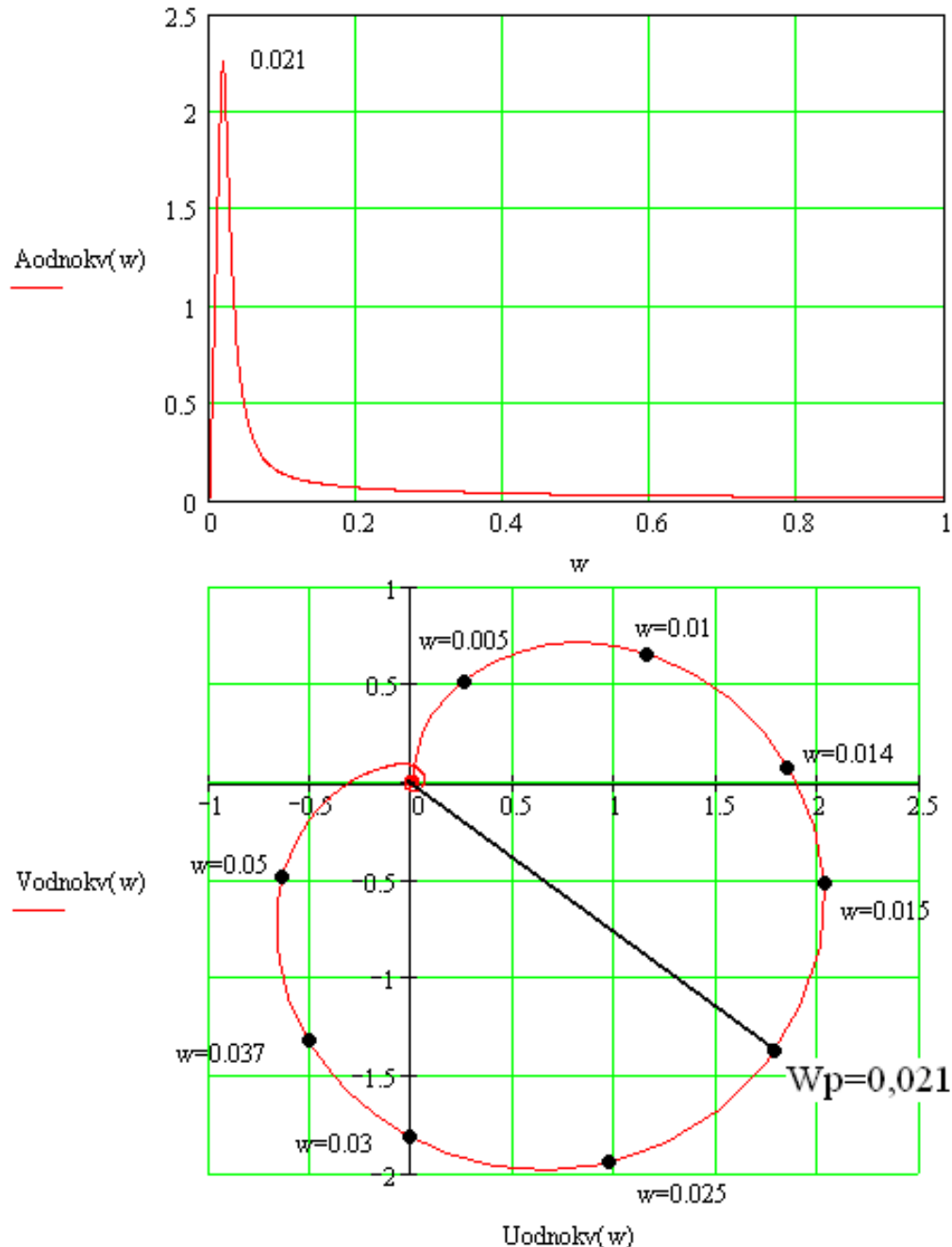


Рисунок 7.40 - АЧХ та годограф одноконтурної системи за збуренням та годограф одноконтурної системи з обурення

Із рисунку 7.40 отримаємо:  $\omega_p = 0,021$  рад/с.

