

Міністерство освіти і науки України  
Шосткинський інститут  
Сумського державного університету  
Кафедра системотехніки та інформаційних технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

\_\_\_\_\_ Худолей Г.М.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

Бакалаврська робота на тему:  
«Система управління технологічним процесом  
виробництва азотної кислоти за схемою АК-72»

Керівник роботи:  
к.т.н., старший викладач

Серяков А.Г.

Бакалаврант:  
студент групи СУз-71Ш

Купріянов О.В.

Шостка – 2021 р.

## ВСТУП

Азотна кислота є одним з найважливіших багатотоннажних продуктів хімічної промисловості. Вона займає друге місце за обсягом виробництва після сірчаної кислоти. Азотна кислота широко застосовується для виробництва багатьох продуктів, які використовуються в промисловості і сільському господарстві. Так, близько 40% її витрачається на отримання складних і азотних мінеральних добрив; азотна кислота використовується для виробництва синтетичних барвників, вибухових речовин, нітролаків, пластичних мас, лікарських синтетичних речовин і інших найважливіших продуктів.

У хімічному виробництві відбуваються досить складні і небезпечні технологічні процеси. Збільшення завантаження апаратів, підвищення тиску і температур при проведенні технологічних процесів робить ручну працю у хімічній галузі не тільки важкою і некомфортною, а, часом, просто небезпечною. Небезпечність і шкідливість виробництва, вимоги захисту довкілля від викидів потребують більш досконалих технологічних процесів переробки. Інтенсифікація протікання технологічних процесів і, як наслідок, їх чутливість до порушень регламентних норм вимагають більш ретельного і своєчасного контролю за протіканням процесів, що, як правило, визначають якість кінцевого продукту. В той же час людина в силу фізіологічних обмежених можливостей людського організму за часом реакції і прийняття рішень, за одночасністю аналізу великою кількістю інформації про зміну значень параметрів і режимів протікання технологічних процесів, не може в повній мірі контролювати і управляти цими процесами.

У світовій азотній промисловості найбільшого поширення набули установки середнього тиску. В СРСР експлуатуються системи, що працюють під тиском 30-36 МПа, а також кілька агрегатів під тиском 45 МПа; споруджувані системи розраховані переважно на тиск 32 МПа.

Виробництво кислот є із усіх хімічних виробництв чи не найбільш шкідливим і небезпечним, а азотної кислоти із усіх неорганічних кислот тим паче. Тому автоматизація процесу виробництва азотної кислоти є нагальною задачею. Головною метою є виведення людини за межі небезпечної і шкідливої зони, а також підвищення якості продукції за рахунок більш точної підтримки параметрів технологічного процесу, недопущення аварійних ситуацій.

У бакалаврській роботі виконана розробка автоматизації технологічного процесу виробництва азотної кислоти за схемою АК-72, обрані засоби автоматизації, сучасні керуючі пристрої, що забезпечують нормальний хід цього процесу з використанням різних автоматичних пристроїв контролю, регулювання, сигналізації та ін., а також автоматизоване керування пуском і зупинкою обладнання для проведення ремонтних робіт і у критичних ситуаціях.

Цілі, які планується досягти при розробці системи управління технологічним процесом при виконанні бакалаврської роботи:

- ведення технологічного процесу на основі автоматичного контролю технологічних параметрів;

- 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

Азотна (нітратна) кислота є одним з найважливіших продуктів хімічної промисловості. Вона виробляється у дуже великих кількостях, використовується для виробництва азотних добрив, у кольоровій металургії для розділення металів, а також хімічній промисловості для виробництва пластмас, вибухових речовин, целулоїду і фотокіноплівки, штучного волокна, органічних барвників, лікувальних речовин тощо.[1]

Азотна (нітратна) кислота, хімічна формула  $\text{HNO}_3$ , є безбарвною димучою рідиною з їдким запахом, легко розкладається, забарвлюючись у жовтий колір. Густина  $1,53 \text{ г/см}^3$ . Кипить при  $86 \text{ }^\circ\text{C}$ , замерзає при  $-41 \text{ }^\circ\text{C}$ . На повітрі  $\text{HNO}_3$  «димить» внаслідок притягання її парами вологого повітря і утворення дрібненьких крапельок туману.

Концентрована азотна кислота і оксиди азоту за токсичністю відносяться до помірно небезпечних речовин (3-й клас небезпеки по ГОСТ 12.1.007). Гранично допустима концентрація (ГДК) парів азотної кислоти і оксидів азоту в повітрі робочої зони виробничих приміщень –  $2 \text{ мг/м}^3$  по ГОСТ 12.1.005.

Азотна (нітратна) кислота нестійка і вже під впливом сонячного світла поступово розкладається:  $4\text{HNO}_3 \rightarrow 4\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ .

При нагріванні розкладання її значно прискорюється. Утворюваний діоксид азоту розчиняється в  $\text{HNO}_3$  і надає їй жовтуватого кольору. У водних розчинах нітратна кислота значно стійкіша. З водою  $\text{HNO}_3$  змішується в будь-яких співвідношеннях.

Азотна (нітратна) кислота належить до сильних кислот, у водних розчинах вона практично повністю дисоціює:  $\text{HNO}_3 \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{NO}_3^-$ .

Нітратна кислота - дуже сильний окисник. В концентрованому вигляді окиснює сірку (до  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), фосфор (до  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), руйнує органічні речовини. Глибина відновлення  $\text{HNO}_3$  залежить від її концентрації і активності відновника. Концентрована  $\text{HNO}_3$  відновлюється до  $\text{NO}_2$ , а розведена - звичайно до  $\text{NO}$ . Нітратна кислота взаємодіє майже з усіма металами, за винятком золота, платини і деяких інших, утворюючи солі - нітрати. Так, при дії концентрованої нітратної кислоти на мідь утворюється нітрат міді, діоксид азоту і вода:



При дії ж розведеної нітратної кислоти на мідь утворюється нітрат міді, монооксид азоту (а не діоксид, як при дії концентрованої  $\text{HNO}_3$ ) і вода:

Деякі речовини можуть запалюватись нітратною кислотою і горіти в ній. Так, коли шматочок розжареного вугілля вкинути в концентровану  $\text{HNO}_3$ , він буде горіти у ній яскравим

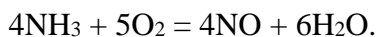
полум'ям, а скипидар спалахує при дотику з нею. Тому концентрована кислота в пожежному відношенні дуже небезпечна.

У сучасній хімічній промисловості нітратну кислоту добувають шляхом каталітичного окиснення аміаку до монооксиду азоту з наступним окисненням NO киснем повітря (метод І. І. Андрєєва) при 700 - 900 °С до діоксиду (гемітетраоксиду) азоту і поглинанням останнього водою. Каталізатор - платинова сітка.

Сировиною для виробництва азотної кислоти є аміак. Це безбарвний газ з різким запахом. Легший за повітря. Розчинний у воді. Перевозиться в зрідженому стані під тиском. При виході в атмосферу димить. Горючий газ. Горить при наявності постійного джерела вогню. Пари утворюють з повітрям вибухонебезпечні суміші. Ємності можуть вибухати при нагріванні. У порожніх ємностях утворюються вибухонебезпечні суміші.

Суміш аміаку з повітрям стає горючою при утриманні в суміші 15-28 об.% аміаку (нижня і верхня концентраційні межі поширення полум'я). Зі збільшенням температури межі поширення полум'я розширюються і при 100 °С вони лежать в інтервалі 14,5-29,5 об.% аміаку.

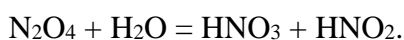
Хімічні процеси, що відбуваються при виробництві нітратної кислоти, можна представити рядом реакцій: Суміш аміаку з повітрям у певному співвідношенні спалюють у спеціальному приладі на платиновій сітці, яка служить каталізатором (без каталізатора аміак окиснюється до вільного азоту):



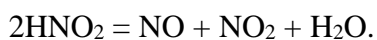
Одержуваний монооксид азоту охолоджують і окиснюють киснем повітря до діоксиду (гемітетраоксиду) азоту:



Суміш діоксиду і гемітетраоксиду поглинають водою і одержують розчин суміші нітратної і нітритної кислот:



Нітритна кислота нестійка, особливо при деякому нагріванні, і легко розкладається на монооксид і діоксид азоту і воду:

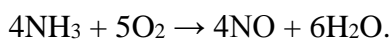


Процес поглинання оксидів азоту водою проводять при надлишку кисню. Тому утворюваний за останньою реакцією монооксид азоту відразу перетворюється в діоксид азоту і знову вступає в процес утворення нітратної кислоти. В результаті утворюється лише нітратна кислота.

На підставі схеми АК-72, розробленої в СРСР, створений замкнутий енерготехнологічний цикл з двоступеневою конверсією аміаку та охолодженням нітрозних газів під тиском 0,42 -

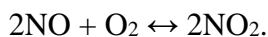
0,47 МПа та абсорбцією оксидів азоту при тиску 1,1- 1,26 МПа [2]; продукція випускається у вигляді 68 %-ної  $\text{HNO}_3$ .

Принципова технологічна схема процесу наведена на рис. 1.1. Повітря забирають із атмосфери через трубу 25, очищають від пилу в фільтрі 24, стискають повітряним компресором 23 до 0,42 МПа, розділивши на два потоки, подають в контактний апарат і підігрівач аміаку. Рідкий аміак (паро-рідка суміш) через ресивер 1 надходить у випарник 2, де випаровується при 10-16 °С і тиску 0,6 МПа. Після випарника газоподібний аміак очищають від масла і механічних домішок у фільтрі 3 і направляють в підігрівач аміаку 4, де він нагрівається до 80 - 120 °С повітрям. Очищене повітря і аміак надходять в змішувальну камеру 22 контактного апарату 20. Утворена аміачно-повітряна суміш містить 9,6 - 10,0%  $\text{NH}_3$ . Пройшовши тонку очистку у фільтрі, вбудованому в контактний апарат, аміачно-повітряна суміш надходить на двоступеневий каталізатор, що складається з трьох платиноїдних сіток і шару неплатинового каталізатора, де проходить реакція окислення аміаку до оксиду азота (II):



Ця реакція є незворотною.

Оксид азоту (II) або монооксид окислюють до діоксиду або оксиду азоту (IV):



Всі реакції протікають з виділенням тепла, тобто є екзотермічними.

Нітрозні газу при температурі 840 - 860 °С надходять в котел-утилізатор 19, розташований під контактним апаратом, де за рахунок їх охолодження отримують пар тиском 40 МПа з температурою 440 °С.

Котел живлять хімічно очищеною водою, деаерованою в колоні 17. Деаерована вода проходить теплообмінник 16, де нагрівається нітрозними газами до 150 °С, економайзер 18 і потім надходить в барабан котла-утилізатора 21. Нітрозні газу після котла-утилізатора охолоджуються в економайзері 18, віддають свою теплоту в підігрівачі 15 і потім надходять у водяний холодильник 14 для подальшого охолодження до 55 °С.

При охолодженні нітрозних газів відбувається конденсація парів води з утворенням 40 - 45 % -ної азотної кислоти:



Дві останні реакції є зворотними.

Кислота подається в газовий промивач 13. Сюди ж надходять нітрозні газу В промивачі відбувається одночасно з охолодженням промивка нітрозних газів від нітрит-нітратних солей і подальша конденсація азотної кислоти. Кислота з нижньої частини промивача подається в абсорбційну колону 10, а нітрозні газу стискаються в компресорі 12 до 11 - 12,6 МПа, нагріваючись при цьому до 210 – 230 °С.

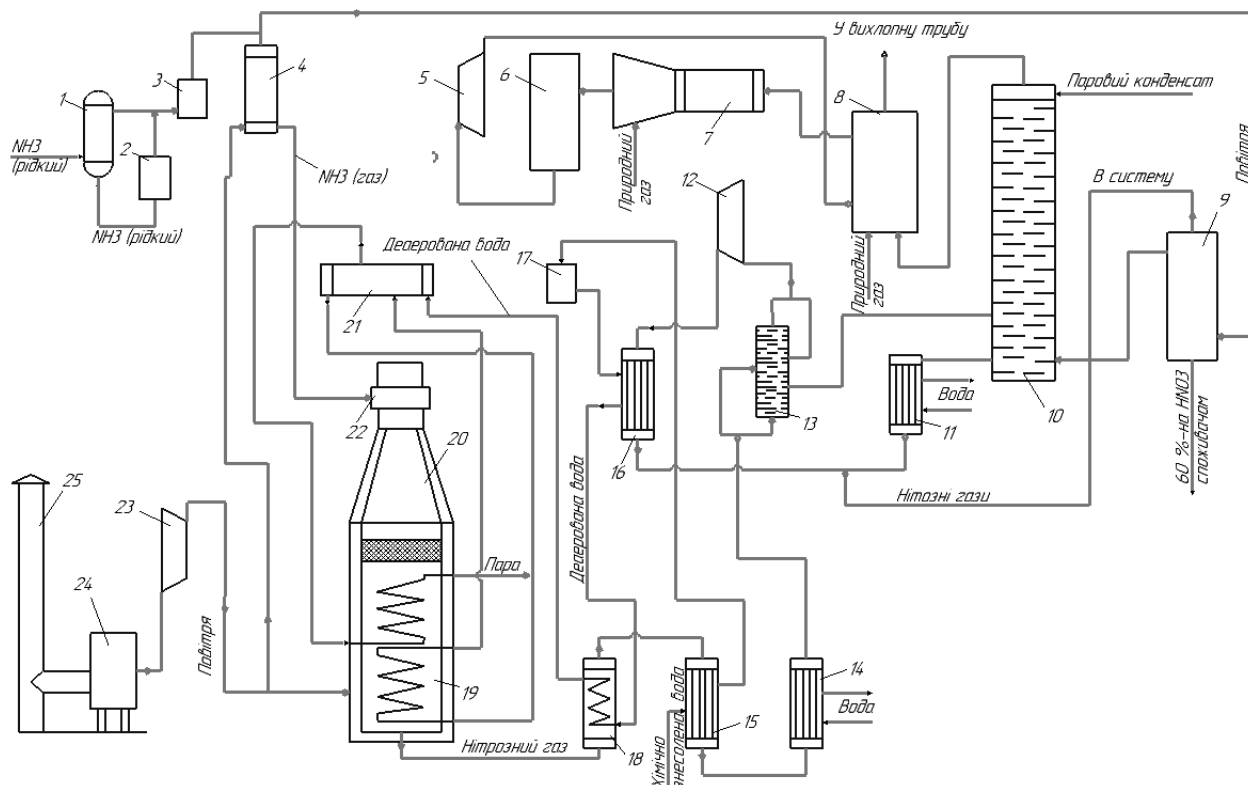


Рисунок 1.1\_Технологічна схема виробництва азотної кислоти АК-72:

1 - ресивер; 2 - випарник; 3, 24 - фільтри; 4, 15 - підігрівачі; 5 - рекупераційна турбіна; 6 - реактор каталітичного очищення; 7 - змішувач; 8 - топковий пристрій; 9 - продувальна колона; 10 - абсорбційна колона; 11, 14 - водяні холодильники; 12, 23 - компресори; 13 - газовий промивач; 16, 18 - холодильники нітрозних газів; 17 - деаераційна колона; 19 - котел-утилізатор; 20 - контактний апарат; 21 - барабан з сепараційним пристроєм; 22 - камера змішувача; 25 - труба для забору повітря.

Після стиснення нітрозні газу охолоджують в холодильнику 16 до 155 - 165 °С, у холодильнику 11 другого ступеня до 60 - 65 °С і подаються у абсорбційну колону 10. На тарілках колони розташовані змієвики для охолодження кислоти. Зверху в колону надходить паровий конденсат ( $H_2O$ ) з температурою не вище 40 °С. Знизу колони виводиться 58-60 % -на азотна кислота; вона надходить в продувну колону 9 для видалення розчинених в ній оксидів азоту і далі направляється у сховище.

Газ, який відходить з абсорбційної колони, нагрівається в підігрівачі (топковому пристрої) 8, змішується у змішувачі 7 з природним газом і підігрітий до 480 °С направляється на каталітичне очищення від оксидів азоту в реактор 6. Каталізатором очищення служить алюмопаладієвий каталізатор АПК-2. Після каталітичного розкладання вихлопні газу, що містять до 0,008% оксидів азоту при температурі 750 °С, надходять в рекупераційну турбіну 5, що входить до складу газотурбінного агрегату. Тут теплова енергія вихлопних газів перетворюється в механічну із

одночасним зниженням тиску газу до 0,95 - 1,05 МПа. Енергія, що виробляється в газовій турбіні, використовується для приводу компресорів 12 і 23 (нітрозного і повітряного).



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

Основні і допоміжні матеріальні і енергетичні потоки визначають кількісні і якісні показники технологічного процесу та відповідні показники готової продукції. оскільки якісні показники продукції в режимі реального часу контролювати не завжди можна, їхні значення досягаються шляхом підтримання показників матеріальних потоків і енергетичних 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 технологічному процесі виробництва азотної кислоти за схемою АК-72 значну роль відіграє схема матеріально- інформаційних потоків (рис. 2.1). На ній зображені основні матеріально-енергетичні потоки, які відображають технологічний процес виробництва азотної кислоти за описаною принциповою схемою. Допоміжні потоки на схемі не відображені.

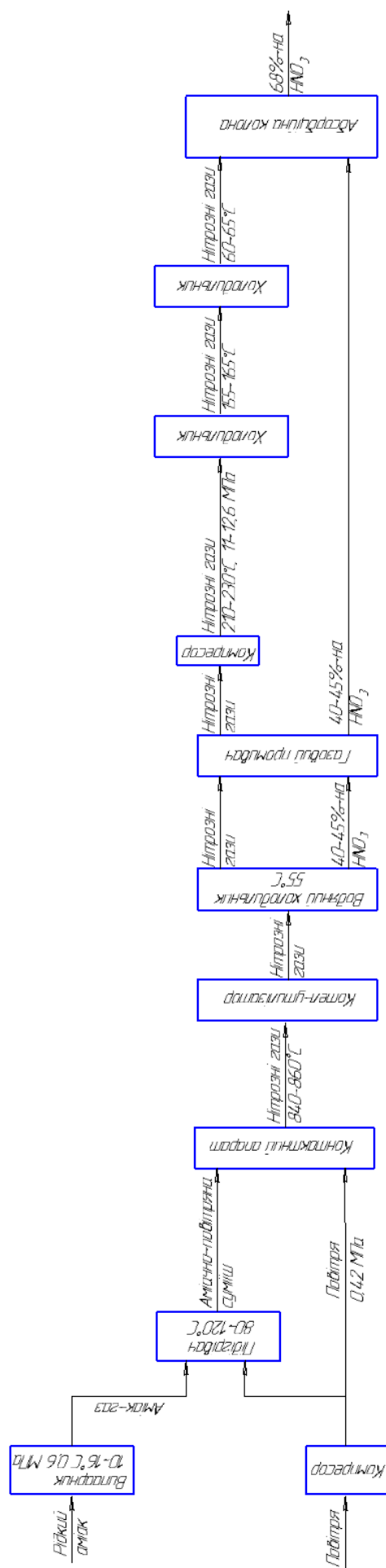


Рисунок 2.1 - Схема матеріально-інформаційних потоків технологічного процесу виробництва азотної кислоти за схемою АК-72.

### 3 ВИБІР ПАРАМЕТРІВ КОНТРОЛЮ, РЕГУЛЮВАННЯ ТА СИГНАЛІЗАЦІЇ

На основі конструктивно-технологічного аналізу виберемо параметри, визначимо взаємозв'язок з іншими процесами, а також визначимо шляхи усунення збурень або їх стабілізації. Технологічні вимоги до системи автоматизації є основою (технічним завданням) для розробки системи автоматизації.

Необхідна якість азотної кислоти і екологічні характеристики процесу досягаються підтриманням необхідних режимів проведення хімічних реакцій, підтримкою параметрів технологічного процесу в заданих межах, якісними і кількісними показниками реагентів, що застосовуються в технологічному процесі.

В таблиці 3.1 наведені номінальні значення технологічних параметрів, які завдають істотні збурюючі впливи на об'єкт управління при протіканні технологічного процесу і їх значення і мають вирішальне значення для якісного проходження технологічного процесу.

Як об'єкт управління розглядається технологічний процес виробництва азотної кислоти за схемою АК-72.

Контролю підлягають практично всі параметри регулювання. Контролю підлягають ті параметри, значення яких забезпечить правильний пуск, налагодження, 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 [5].

Для нормального проведення хімічних реакцій окиснення необхідно:

- контролювати температуру тиск повітря 0,42 МПа на виході повітряного компресора;
- контролювати і регулювати температуру 840 - 860 °С нітрозних газів на виході котла-утилізатора;
- контролювати температуру 440 °С і тиск 40 МПа пари на виході котла-утилізатора;
- контролювати температуру 150 °С деаерованої води на виході теплообмінника;
- контролювати і регулювати температуру 55 °С нітрозних газів на виході водяного холодильника;
- контролювати температуру 210 – 230 °С і тиск 11 - 12,6 МПа нітрозних газів на виході нітрозного компресора;
- контролювати і регулювати температуру нітрозних газів 155 - 165 °С на виході холодильника 16:
- контролювати і регулювати температуру 60 - 65 °С нітрозних газів на виході холодильника 11;
- контролювати температуру < 40 °С парового конденсату;

- контролювати і регулювати температуру 480 °С вихлопних газів на виході топкового пристрою;
- контролювати температуру 750 °С вихлопних газів на виході реактора каталітичного очищення;
- контролювати тиск вихлопних газів 0,95 -1,05 МПа на виході рекупераційної турбіни;
- контролювати і регулювати концентрацію аміаку у повітрі (НКМП) виробничої зони;
- контролювати і регулювати концентрацію природного газу у повітрі (НКМП) виробничої зони.

Перелік перерахованих параметрів наведений в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1\_ Перелік параметрів, які впливають на хід технологічного процесу виробництва азотної кислоти за схемою АК-72

№ п.п.	Точка технологічної схеми	Параметр	Функція	Величина
1	Вихід повітряного компресора	Тиск повітря	Контроль, сигналізація	0,42 МПа
2	Випарник	Температура випаровування аміаку	Контроль, сигналізація	10-16 °С
3	Випарник	Тиск випаровування аміаку	Контроль, сигналізація	0,6 МПа
4	Підігрівач	Температура аміаку	Контроль, сигналізація	80 - 120 °С
5	Котел-утилізатор	Температура нітрозних газів	Контроль, сигналізація, управління	840 - 860 °С
6	Вихід котла-утилізатора	Температура пари	Контроль, сигналізація	440 °С
7	Вихід котла-утилізатора	Тиск пари	Контроль, сигналізація	40 МПа
8	Вихід теплообмінника	Температура деаерованої води	Контроль, сигналізація	150 °С
9	Вихід водяного холодильника	Температура нітрозних газів	Контроль, сигналізація, управління	55 °С
10	Вихід нітрозного компресора	Температура нітрозних газів	Контроль, сигналізація	210 – 230 °С
11	Вихід нітрозного компресора	Тиск нітрозних газів	Контроль, сигналізація	11 - 12,6 МПа
12	Вихід холодильника 16	Температура нітрозних газів	Контроль, Сигналізація, управління	155 - 165 °С
13	Вихід холодильника 11	Температура нітрозних газів	Контроль, сигналізація, управління	60 - 65 °С
14	Вхід абсорбційної колони	Температура парового конденсату	Контроль, сигналізація	< 40 °С
15	Вихід топкового пристрою	Температура вихлопних газів	Контроль, сигналізація, управління	480 °С

Продовження таблиці 3.1

№ п.п.	Точка технологічної схеми	Параметр	Функція	Величина
16	Вихід реактора каталітичного очищення	Температура вихлопних газів	Контроль, сигналізація,	750 °С
17	Вихід рекупераційної турбіни	Тиск вихлопних газів	Контроль, сигналізація,	0,95 -1,05 МПа
18	Виробництво азотної кислоти	Концентрація аміаку у повітрі (НКМП)	Контроль, Сигналізація, управління	14 % об.
19	Очищення нітрозних газів	Концентрація метану у повітрі	Контроль, Сигналізація, управління	5,4 % об.