Проведемо перевірку перехідного процесу за резонансною частотою:

$$T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_{кр}} = \frac{2 \cdot 3,14}{0,021} = 299 \text{ с}$$

Розрахунковий час періоду регулювання 299с; за графіком перехідного процесу 302 с.  
Перехідний процес побудований *Matlab*, отримано правильно.

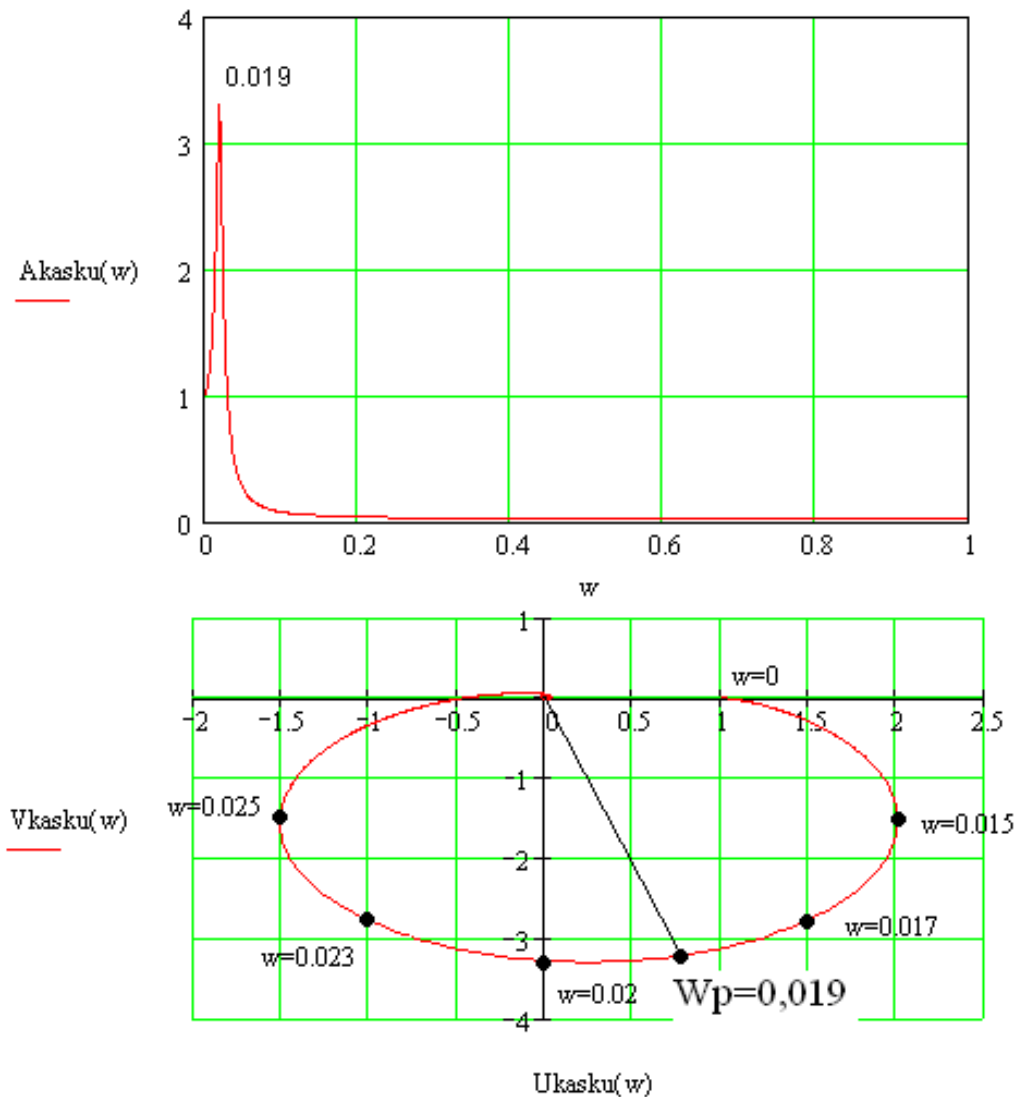


Рисунок 7.41 - АЧХ та годограф каскадної системи за управлінням

Із рисунку 7.41 отримуємо:  $\omega_p = 0,019$  рад/с.