Сигналізація про технологічні збої інформує про вихід певних параметрів технологічного процесу за визначені межі, але при цьому не призводять до аварії, а лише можуть призвести до випуску неякісної продукції.

Аварійна сигналізація сповіщає про неприпустимі значення параметрів технологічного процесу або про аварійні відхилення в роботі технологічної системи. Як правило, є світловою і звуковою.

Оскільки процес відноситься до вибухонебезпечних, то необхідно контролювати і сигналізувати небезпечну концентрацію аміаку і природного газу за допомогою світлової та звукової сигналізації за місцем і в операторній, тому що перевищення допустимого значення може призвести до виникнення аварійної ситуації.

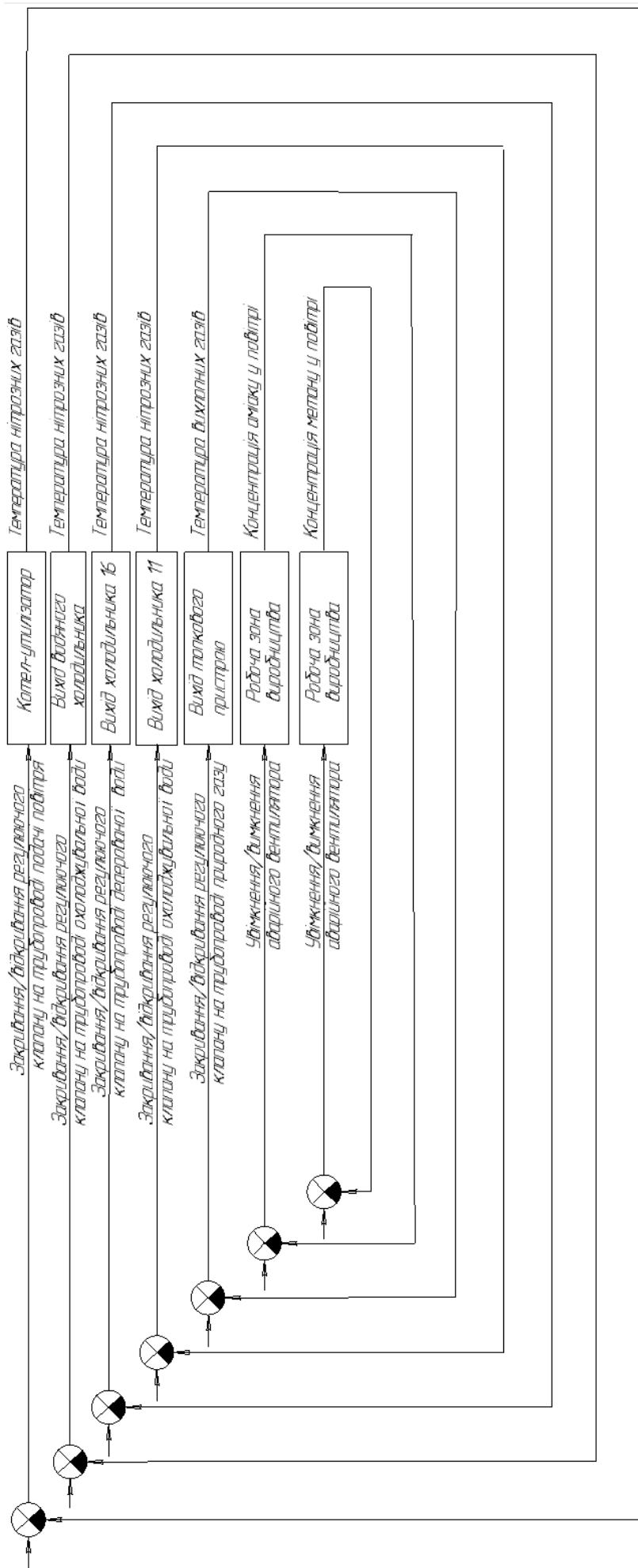


Рисунок 3.1-Структурна схема автоматизації.

## 4 ВИБІР КАНАЛІВ ВНЕСЕННЯ РЕГУЛЮЮЧИХ ДІЙ

4.1 Тиск повітря на виході повітряного компресора будемо контролювати і сигналізувати про вихід за допустимі межі за схемою, представленою на рис. 4.1.

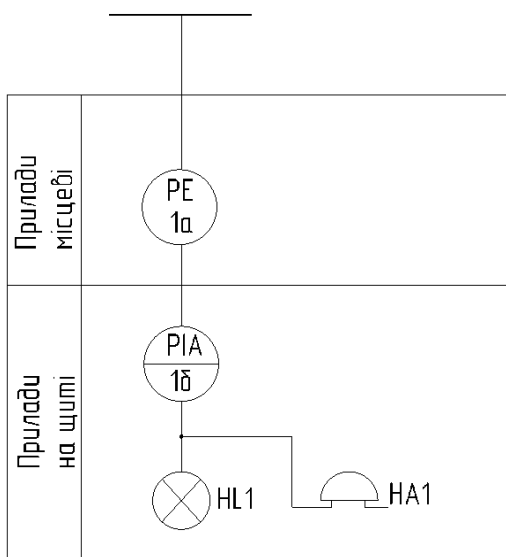


Рисунок 4.1 – Схема контролю і сигналізації тиску повітря на виході повітряного компресора.

До складу каналу контролю і сигналізації входить датчик тиску, перетворювач сигналу датчика, пристрій для показань і пристрої для сигналізації.

4.2 Температуру випаровування аміаку у випарнику будемо контролювати і сигналізувати про вихід за допустимі межі за схемою, представленою на рис. 4.2.

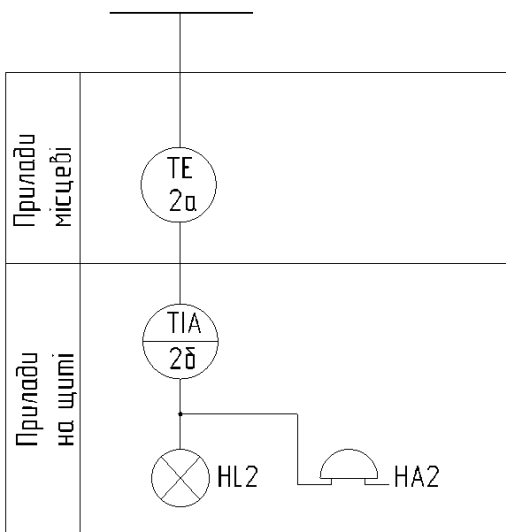


Рисунок 4.2 – Схема контролю і сигналізації температури випаровування аміаку у випарнику.

До складу каналу контролю і сигналізації входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, пристрій для показань і пристрої для сигналізації.

4.3 Тиск випаровування аміаку у випарнику будемо контролювати і сигналізувати про вихід за допустимі межі за схемою, представленою на рис. 4.3.

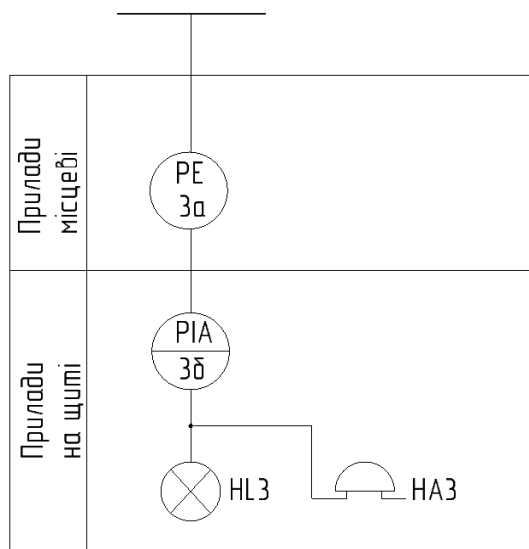


Рисунок 4.3 – Схема контролю і сигналізації тиску випаровування аміаку у випарнику.

До складу каналу контролю і сигналізації входить датчик тиску, перетворювач сигналу датчика, пристрій для показань і пристрої для сигналізації.

4.4 Температуру аміаку у підігрівачі будемо контролювати і сигналізувати про вихід за допустимі межі за схемою, представленою на рис. 4.4.

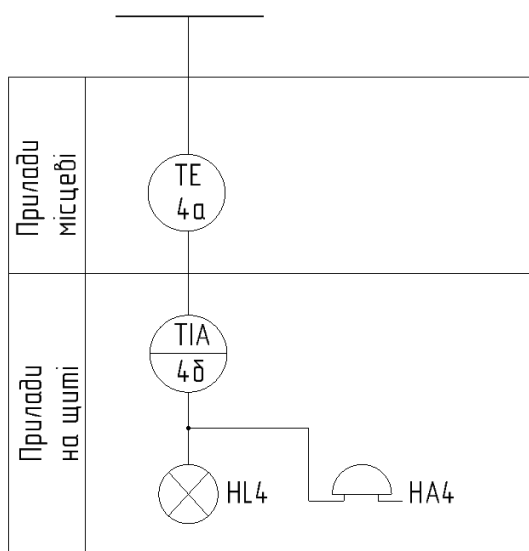


Рисунок 4.4 – Схема контролю і сигналізації температури аміаку у підігрівачі.

До складу каналу контролю і сигналізації входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, пристрій для показань і пристрої для сигналізації.



4.5 Температуру нітрозних газів на виході котла-утилізатора будемо регулювати шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі деаерованої води в котел-утилізатор.

Канал контролю і управління температурою нітрозних газів на виході котла-утилізатора представлений на рис. 4.5.

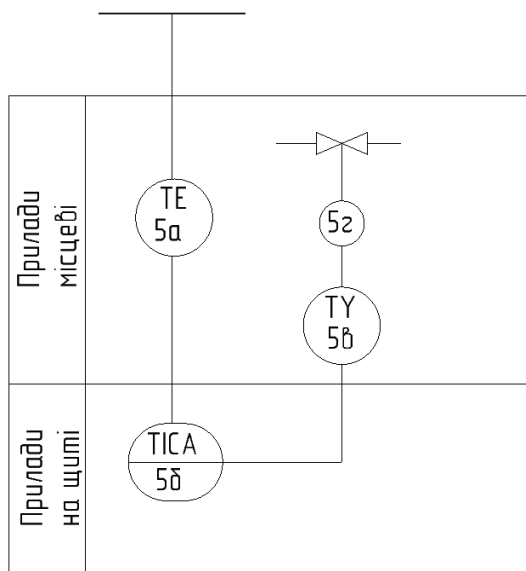


Рисунок 4.5 – Контур контролю і управління температурою нітрозних газів на виході котла-утилізатора.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, регулятор, перетворювач сигналу регулятора, виконавчий механізм, виконавчий орган.

4.6 Температуру пари на виході котла-утилізатора будемо контролювати і сигналізувати про вихід за допустимі межі за схемою, представленою на рис. 4.6.

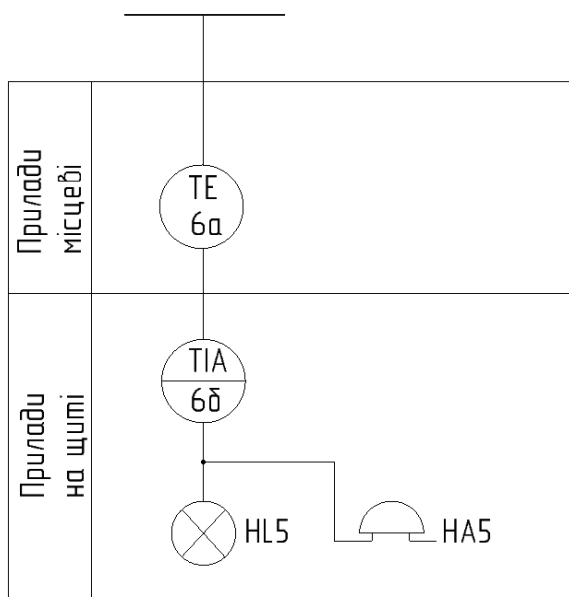


Рисунок 4.6 – Схема контролю і сигналізації температури пари на виході котла-утилізатора.

До складу каналу контролю і сигналізації входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, пристрій для показань і пристрої для сигналізації.

4.7 Тиск пари на виході котла-утилізатора будемо контролювати і сигналізувати про вихід за допустимі межі за схемою, представленою на рис. 4.7.

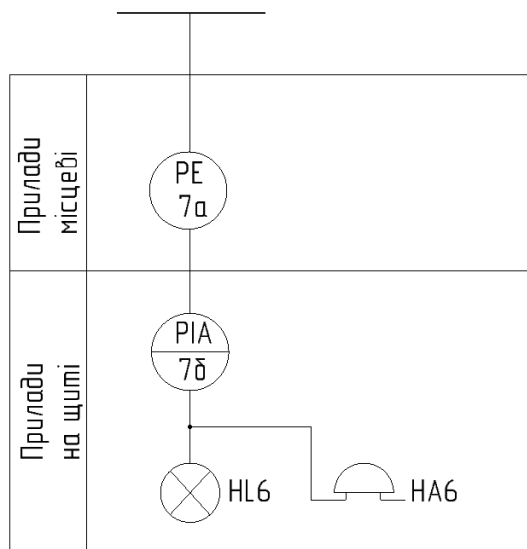


Рисунок 4.7 – Схема контролю і сигналізації тиску пари на виході котла-утилізатора.

До складу каналу контролю і сигналізації входить датчик тиску, перетворювач сигналу датчика, пристрій для показань і пристрої для сигналізації.

4.8 Температуру деаерованої води на виході теплообмінника будемо контролювати і сигналізувати про вихід за допустимі межі за схемою, представленою на рис. 4.8.

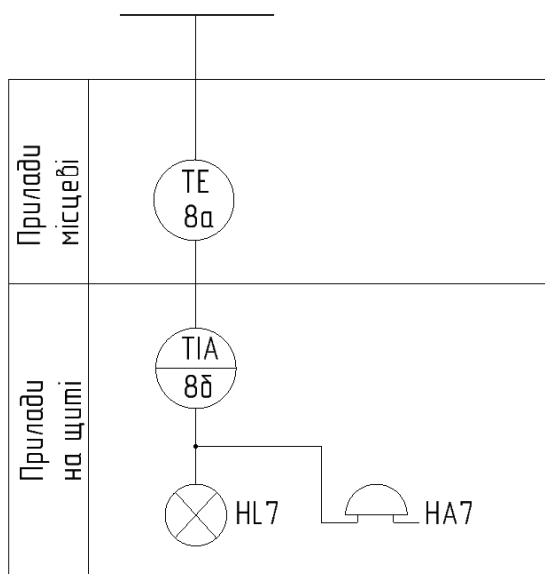


Рисунок 4.8 – Схема контролю і сигналізації температури деаерованої води на виході теплообмінника.

До складу каналу контролю і сигналізації входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, пристрій для показань і пристрої для сигналізації.

4.9 Температуру нітрозних газів на виході водяного холодильника будемо регулювати шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі охолоджувальної води.

Канал контролю і управління температурою нітрозних газів на виході водяного холодильника представлений на рис. 4.9.

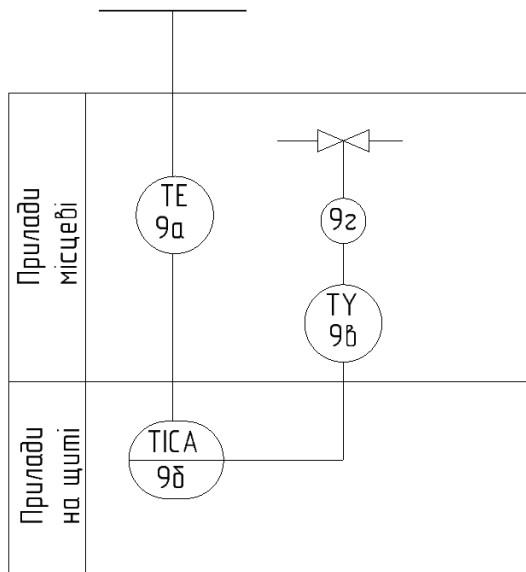


Рисунок 4.9 – Контур контролю і управління температурою нітрозних газів на виході водяного холодильника.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, регулятор, перетворювач сигналу регулятора, виконавчий механізм, виконавчий орган.

4.10 Температуру нітрозних газів на виході нітрозного компресора будемо контролювати і сигналізувати про вихід за допустимі межі за схемою, представленою на рис. 4.10.

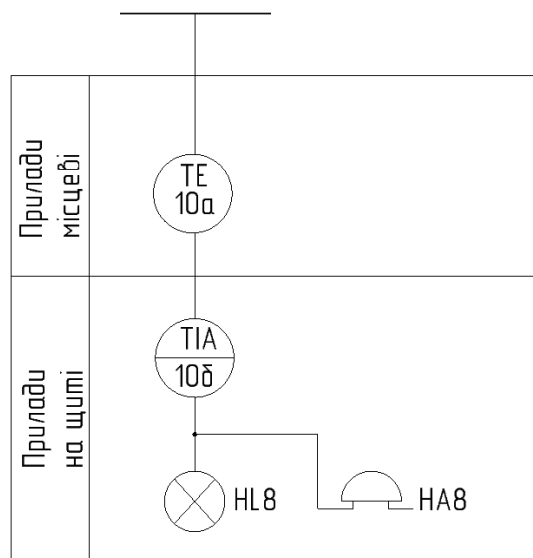


Рисунок 4.10 – Схема контролю і сигналізації температури нітрозних газів на виході нітрозного компресора.

До складу каналу контролю і сигналізації входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, пристрій для показань і пристрої для сигналізації.

4.11 Тиск нітрозних газів на виході нітрозного компресора будемо контролювати і сигналізувати про вихід за допустимі межі за схемою, представленою на рис. 4.11.

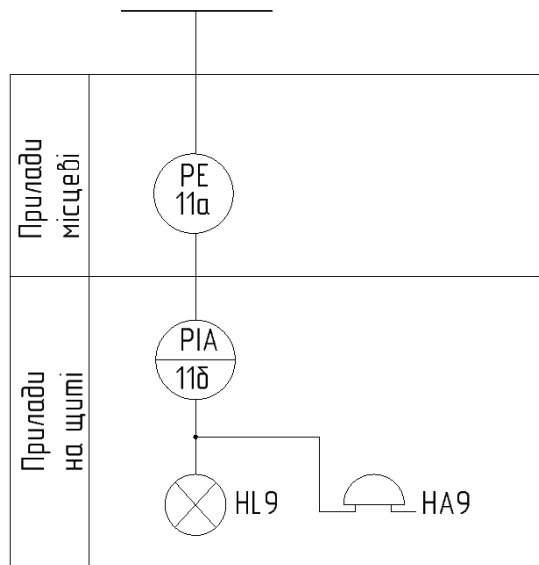


Рисунок 4.11 – Схема контролю і сигналізації тиску нітрозних газів на виході нітрозного компресора.

До складу каналу контролю і сигналізації входить датчик тиску, перетворювач сигналу датчика, пристрій для показань і пристрої для сигналізації.

4.12 Температуру нітрозних газів на виході холодильника 16 будемо регулювати шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі деаерованої води.

Канал контролю і управління температурою нітрозних газів на виході холодильника 16 представлений на рис. 4.12.

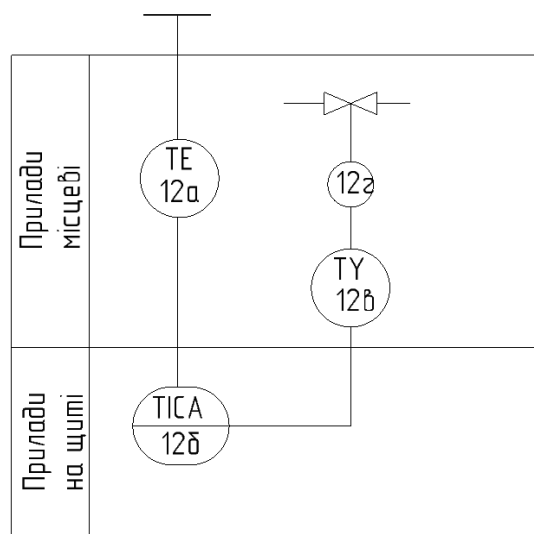


Рисунок 4.12 – Контур контролю і управління температурою нітрозних газів на виході холодильника 16.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, регулятор, перетворювач сигналу регулятора, виконавчий механізм, виконавчий орган.

4.13 Температуру нітрозних газів на виході холодильника 11 будемо регулювати шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі охолоджувальної води.

Канал контролю і управління температурою нітрозних газів на виході холодильника 11 представлений на рис. 4.13.

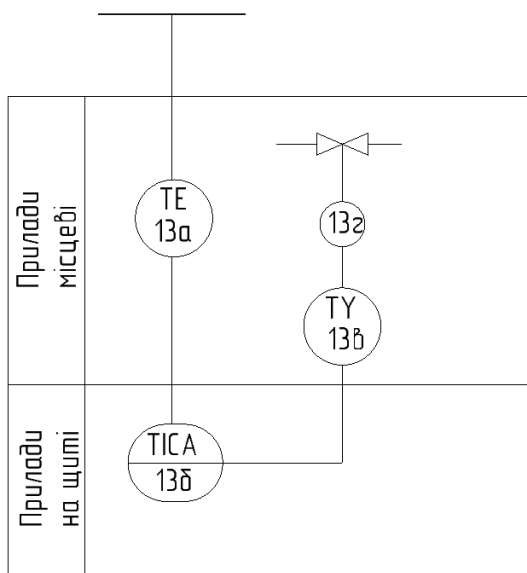


Рисунок 4.13 – Контур контролю і управління температурою нітрозних газів на виході холодильника 11.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, регулятор, перетворювач сигналу регулятора, виконавчий механізм, виконавчий орган.

4.14 Температуру парового конденсату на вході абсорбційної колони будемо контролювати і сигналізувати про вихід за допустимі межі за схемою, представленою на рис. 4.14.

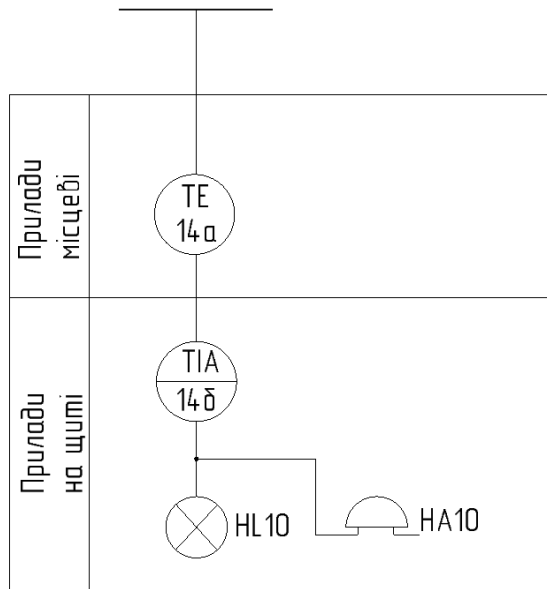


Рисунок 4.14 – Схема контролю і сигналізації температури парового конденсату на вході абсорбційної колони.

До складу каналу контролю і сигналізації входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, пристрій для показань і пристрій для сигналізації.

4.15 Температуру вихлопних газів на виході топкового пристрою будемо регулювати шляхом відкриття/закриття регулюючого клапана на трубопроводі природного газу.

Канал контролю і управління температурою вихлопних газів на виході топкового пристрою представлений на рис. 4.15.