Проведемо перевірку перехідного процесу за резонансною частотою:

$$T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_{кр}} = \frac{2 \cdot 3,14}{0,019} = 330 \text{ с}$$

Розрахунковий час періоду регулювання 330 с; за графіком перехідного процесу 336 с.  
Перехідний процес, побудований *Matlab*, отримано правильно.

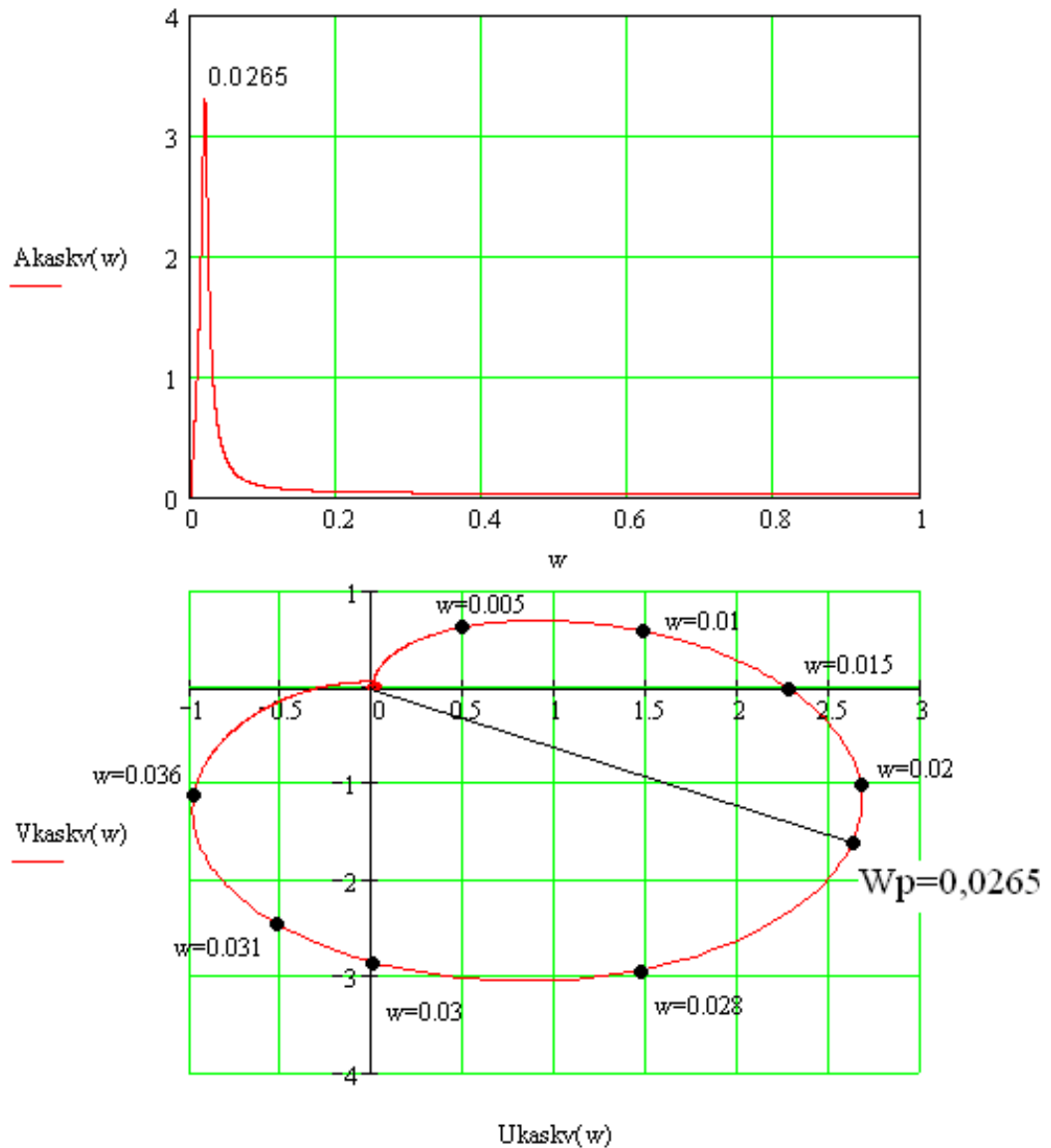


Рисунок 7.42 - АЧХ та фазограф каскадної системи за збуренням  
 Із рисунку 7.42 отримуємо:  $\omega_p = 0,0265$  рад/с.

Проведемо перевірку перехідного процесу за резонансною частотою:

$$T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_{кр}} = \frac{2 \cdot 3,14}{0,0265} = 236 \text{ с}$$

Розрахунковий час періоду регулювання 236 с; за графіком перехідного процесу 231 с.

Перехідний процес побудований *Matlab*, отримано правильно.

Аналізуючи отримані графіки, можна зробити висновок, що моделювані замкнуті системи стійкі і мають значний запас по амплітуді та фазі.

Наведемо зведену таблицю показників якості різних систем регулювання.

Таблиця 7.11 Зведена таблиця показників якості систем регулювання

Система регулювання	Перехідний процес			
	За управлінням		За збуренням	
	Перерегулювання, %	Час регулювання, с	Динамічна помилка	Час регулювання, с
Одноконтурна	56,7	398	1,15	383
Каскадна	42	280	0,207	607
Комбінована без компенсатора	-	-	0,47	594
Комбінована з компенсатором	-	-	0,2	460

Для наочності представимо окремі графіки перехідних процесів в одній системі координат, показані на рисунку 7.43.