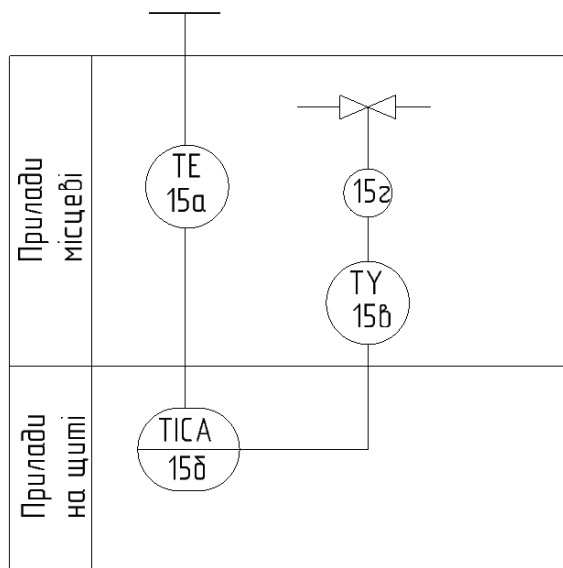


Рисунок 4.15 – Контур контролю і управління температурою вихлопних газів на виході топкового пристрою.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, регулятор, перетворювач сигналу регулятора, виконавчий механізм, виконавчий орган.

4.16 Температуру вихлопних газів на виході реактора каталітичного очищення будемо регулювати шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі природного газу на вхід змішувача.

Канал контролю і управління температурою вихлопних газів на виході реактора каталітичного очищення представлений на рис. 4.16.

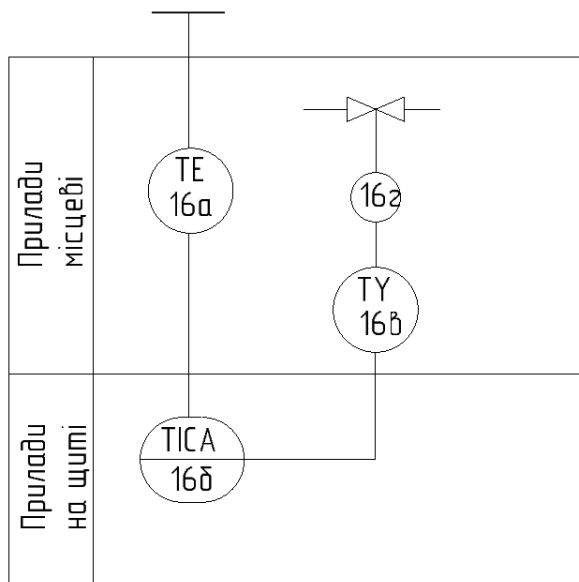


Рисунок 4.16 – Контур контролю і управління температурою вихлопних газів на виході реактора каталітичного очищення.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, регулятор, перетворювач сигналу регулятора, виконавчий механізм, виконавчий орган.

4.17 Тиск вихлопних газів на виході рекупераційної турбіни будемо контролювати і сигналізувати про вихід за допустимі межі за схемою, представленою на рис. 4.17.

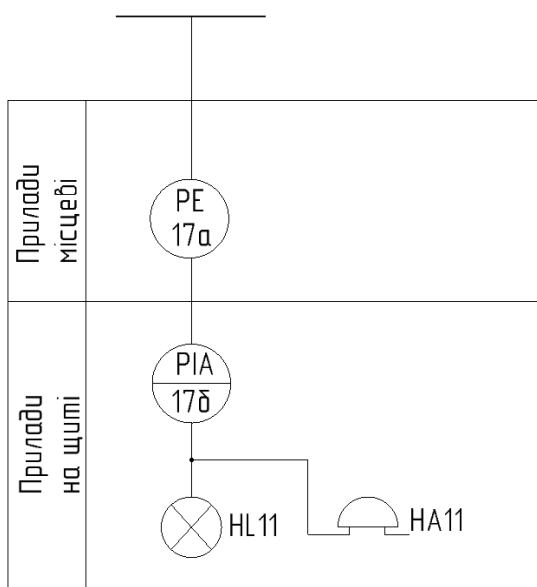


Рисунок 4.17 – Схема контролю і сигналізації тиску вихлопних газів на виході рекупераційної турбіни.

До складу каналу контролю і сигналізації входить датчик тиску, перетворювач сигналу датчика, пристрій для показань і пристрої для сигналізації.

4.18 Для запобігання вибухонебезпечній ситуації необхідно контролювати концентрацію (НКМП) аміаку.

Канал контролю, управління і сигналізації концентрацію (НКМП) аміаку представлений на рис. 4.18.

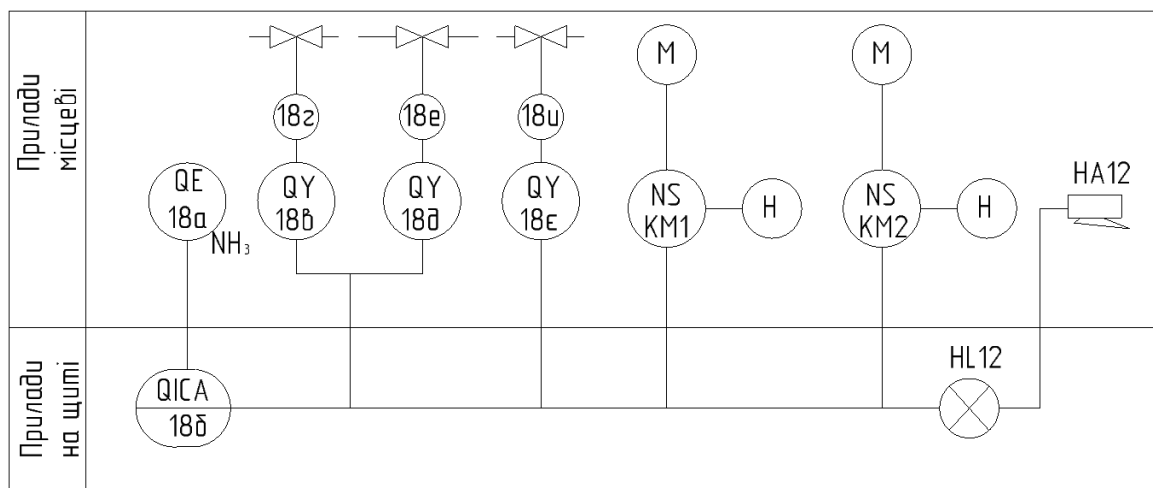


Рисунок 4.18 – Контур контролю, управління і сигналізації концентрації (НКМП) аміаку.

До складу каналу входить датчик концентрації аміаку, перетворювач сигналу датчика, контролер - універсальний регулятор, перетворювачі сигналів контролера, виконавчі механізми, виконавчі органи відсічки подачі рідкого аміаку на виробництво, відсічки подачі аміачно-повітряної суміші в контактний апарат, відкривання подачі азоту в ресивер і обладнання для вимикання повітряного компресора і вмикання аварійного витяжного вентилятора, засоби звукової і світлової аварійної сигналізації.

До складу каналу контролю і сигналізації входить датчик тиску, перетворювач сигналу датчика, пристрій для показань і пристрої для сигналізації.

4.19 Для запобігання вибухонебезпечній ситуації необхідно контролювати концентрацію (НКМП) природного газу.

Канал контролю, управління і сигналізації концентрацію (НКМП) природного газу представлений на рис. 4.19.



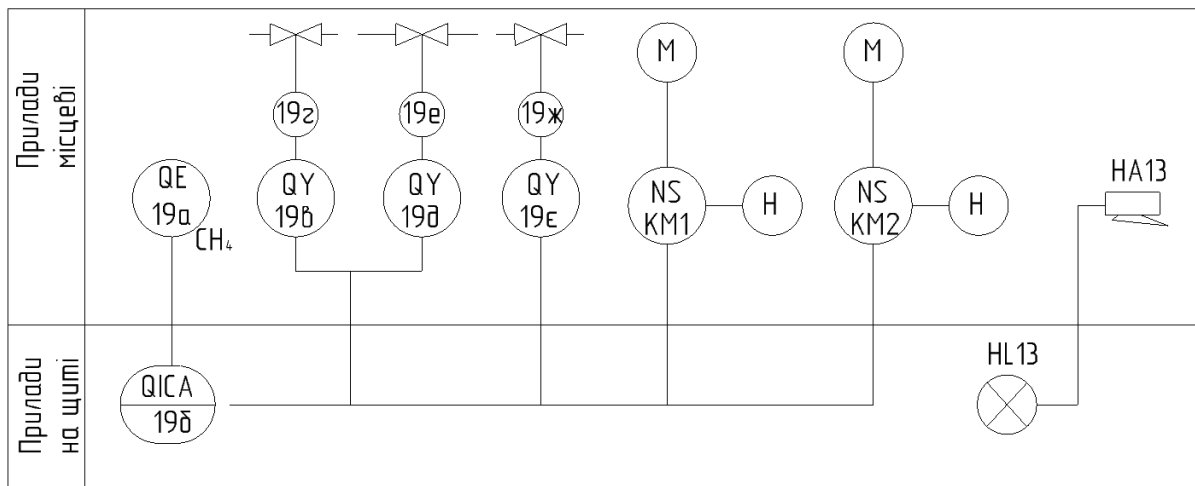


Рисунок 4.19 – Контур контролю, управління і сигналізації концентрації (НКМП) природного газу.

До складу каналу входить датчик концентрації природного газу, перетворювач сигналу датчика, контролер - універсальний регулятор, перетворювачі сигналів контролера, виконавчі механізми, виконавчі органи відсічки подачі природного газу на очищення нітрозних газів і обладнання для вимикання компресора нітрозних газів і вмикання аварійного витяжного вентилятора, засоби звукової і світлової аварійної сигналізації.

## 5 ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

### 5.1 Вибір датчиків

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

#### 5.1.1 Вибір датчиків тиску

##### 5.1.1.1 Датчик в каналі вимірювання тиску повітря на виході повітряного компресора

Особливі вимоги середовища вимірювання відсутні. Номінальний тиск 0,42 МПа.

Перетворювачі тиску вимірювальні DSP [99], виробник Україна, призначені для безперервного пропорційного перетворення абсолютного та надлишкового тиску, різниці тисків, розрідження неагресивних рідких і газових середовищ у вихідний уніфікований сигнал постійного струму та/або цифровий сигнал. Зовнішній вигляд датчика наведений на рис. 5.1.



Рисунок 5.1- Зовнішній вигляд перетворювача тиску вимірювального DSP-01.

Цифровий перетворювач “DSP–01” призначений для безперервного перетворення тиску (абсолютного чи надлишкового) або різниці тисків середовища в уніфікований вихідний сигнал постійного струму 4-20 мА. Перетворювач має герметичний захищений металевий корпус і цифровий дисплей який у реальному часі показує значення тиску середовища. Перетворювач оснащений цифровим HART інтерфейсом, що дозволяє отримувати дані про

тиск середовища як у аналоговому (4-20мА) так і у цифровому вигляді по тій самій дводотовій лінії.

«Перетворювачі тиску вимірювальні DSP» є затвердженим типом засобів вимірювальної техніки і занесені до Державного реєстру засобів вимірювальної техніки України за номером У3659-15.

Основні характеристики перетворювача тиску “DSP-01”:

- Вихідний сигнал постійного струму 4-20 мА;
- Виконання: надлишковий, абсолютний, різниця тисків, розрідження;
- Діапазон вимірювань тиску: від 0 до 25 МПа (на замовлення);
- Клас точності перетворювачів: 0.25 (на замовлення від 1.5 до 0.1);
- Споживана потужність: не більше 1.0 ВА;
- Ступінь захисту корпусу IP54;
- Живлення від 12 до 36 В;
- Цифровий HART інтерфейс.

DMP 331 (ДМП 331), датчик тиску BD Sensors [10], виробник Німеччина, датчик для тисків від 0 ... 0,04 до 0 ... 40 бар, абсолютний, надмірний, розрідження. Зовнішній вигляд датчика наведений на рис. 5.2.



Рисунок 5.2 - Зовнішній вигляд датчик тиску DMP 331 (ДМП 331).

DMP 331 (ДМП 331) - універсальний недорогий датчик тиску для різних галузей промисловості, пропорційно перетворює тиск робочого середовища в електричний сигнал. Завдяки різноманітності діапазону вимірювання датчик DMP 331 застосуємо для вирішення широкого кола завдань.

Датчик розрахований на вимір абсолютного або надлишкового тиску - як статичного, так і динамічного. Діапазони тиску від 0,04 до 40 бар. Можливі спеціальні виконання. Корпус датчика виготовлений з нержавіючої сталі 1.4571 і 1.4435. Стандартне ущільнення - витон (FKM), існують інші варіанти ущільнення.

Переваги та особливості датчика тиску DMP331:

- Економічне виконання;

- Висока лінійність характеристик, висока температурна стабільність;
- Захист від неправильного підключення, короткого замикання і перепадів напруги;
- Міцна і надійна конструкція для важких умов експлуатації, тривалий термін служби.

Технічні особливості:

- Настроювання діапазону на вимогу замовника;
- Наприклад: від -250 мбар до +150 мбар (від -25 кПа до +15 кПа);
- Похибка менше 0,75% ВПІ в температурному діапазоні 0 ... 70 °С;
- Корозійно-стійкий металевий корпус для польових умов;
- Спеціальна конструкція з відкритою мембраною;
- Іскробезпечне виконання: 0ЕхІаІІСТ4;
- Діапазони тиску: від 0 ... 0,04 до 0 ... 40 бар, абсолютне, надмірне, розрідження;
- Основна похибка: 0,5 / 0,35 / 0,25 / 0,2 / 0,1% ДІ;
- Вихідний сигнал: 0/4 ... 20 мА, 0 ... 10 В, 0 ... 5 В і ін. (Опція: Ех-виконання);
- Сенсор: кремнієвий п'єзорезистивний;
- Діапазон температур вимірюваного середовища: -25 ... + 125 °С;
- Клас захисту: IP 65-68;
- Механічне приєднання: M10x1, M12x1, M20x1.5, G<sup>1</sup>/<sub>4</sub>», G<sup>1</sup>/<sub>2</sub>», <sup>1</sup>/<sub>4</sub>»NPT, <sup>1</sup>/<sub>2</sub>»NPT;
- Електричне приєднання: DIN 43650, Binder 723 (5 конт.), M12x1 (4 конт.), Кабельний ввід PG7, Виссапеер.

Перетворювач тиску тип А-10[11], виробник Німеччина, призначений для загальнопромислових застосувань примітний не тільки своїм компактним дизайном, але він також пропонує відмінну якість при надзвичайно конкурентній ціні. Перетворювач тиску А-10 використовують для вимірювання надлишкового тиску, мановакууметричного тиску, абсолютного тиску, а також він розрахований на низькі діапазони тисків. Зовнішній вигляд перетворювача тиску наведений на рис. 5.3.



Рисунок 5.3\_ Зовнішній вигляд перетворювача тиску тип А-10.

Опис та технічні характеристики:

Діапазон вимірювань від 0...1 до 0...600 бар, від 0...1 до 0...25 бар абс, від -1...0 до -1...24 бар;

Похибка 0,25 або 0,5 %;

Вихідний сигнал 4...20 мА, DC 0...10 В, DC 0...5 В та ін.;

Живлення 10...30 В;

Матеріал деталей, які контактують з вимірюваним середовищем нержавіюча сталь;

Приєднання до процесу G ¼ A DIN 3852-E, ¼ NPT та інші;

Клас захисту IP 65;

Температура вимірюваного середовища -30...+100 °С.

Всі розглянуті датчики задовольняють вимогам по середовищу, діапазону вимірювань, точності і вихідному сигналу. Але вартість німецьких датчиків у декілька разів більша, тому обираємо для використання в каналі вимірювання тиску повітря на виході повітряного компресора перетворювач тиску вимірювальний DSP.

#### **5.1.1.2 Датчик в каналі вимірювання тиску випаровування аміаку у випарнику**

Є особливі вимоги середовища вимірювання – температура 10-16 °С, номінальний тиск 0,42 МПа, можливе вибухонебезпечне середовище.

Датчик тиску 060G4306, вибухозахищений (Danfoss) [12].

Вибухобезпечний датчик тиску MBS 4701, призначений для використання в небезпечних середовищах, забезпечує надійні високоточні вимірювання тиску навіть в жорстких умовах. Датчики тиску випускаються у вибухозахищеному виконанні класу EEx (ПС Тб) у відповідності з вимогами АТЕХ 100а. Широка номенклатура перетворювачів тиску передбачає вихідний сигнал 4...20 мА, вимірювання абсолютного або відносного тиску, різні діапазони вимірювання від 0-1 до 0-600 бар, можливість установки нуля та діапазону, штекерне електричне з'єднання і різноманітні варіанти приєднання імпульсних ліній тиску. Відмінна вібростійкість, міцна конструкція, висока ступінь електромагнітної сумісності та захисту від радіоперешкод, а також високе значення допустимої робочої температури забезпечують відповідність MBS 4701 найбільш суворим вимогам, які пред'являються до промислових установок. Зовнішній вигляд датчик а тиску наведений на рис. 5.4.



Рисунок 5.4- Зовнішній вигляд датчика тиску 060G4306.

Технічні характеристики датчика тиску 060G4306 (Danfoss), серія MBS 4701 вибухозахищений.

Діапазони вимірювання тиску: 0-6 бар.;

Вихідний сигнал 4 - 20 ма;

З'єднання: G - 1/2 Male;

Електричне з'єднання: Pg 9, EN 175301-803-A Male and Female;

Точність: 0,3;

Робоча температура залежить від типу електричного з'єднання;

Настроювання нуля і діапазону;

Ex II 1G EEx ia IIC T4 - T6 відповідно до АTEX 100a;

Можливе використання у вибухонебезпечній атмосфері: зона 0, зона 1, зона 2 (гази і пари).

ПД100 модель 1x5-Exd [13] датчик тиску у вибухонепроникному виконанні[13].

Датчики серії ПД100-ДІ/ДВ/ДІВ-115-0,25/0,5-EXD призначені для безперервного перетворення надлишкового / вакуумметричного / надлишково-вакуумметричного тиску вимірюваного середовища в уніфікований сигнал постійного струму 4 ... 20 мА з вибухозахистом типу «Вибухонепроникна оболонка» IExd IIC T6Gb.

Технологія «кремній-на-кремнії» (КНК), по якій виконана дана модель, в даний час є найбільш перспективною технологією, тому що пропонує найкраще співвідношення ціна/якість перетворення. Технологія заснована на виготовленні сенсора з монокристала кремнію із нанесеним на нього методом дифузії тензорезистивним мостом.

Перевагами даної технології є висока стабільність, низький гістерезис, висока переважувальна здатність і висока чутливість - відповідно, точність перетворення.

Датчики ПД100-ДІ / ДІВ/ДВ-115-0,25/0,5-EXD призначені для систем автоматичного регулювання та керування на вибухонебезпечних основних і вторинних виробництвах промисловості, що вимагають застосування вибухозахищеного обладнання: газотранспортні та газорозподільні системи, нафтопромисли, об'єкти транспортування і переробки нафти, НПЗ, і т.п.

Перетворювач загальнопромисловий надлишково-вакуумметричного на діапазон  $-0,1 \dots + 0,9$  МПа з мембраною з нержавіючої сталі приєднувальних різьбленням М20х1,5 в польовому корпусі вихідним сигналом 4-20 мА і основною похибкою 0,5% ВПІ виконання "вибухонепроникна оболонка". Зовнішній вигляд датчика тиску наведений на рис. 5.5.



Рисунок 5.5- Зовнішній вигляд датчика перетворювача тиску ПД100-ДІВ0,9-115-0,5-EXD.

Основні характеристики:

- вимірювання надлишкового/вакуумметричного/надлишково-вакуумметричного тиску нейтральних до нержавіючої сталі AISI 316L (мембрана), AISI 304SS (штуцер) середовищ (природний газ, нафта, вода, слабоагресивні рідини);
- перетворення тиску в уніфікований сигнал постійного струму 4 ... 20 мА;
- верхня межа вимірюваного тиску (ВПІ) - від  $-0,1$  кПа до  $0,9$  МПа;
- діапазон робочих температур вимірюваного середовища  $-40 \dots +100$  °С;
- перевантажувальна здатність - не менше 200% ВПІ;
- Основна приведена похибка - 0,25; 0,5; 1,5% ВПІ;
- вибухозахист «вибухонепроникна оболонка» 1 EX D ІІС Т6 Gb;
- ступінь захисту корпусу перетворювача - IP65;
- напруга живлення 12 ... 36 В постійного струму;
- споживана потужність не більше 0,8 Вт;
- середній час напрацювання на відмову не менше 500 000 год.;
- середній термін служби 12 років;
- завадостійкість задовольняє вимогам до обладнання класу А по ГОСТ30804.6.2-2013.

Проаналізувавши характеристики виберемо в каналі для вимірювання тиску випаровування аміаку у випарнику перетворювач загальнопромисловий надлишково-вакуумметричного тиску на діапазон  $-0,1 \dots + 0,9$  МПа з мембраною з нержавіючої сталі ПД100-ДІВ0,9-115-0,5-EXD.

### 5.1.1.3 Датчик в каналі вимірювання тиску пари на виході котла-утилізатора

Є особливі вимоги середовища вимірювання – температура 440 °С. Номінальний тиск 40 МПа.

Вирішити задачу вимірювання тиску високотемпературного середовища можна кількома способами: встановити вимірювальний прилад, що коректно працює при високій температурі, або винести датчик (манометр) від місця відбору робочого середовища. Перше рішення буде дорогим, друге зажадає додаткової прокладки імпульсних ліній, встановлення захисних шаф.

У відкритому доступі ринок пропонує обмежену номенклатуру високотемпературних датчиків тиску.

Wave-Phire™ - DPT950, оптичний датчик для вимірювання динамічного тиску [14] (ілюстративне фото рис. 5.6).

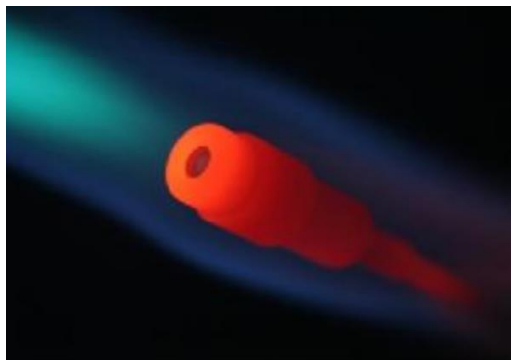


Рисунок 5.6- Ілюстративне фото оптичного датчика для вимірювання динамічного тиску

Wave-Phire™ має сапфірову головку датчика 1000 °С, піддану мікромашинній обробці, упаковану з високотемпературним оптоволоконним виводом для створення унікальної конфігурації датчика. Роздільна здатність  $2 \cdot 10^{-5}$  від повної шкали тиску Wave-Phire™ роблять його привабливим. Працює в суворих кліматичних умовах включаючи для використання в жорстких умовах навколишньої високої вібрації і хімічно агресивну атмосферу середовища, таких як газові турбіни та інших системах з вогневим нагріванням. Він може використовуватися для захищеного від ЕМІ (електромагнітні перешкоди) управління безперервним динамічним горінням або як інструмент розробки проекту.

Схема повної вимірювальної системи наведена на рис. 5.7.



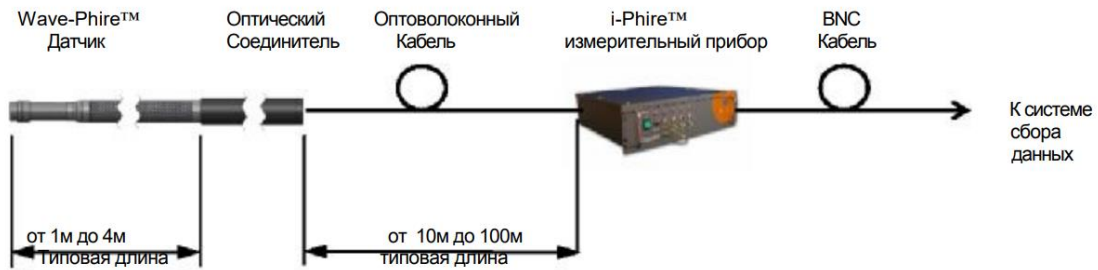


Рисунок 5.7 - Схема повної вимірної системи для вимірювання тиску датчиком Wave-Phire™  
Характеристика продукту:

- Робота за екстремальної температури понад 1000 ° C;
- Працює в суворих кліматичних умовах, включаючи високу вібрацію і хімічно агресивну атмосферу;
- наближене положення до процесу згоряння дозволяє здійснювати надійний контроль ширини пропускового діапазону і раніше виявлення динамічних подій.