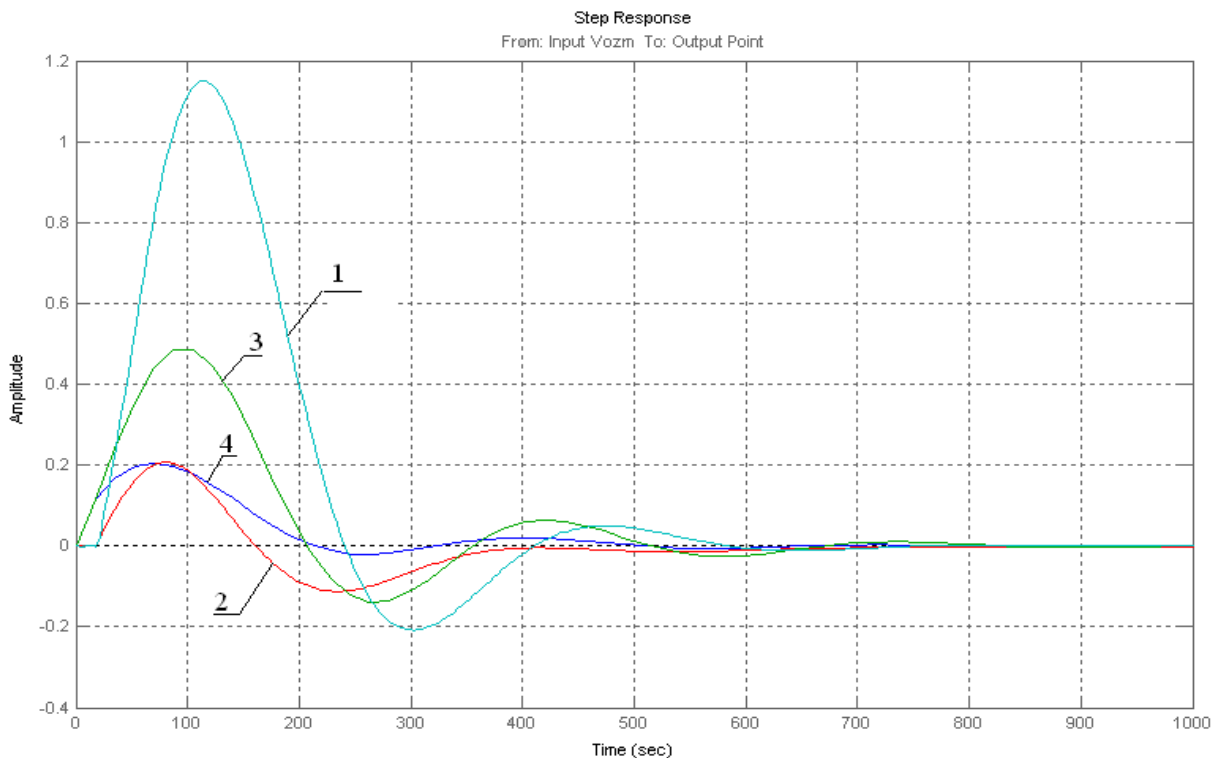


Рисунок 7.43 - Графіки перехідних процесів за збуренням одноконтурної (1), каскадної (2), комбінованої без компенсатора (3) та комбінованої з компенсатором (4) систем управління

Із таблиці 7.11 та порівняльних графіків на рис. 7.43 видно, що перехідні процеси в каскадно-комбінованій АСР з компенсатором якісніше каскадної та одноконтурної АСР. Тому для регулювання вибираємо каскадно-комбіновану систему регулювання з компенсатором.

## ВИСНОВОК

В роботі виконане проектування системи управління агрегатом для отримання аміачної селітри. Виконано аналіз технологічного процесу, обрані канали управління, зроблено вибір засобів автоматизації, а саме, датчиків, виконавчих механізмів і контролера. Також були розроблені структурна схема автоматизації, функціональна схема автоматизації, , електрична схема живлення, схема сигналізації і схема зовнішніх з'єднань.

Проведені розрахунки контуру управління температурою у випарнику. Проаналізовані можливі варіанти побудови АСР. Обрана каскадно-комбінована систему регулювання з компенсатором.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Общая химическая технология. Учеб. для техн. вузов / А. М. Кутепов, Т. И. Бондарева, М. Г. Беренгартен.— 2-е изд., испр. и доп. — М.: Высш. шк., 1990.— 520 с.; ил.
2. В.А. Голубятников, В.В. Шувалов Автоматизация производственных процессов в химической промышленности, – М.: Химия, 1972. – 248с.
3. Проектування систем автоматизації: Навч пос. / М.С. Пушкар, С.М. Проценко, 2013.- 268 с.
4. Process Control of Technological Processes [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.ispatguru.com/process-control-of-technological-processes/?utm\\_source=rss&utm\\_medium=rss&utm\\_campaign=process-control-of-technological-processes](https://www.ispatguru.com/process-control-of-technological-processes/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=process-control-of-technological-processes) (дата звертання 15.01.2022)
5. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справ пос. / А.С. Ключев Б.В. Глазов, А.Х. Дубровский, А.А. Ключев; под ред. А.С. Ключева – М.: Энергоатомиздат, 1990.-464 с.
6. Deciding Upon Control-System Technology [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ethanolproducer.com/articles/1456/deciding-upon-control-system-technology> (дата звертання 16.01.2022)
7. A Guide to the Automation Body of Knowledge (2nd Edition) Trevathan, Vernon L. (2006) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpAGABKE07/viewerType:toc//root\\_slug:guide-automation-body?b-cat-name=Process%20Design%2C%20Control%20%26%20Automation&b-cat-slug=process-design-control-automation&b-cat-id=197&b-order-by=name&b-sort-by=ascending&b-filter-by=all-content](https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpAGABKE07/viewerType:toc//root_slug:guide-automation-body?b-cat-name=Process%20Design%2C%20Control%20%26%20Automation&b-cat-slug=process-design-control-automation&b-cat-id=197&b-order-by=name&b-sort-by=ascending&b-filter-by=all-content) (дата звертання 16.01.2022)
8. Автоматизація виробничих процесів: Підручник. / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. — К.: Видавництво Ліра-К, 2015— 340 с.
9. Перетворювач тиску датчик тиску Danfoss MBS 1700 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ianv.com.ua/datchik-davleniya-mbs-1700?gclid=CjwKCAjw0a-SBhBkEiwApljU0oHO4mfhqrAGE07aLbE2CTh1vV13bdCCHidujZGKUmcnLZcagB\\_GnBoCVmMQAvD\\_BwE](https://ianv.com.ua/datchik-davleniya-mbs-1700?gclid=CjwKCAjw0a-SBhBkEiwApljU0oHO4mfhqrAGE07aLbE2CTh1vV13bdCCHidujZGKUmcnLZcagB_GnBoCVmMQAvD_BwE) (дата звертання 20. 01.2022)
10. Перетворювач тиску для високотемпературних середовищ: - 35Х НТС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://izmerkoni.ru/catalog/davlenie/preobrazovateli-davleniya/35x-htc.html>. (дата звертання 20. 01.2022)