Підходить для управління динамікою згоряння замкнутого циклу.

Технічні характеристики:

- Повна шкала діапазону тиску: 0 – 10 бар, 0 - 25бар і 0 – 60 бар. Доступні інші значення за запитом покупця;
- Діапазон робочої температури: від -40 до 750 °C (безперервне використання), від -40 до 1000 °C (використання для науково-дослідних розробок) ;
- Діапазон динамічного вимірювання: до повної шкали тиску;
- Системна дозвроздільна здатність:  $2 \cdot 10^{-5}$  повної шкали тиску;
- Допустиме перевантаження: більше потрійної повної шкали тиску;
- Системний аналоговий вихід: змінний до  $\pm 4$  В подвійної амплітуди через програмоване управління посиленням;
- Вологість: 0-100% RH;
- Датчик невразливий для ЕМІ (електромагнітних завад).

Датчики тиску для високих температур GEFRAN серії KN[1515], рис. 5.8.



Рисунок 5.8 - Зовнішній вигляд датчика тиску для високих температур GEFRAN серії

KN.

Технічні характеристики:

- Діапазони робочого тиску: від 0-35 до 0-1000 bar / від 0-500 до 0-150000 psi;
- Похибка: менше  $\pm 0.25\%$  або  $<\pm 0.5\%$  в межах повної шкали;
- Система гідравлічної передачі стабільного сигналу тиску при робочій температурі (NaK). Рідина відповідає RoHS Директиви NaK, поприлості як безпечна субстанція (GRAS);
- Кількість натрій-калієвого наповнення: KN0 series (30mm<sup>3</sup>) (0.00183 in<sup>3</sup>), KN1, KN2, KN3 (40mm<sup>3</sup>) (0.00244 in<sup>3</sup>);
- Стандартні приєднувальні різьби 1 / 2-20UNF, M18x1,5; інші типи за запитом;
- Автообнулення: вбудоване або зовнішнє;
- Авокомпенсація зміщення штока (SP версія);
- Inconel 718 діафрагма з GTP покриттям для температур до 538 ° C (1000 ° F);
- 15-5 PH діафрагма з GTP покриттям для температур до 400 ° C (750 ° F);
- Діафрагма з HastelloyC276 для температур до 300 ° C (570 ° F);
- Рифлена діафрагма зі сталі 17-7 PH з GTP покриттям для діапазонів нижче 100 bar-1500 psi;
- Вихідний сигнал: 4...20 mA.

Проаналізувавши характеристики оберемо для застосування в каналі для вимірювання тиску пари на виході котла-утилізатора датчик тиску для високих температур GEFTRAN серії KN.

#### **5.1.1.4 Датчик в каналі вимірювання тиску нітрозних газів на виході нітрозного компресора**

Є особливі вимоги середовища вимірювання – температура 210 – 230 °C, тиск 11 - 12,6 МПа, агресивне середовище (нітрозні гази).

Перетворювач тиску для високотемпературних середовищ: до +300°C KELLER 35X НТС[16] - п'єзрезистивний високотемпературний перетворювач, здатний 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 і виконує функцію радіатора. Коли вимірюване середовище потрапляє на мембрану з температурою 300 ° C, температура чутливого елемента збільшується тільки до 100 ° C. Вбудована електроніка дозволяє отримати посилений вихідний сигнал по струму або напрузі пропорційно тиску. Для вкрай агресивних середовищ, KELLER пропонує різні матеріали для

мембрани. Зовнішній вигляд перетворювача тиску для високотемпературних середовищ: до +300°C KELLER 35X HTC наведений на рис. 5.9.



Рисунок 5.9 - Зовнішній вигляд датчика перетворювача тиску для високотемпературних середовищ: до +300°C KELLER 35X HTC.

Цифровий вихідний сигнал перетворювачів.

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

Аналоговий вихідний сигнал перетворювачів.

Інтегрований процесор XEMICS може працювати як цифро/аналоговий перетворювач D/A, 16 bit для вихідних сигналів 4 ... 20 mA або 0 ... 10 V. Частота сигналу 400 Hz. Для всіх аналогових перетворювачів тиску доступний цифровий вихідний сигнал.

Програмування.

За допомогою програми KELLER READ30 і програми PROG 30, RS485 конвертора (наприклад K102 або K107 аксесуари KELLER) і ПК, можна відображати тиск, змінювати одиниці вимірювання, підлаштовувати нуль. Також можна налаштувати будь-які значення в межах вимірюваного діапазону для аналогових вихідних сигналів. Технічні характеристики перетворювача тиску наведені в табл. 5.1

Таблиця 5.1\_ Технічні характеристики перетворювача тиску для високотемпературних середовищ: до +300°C KELLER 35X НТС

Стандартні діапазони тисків (ВПП) і тиск перевантаження в бар						
PR 35X НТС	3	10	30			
РАА 35X НТС	3	10	30	100	300	1000
Перевантаження	5	20	60	200	400	1100
Вихідний сигнал	(цифровий) RS 485		(аналоговий) 4...20 mA		(аналоговий) 0...10 V	
Напруга живлення (U)	8...28 Vcc		(2-пров) 8...28 Vcc		(3-пров.) 13...28 Vcc	
Сумарна похибка (20...300 °C)	0,5 %ВПП		0,5 %ВПП		) 0,5 %ВПП	
Лінійність (Краща пряма лінія)	0,05 %ВПП					
Частота вимірювання	100 Hz					
Роздільна здатність	0,002%ВПП					
Довготривала стабільність	0,2 %ВППИ					
Опір навантаження (Ω)	<(U-7V)/0,02A (2 пров.)				5000 (3-пров.)	
Електричне приєднання	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Binder-Plug 723 (5 контактів)</li> <li>– DIN 43650 Plug (4 контакти)</li> <li>– MIL C-26482-Plug (6 контактів)</li> </ul>					
Ізоляція	> 10 MΩ / 50 V					
Температура роботи	Середовище: 0...300 °C Електроніка: 0...120 °C					
Напрацювання на відмову	10 Млн. циклів 0...100 %ВПП при 25 °C					
Вібростійкість, ІЕС 68-2-6	20 g (5...2000 Hz, макс. амплітуда ± 3 мм)					
Стійкість до ударів	20 g (11 мс)					
Клас захисту	IP 65 опціонально: IP 67					
СЕ-сумісність	EN 61000-6-1 to -6-4					
Матеріал контакту з середовищем	Нерж. сталь 316L (DIN 1.4435) / Витон®					
Нечутливість до зміни об'єму	< 0,1 мм <sup>3</sup>					
Монтаж	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Горизонтальна позиція (в напрямку від високої температури).</li> <li>Охолоджуюча спіраль вразлива при кімнатній темп.</li> </ul>					

Високотемпературні датчики тиску Курант ДИ-В[17].

Високотемпературні датчики тиску ДИ-В призначені для роботи в системах автоматичного контролю, вимірювання і управління в процесах з підвищеними температурами (до 350 °С). Датчики забезпечують перетворення тиску газоподібних і рідких середовищ з в'язкістю не більше 10<sup>6</sup> Па·с, (наприклад, розплави полімерів) в уніфікований вихідний сигнал струму або напруги. Конструктивно високотемпературні датчики тиску Курант ДИ-В мають два виконання: в єдиному корпусі (моноблок) або з винесеною електронікою. Зовнішній вигляд датчика тиску Курант ДИ-В наведений на рис. 5.10.



Рисунок 5.10 - Зовнішній вигляд високотемпературного датчика тиску Курант ДИ-В.

Технічні характеристики високотемпературного датчика тиску Курант ДИ-В наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2\_ Технічні характеристики високотемпературних датчиків тиску Курант ДИ-В

Верхня межа вимірювань, МПа	-0,1...2,5(3,0)...100;...250 МПа
Допустиме перевантаження по тиску	150% - для межі до 40 МПа; 125% - від 40 до 60 МПа; 120% - для межі 100 МПа; 110% - для межі 160 ... 250 МПа
Основна похибка, не більше	± 0,25; ± 0,5; ± 1,0% - для межі від 0,1 до 40 МПа ± 0,5; ± 1,0; ± 1,5% - для межі від 60 до 100 МПа ± 1,0; ± 1,5% - для межі від 160 до 250 МПа
Додаткова похибка від зміни температури, в діапазоні температур від 5 до 350 °С, не більше	±5 %
Додаткова похибка від зміни температури, в діапазоні температур від 170 до 350 °С, не більше	±2 %
Додаткова похибка від зміни температури, в діапазоні температур, обраним замовником, не більше	±0,1% на кожні 10 °С
Додаткова похибка від зміни температури, в межах дії температур, обраного замовником, не більше	±0,5% на кожні 10 °С

Продовження таблиці 5.2

Діапазон температурної компенсації, обраний замовником	Будь-який діапазон не більше 100 °С в межах температури контрольованого робочого середовища. За попередньо узгодженим замовленням можливе розширення діапазону температурної компенсації.
Діапазон температур робочого середовища	Від +5 до +120 і до 350 °С - в залежності від виконання
Межі температури навколишнього середовища для електронного блоку	Від +5 до +80 °С
Ступінь захищеності оболонки	IP54 (на замовлення - аж до IP-67)
Вихідний сигнал - постійний струм або напруга постійного струму	Від 0 до 5 мА; від 4 до 20 мА; від 1 до 5 В; від 0 до 10 В
Напруга живлення	Від 15(12) до 36 В
Виконання різьби вхідного вузла (штуцера) датчика	1/2" 20 UNF; M20x1,5; M14x1,5
Матеріал, дотичний з вимірюваним середовищем	Титановий сплав ВТ-9, ВТ-18 або замітник
Матеріал корпусу модуля електроніки	Алюмінієвий сплав, сталеві деталі з захисним покриттям
Сумісність з робочим середовищем	Датчики не містять ніяких рідин. Придатні для використання в харчовій і медичній промисловості
Міжповірочний інтервал	2 роки

Проаналізувавши характеристики оберемо в каналі вимірювання тиску нітрозних газів на виході нітрозного компресора високотемпературний датчик тиск Курант ДИ-В у виконанні для роботи в агресивному середовищі.

**5.1.1.5 Датчик в каналі вимірювання тиску вихлопних газів на виході рекупераційної турбіни**

Є особливі вимоги середовища вимірювання – температура ~350 - 400 °С, тиск 11 - 12,6 МПа, агресивне середовище (нітрозні гази).

Із розглянутих датчиків в каналі для вимірювання тиску вихлопних газів на виході рекупераційної турбіни можна застосувати вже відомий датчик тиску для високих температур GEFRAN серії KN.

## 5.1.2 Вибір датчиків температури

### 5.1.2.1 Датчик в каналі вимірювання температури випаровування аміаку у випарнику

Є особливі вимоги середовища вимірювання – номінальний тиск 0,42 МПа, температура 10-16 °С, можливе вибухонебезпечне середовище.

Термоперетворювачі опору вибухозахищені з вихідним струмовим сигналом ТСМУ 014 [18] призначені для вимірювання температури рідких і газоподібних хімічно неагресивних середовищ, а також агресивних середовищ, які не руйнують захисну арматуру ТЗ, в тому числі у вибухонебезпечних зонах, і видачі інформації про температуру в вигляді вихідного струмового сигналу 4 ... 20 мА. Зовнішній вигляд термоперетворювача опору вибухозахищеного з вихідним струмовим сигналом ТСМУ 014 наведений на рис. 5.11.



Рисунок 5.11 - Зовнішній вигляд термоперетворювача опору вибухозахищеного з вихідним струмовим сигналом ТСМУ 014.

ТО мають:

- вибухобезпечний рівень вибухозахисту;
- вид вибухозахисту «Вибухонепроникна оболонка» по ГОСТ Р 51330.1;
- маркування вибухозахисту 1ExdIICT4 по ГОСТ Р 51330.0.

ТО можуть застосовуватися у вибухонебезпечних зонах, в яких можливе утворення вибухонебезпечних сумішей категорій ПА, ПВ, ПС груп Т1, Т2, Т3, Т4 згідно з ГОСТ Р 51330.19, відповідно до глави 7.3 ПУЕ та іншими нормативними документами, що визначають застосовність електроустаткування у вибухонебезпечних зонах.