11. Термоперетворювач Метран-2700 [Електронний документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступу: <https://www.emerson.com/documents/automation/%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3-%D0%B4%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA%D0%B8-%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D1%8B-ru-ru-61696.pdf> (дата звертання 21.01.2022)
12. Вихровий витратомір Sitrans FX300. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.eleten.com.ua/SITRANS\\_FX300.html](http://www.eleten.com.ua/SITRANS_FX300.html) (дата звертання 21.01.2022)
13. Електромагнітний витратомір ETATRON [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.etatron.com.ua/ru/pumps/impulse\\_flowmeters/electromagnetic\\_flowmeter/](https://www.etatron.com.ua/ru/pumps/impulse_flowmeters/electromagnetic_flowmeter/) (дата звертання 21.01.2022)
14. рН-метр промисловий рН-101П [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://standart-m.com.ua/izmeritelnye-pribory/ph-metru/rn-101-promyshlennyj> (дата звертання 22.01.2022)
15. Стационарний газоаналізатор Дозор-С [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://optima-shop.com.ua/gazoanalizatory/gazoanalizator-ammiaka-nh3-dozor-s-stacionarniy> (дата звертання 22.01.2022)
16. Електромагнітний регулюючий клапан для пари GAMA ZQDF-25S [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://goodmax.com.ua/ru/product/elektromagnitnyj-klapan-dlya-para-gama-zqdf-25s-1-nc-0---10-bar-200?gclid=Cj0KCQjwxtSSBhDYARIsAEn0thSQw-tofWpRi9O0PGTvwg0RKDfQ3sUmO5-VrZCbd93gNC0ntJdFBZ0aAp69EALw\\_wcB](https://goodmax.com.ua/ru/product/elektromagnitnyj-klapan-dlya-para-gama-zqdf-25s-1-nc-0---10-bar-200?gclid=Cj0KCQjwxtSSBhDYARIsAEn0thSQw-tofWpRi9O0PGTvwg0RKDfQ3sUmO5-VrZCbd93gNC0ntJdFBZ0aAp69EALw_wcB) (дата звертання 23.01.2022)
17. Повітряна заслінка з електроприводом GRUNER 363C-024-30-S2. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://electrocontact.com.ua/privod-vozdushnoy-zaslonki-i-klapana24v-ac-dc-363c-024-30-s2-gruner/> (дата звертання 23.01.2022)
18. Електромагнітний клапан відсікач G3/4 (DN20A) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://prom.ua/p890269098-elektromagnitnyj-klapan-otsekatel.html> (дата звертання 23.01.2022)
19. Модульний програмований логічний контролер XC300. [Електронний документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / . – Режим доступу: [https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/industrialcontrols-drives-automation-sensors/en-globalprime/programmable-logic-controllers-\(plc\)/xc300-modular-programmable-logic-controllers/Eaton-%D0%9C%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%B9-%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D1%80-PLC-XC300-BR050008-uk-ua.pdf](https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/industrialcontrols-drives-automation-sensors/en-globalprime/programmable-logic-controllers-(plc)/xc300-modular-programmable-logic-controllers/Eaton-%D0%9C%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%B9-%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D1%80-PLC-XC300-BR050008-uk-ua.pdf) (дата звертання 30.01.2022)
20. Система вводу/виводу XN300. [Електронний документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. – Режим доступу:

<https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/industrialcontrols-drives-automation-sensors/Eaton-%D0%A1%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0-%D0%B2%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%83-%D0%B2%D0%B8%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%83-XN300-BR050004-uk-ua.pdf>

(дата звертання 30.01.2022)

21. 8-ми канальний модуль аналогового введення 0/4-20мА ХN-322-8АI. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.electricalautomationnetwork.com/ru/eaton-moeller/xn-322-8ai-i-179288-eaton-moeller-modul-analogovykh-vkhodov-8-ea-0-4-do-20-ma> (дата звертання 30. 01.2022)
22. 8 канальний модуль аналогового введення/виведення 0/4-20мА ХN-322-8АIО-I 4 входи, 4 виходи. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://datasheet.eaton.com/datasheet.php?model=178771&locale=en>. (дата звертання 30.01.2022)
23. 16-ти канальний модуль цифрового виведення ХN-322-16DO-P05, Р, 24В DC, 0.5А, sp [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://datasheet.eaton.com/datasheet.php?model=178787&locale=ru\\_RU](https://datasheet.eaton.com/datasheet.php?model=178787&locale=ru_RU) (дата звертання 30.01.2022)
24. Пристрої серії XV300 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.yahont.com.ua/products/xv102-xv112-xv152-xv400-xvs400-xv300/> (дата звертання 31.01.2022)
25. Інфрачервона сенсорна панель XV363 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.eaton.com/ru/ru-ru/catalog/industrial-control--drives--automation---sensors/hmi-plc-with-xv300-multi-touch-display.html> (дата звертання 31.01.2022)
26. XV-363-12-C00-A00-1В [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://datasheet.eaton.com/datasheet.php?model=197666&locale=ru> (дата звертання 31.01.2022)
27. Блок живлення РМС-24V600W1ВА [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://delta-electronics.com.ua/p25687631-promyshlennyj-istochnik-pitaniya.html> (дата звертання 03.02.2022)
28. А.И. Бояринов, В.В. Кафаров Методы оптимизации в химической технологии, – М.: Химия, 1969. – 564с.
29. Худoley Г.М. Конспект лекцій і практик з ТАУ, 2015.
30. Advanced PID Control Åström, Karl J.; Hägglund, Tore (2006) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpAPIDC001/viewerType:toc//root\\_slug:advanced-pid-control?b-cat-name=Process%20Design%2C%20Control%20%26%20Automation&b-cat-name=Process%20Design%2C%20Control%20%26%20Automation](https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpAPIDC001/viewerType:toc//root_slug:advanced-pid-control?b-cat-name=Process%20Design%2C%20Control%20%26%20Automation&b-cat-name=Process%20Design%2C%20Control%20%26%20Automation)

[slug=process-design-control-automation&b-cat-id=197&b-order-by=name&b-sort-by=ascending&b-filter-by=all-content](#) (дата звертання 05.02.2022)

31. Методические указания по оформлению курсовых и дипломных проектов. Инструктивные материалы. Для студентов специальности 6.091401 "Компьютеризованные системы управления и автоматики". - Сумы.: СумГУ, 1998. – 77 с.
32. Інструктивні вказівки до виконання курсових і дипломних проектів / укладачі : В. Д. Черв'яков, О.Ю. Журавльов, І.В. Щокотова. – Суми : Сумський державний університет, 2013. – 69с.
33. ДСТУ Б А.2.4-3:2009 Національний стандарт України. Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів.
34. Усатенко С.Т., Каченюк Т.К., Терехова М.В. Выполнение электрических схем по ЕСКД: Справочник. -М.: Изд-во стандартов, 1989. - 325 с.