ТО складаються з ЧЕ, захисної арматури, клемної головки та ДЖ, встановленого в клемної голівці.

Технічні характеристики.

Діапазон вимірюваних температур, °С:

ТСМУ 014.54 від мінус 0 до +100, ТСМУ 014.55 від 0 до +180.

Верхня межа діапазону вимірюваних температур, °С +180.

Вихідний струмовий сигнал, мА 4 ... 20; на замовлення споживача можливе виготовлення ТЗ з вихідним струмовим сигналом 0 - 5 мА.

Залежність вихідного струмового сигналу від вимірюваної температури лінійна.

Основна приведена похибка,%, не більше  $\pm 0,25$ .

Додаткова наведена похибка, викликана зміною температури навколишнього середовища, %/°C, не більше  $\pm 0,01$ .

Діапазон температури навколишнього середовища в зоні клемної головки, °C від мінус 60 до +70.

Показник теплової інерції, певний при коефіцієнті тепловіддачі практично рівному нескінченності, с, не більше, для ТО з діаметром захисної арматури:

- 10 мм 15;

- 10 мм з переходом на  $\varnothing$  8 мм на відстані 60 мм; 9;

- 8 мм 5 мм; 6 мм 6.

Схема підключення ТО до лінії споживача 2-одротова.

Напруга живлення, В від 9 до 34.

Споживана потужність, Вт, не більше 0,8.

Опір навантаження, кОм, не більше  $(U_{\text{факт.}}-9)/20$ .

Кількість каналів вимірювання 1.

Довжина занурюваної частини захисної арматури, мм від 60 до 3150, (Для групи FX по ГОСТ 12997- до 400 мм; для групи GX по ГОСТ 12997- до 120 мм).

Діаметр занурюваної частини захисної арматури, мм 5; 6; 8; 10.

Тип штуцера:

- рухливі штуцери M20x1,5; M27x2;

- нерухомі штуцери M20x1,5; M27x2; K1/2"; K3/4"; R1/2; R3/4; G1/2;

нерухомі посилені штуцери M20x1,5; M27x2; K1/2"; K3/4"; R1/2; R3/4; G1/2;

пересувні штуцери M20x1,5; M27x2 (НЕ входять в комплект поставки).

Умовний гідростатичний тиск вимірюваного середовища  $P_u$ , МПа, не більше 6,3 - для ТО без штуцера; 16 - для всіх інших ТО.

Вібростійкість по ГОСТ 12997 F3, FX, GX (приклад запису ТО групи FX, GX при замовленні).

Термоопори ОВЕН ДТСхх4 з кабельним виводом ЕХІА[19] у вибухозахищеному виконанні дозволяють виконувати вимірювання температури вибухонебезпечних сумішей газів, парів, а також легкозаймистих і вибухових речовин. - Зовнішній вигляд термоопору



ОВЕН ДТСхх4 з кабельним виводом EXIA у вибухозахищеному виконанні поданий на рис. 5.12.



Рисунок 5.12 - Зовнішній вигляд термоопору ОВЕН ДТСхх4 з кабельним виводом EXIA у вибухозахищеному виконанні.

Технічні характеристики.

Діапазон вимірюваних температур:

- для номінальної статичної характеристики (НСХ) 50М, 100М:

клас допуску А:  $-50...+100$  °С, клас допуску В, С:  $-50...+150$  °С;

- для номінальної статичної характеристики (НСХ) 50П, 100П:

клас допуску А:  $-100...+250$  °С, клас допуску В, С:  $-196...+250$  °С.

Умовний тиск 0,1 ... 6,3 МПа (в залежності від конструктивного виконання).

Показник теплової інерції не більше 10 ... 30 с.

Опір ізоляції не менше 100 МОм.

Кількість чутливих елементів 1 чи 2.

Схема внутрішніх з'єднань провідників 2 – дводротова, 3 – тридротова, 4 – чотиридротова.

Виконання сенсора відносно корпусу ізольований.

Довжина кабельного виведення 0,2 м – стандарт, до 20 м - на замовлення.

Тип нарізного штуцера метрична різьба, трубне різьба.

Матеріал захисної арматури сталь 12Х18Н10Т, латунь.

Ступінь захисту по ГОСТ 14254 IP54 (IP67 для моделей 314, 414, 164, 174, 294).

Маркування вибухозахисту 0ExiaПС Т1 ... Т6.

Параметри іскробезпечних електричних ланцюгів  $U_i = 10,2$  В;  $I_i = 200$  мА;  $L_i = 0,75$  мГц;  $C_i = 2,75$  мкФ.

Гранично допустимі відхилення, що відповідають класу датчика для типу М:

- клас допуску А: діапазон вимірювання, °С  $-50...+100$ , межі допустимих відхилень від НСХ, °С  $\pm(0,15 + 0,002 \cdot |t|)$ ;

клас допуску В: діапазон вимірювання, °С  $-50...+200$ , межі допустимих відхилень від НСХ, °С  $\pm(0,30 + 0,005 \cdot |t|)$ ;

клас допуску С: діапазон вимірювання, °С -180...+200, межі допустимих відхилень від НСХ, °С  $\pm (0,60 + 0,01 \cdot |t|)$ .

Термоперетворювач з уніфікованим струмовим вихідним сигналом ТСМУ0289 мідний [20] призначений для вимірювання температури в галузях нафтогазовидобувної, нафтопереробної, нафтохімічної промисловості та з виробництва мінеральних добрив у вибухонебезпечних зонах усіх класів. Зовнішній вигляд термоперетворювача з уніфікованим струмовим вихідним сигналом ТСМУ0289 мідного поданий на рис. 5.13.



Рисунок 5.13 - Зовнішній вигляд термоперетворювача з уніфікованим струмовим вихідним сигналом ТСМУ0289 мідного.

Технічні характеристики.

Робочий діапазон вимірюваних температур - -50 °С-200 °С.

Умовне позначення с - ТСМУ-0289-50М .

Межа допустимого значення основної похибки - 0,7% -2,5%.

Вихідний сигнал - постійний струм 4мА-20мА.

Напруга живлення 12В-36В.

Опір ізоляції не менше 100 МОм.

Кількість чутливих елементів 1 чи 2.

Схема внутрішніх з'єднань провідників 2 – дводротова, 3 – тридротова, 4 – чотиридротова.

Розглянувши характеристики наведених датчиків, оберемо термоперетворювач опору ТСМУ 014.54 Ех у вибухозахищеному виконанні для неагресивних середовищ з НСХ 50М у каналі вимірювання температури випаровування аміаку у випарнику, оскільки параметри всіх наведених датчиків приблизно однакові, але має найнижчу ціну, досить великий середній час напрацювання на відмову середній термін служби і розгалужену мережу представництв виробника в Україні.

### 5.1.2.2 Датчик в каналі вимірювання температури аміаку у підігрівачі

Є особливі вимоги середовища вимірювання – номінальний тиск 0,42 МПа, температура 10-16 °С, можливе вибухонебезпечне середовище.

Із розглянутих датчиків в каналі для вимірювання температури аміаку у підігрівачі вибираємо для застосування термоперетворювач опору ТСМУ 014.54Ex у вибухозахищеному виконанні для неагресивних середовищ з НСХ 50М.

### 5.1.2.3 Датчик в каналі вимірювання температури нітрозних газів у котлі-утилізаторі

Є особливі вимоги середовища вимірювання – температура 840 - 860 °С, агресивне середовище.

Термоперетворювачі з керамічної захисною оболонкою TTSCU-22, TTRCU-22, TTKCU-22[21] використовуються для вимірювання в тих процесах, де високі температури не дозволяють використовувати датчики з захисними оболонками зі сталі. Вони мають керамічну захисну оболонку, що дозволяє використовувати дані термоперетворювачі в температурних межах аж до 1800 °С. Ці датчики, призначені для вимірювання високої температури в агресивних середовищах. Застосовуються як правило в нафтохімічній і скляній промисловості. Зовнішній вигляд термоперетворювача з керамічною захисною оболонкою поданий на рис. 5.14.



Рисунок 5.14 - Зовнішній вигляд термоперетворювача термоперетворювача з керамічною захисною оболонкою.

Технічні характеристики.

Діапазон вимірювань температури/перетворюючий елемент  $-40 \div 1200$  °С S, R, K кл. 2.

Матеріал зовнішньої металевої оболонки:

- сталь 1.4841 макс. темп. 1150 °С;
- сталь 1.4762 макс. темп. 1200 °С;
- сталь 15Cr25Т макс. темп. 1000 °С.

Матеріал внутрішньої керамічної оболонки муліт 610, Ø15 мм.

Довжина L [мм]: 300 ÷ 2000.

Головка А, IP53, -40 ÷ 100°C.

Опції.

З перетворювачем 4 ÷ 20 мА в голівці DAW

- два вимірювальних контури;
- термопара S, R, К кл. 1.

Метран™ 270 Датчик Температури з УВС[22] - датчик температури, що складається з первинного перетворювача і вбудованого в головку датчика вимірювального перетворювача, що перетворюють вимірювану температуру в уніфікований вихідний сигнал (УВС) постійного струму 4-20 мА. Призначений для вимірювання температури нейтральних і агресивних середовищ, по відношенню до яких матеріал захисної арматури є корозійностійким.

Чутливий елемент первинного перетворювача і вбудований в головку датчика вимірювальний перетворювач перетворюють вимірювану температуру в уніфікований вихідний сигнал постійного струму, що дає можливість побудови АСУТП без застосування додаткових нормуючих перетворювачів. Зовнішній вигляд датчика температури з УВС Метран™ 270 поданий на рис. 5.15.



Рисунок 5.15 - Зовнішній вигляд датчика температури з УВС Метран™ 270.

Технічні характеристики.

Вихідний сигнал 4-20 мА

Первинні перетворювачі:

- ТО (100М, 50М) з можливістю вимірювання температури до 180 °С;
- ТО (Pt100) з можливістю вимірювання температури до 500 °С;
- ТХА (К) з можливістю вимірювання температури до 1000 °С.

Захисні арматури жароміцні і корозійностійкі.

Виконання:

- загальнопромислове;
- ЕхІаІІСТ5, ЕхІаІІСТ6 з видом вибухозахисту "іскробезпечне електричне коло";
- "Іа"; -ІЕхdІІСТ5, 1ЕхdІІСТ6 з видом вибухозахисту "вибухонепроникна оболонка d".

Межа основної зведеної похибки,  $\pm \gamma$  0,5; 1,0 %

Залежність вихідного сигналу від температури лінійна.

Матеріал голівки:

- поліамід Технамід® А СВ Л для загальнопромислового виконання;
- сплав АК12 для вибухонебезпечного виконання.

Ступінь захисту термоперетворювача від впливу пилу і води IP65 по ГОСТ 14254.

Вібростійка група виконання V1 за ГОСТ Р 52931.

Маркування вибухозахисту ExiaIICT5, ExiaIICT6 з видом вибухозахисту "іскробезпечне електричне коло "" іа "; 1ExdIICT5, 1ExdIICT6 з видом вибухозахисту "вибухонепроникна оболонка d ".

Напруга живлення:

- від 18 до 42 В постійного струму для термоперетворювачів з вихідним сигналом 4...20 мА;
- 36 В постійного струму для термоперетворювачів із вихідним сигналом 0...5 мА.

Допустиме відхилення напруги живлення не більше  $\pm 2\%$ ; від іскробезпечних кіл блоків живлення (бар'єрів), мають вид вибухозахисту "іскробезпечне електричне коло рівня"іа" для вибухонебезпечних сумішей групи ІС за ГОСТ 12.1.011 з напругою холостого ходу  $U_{xx} \leq 24$  В, струмом короткого замикання  $I_{kz} \leq 120$  мА для термоперетворювачів виконання "Exia".

Споживана потужність не більше 0,9 Вт для термоперетворювачів звичайного виконання; не більше 0,5 Вт для термоперетворювачів вибухозахищеного виконання.

Порівнявши технічні характеристики датчиків, вибираємо датчик температури Метран™ 270 з УВС і первинним перетворювачем ТХА (К) для агресивних середовищ у загальнопромисловому виконанні для застосування в каналі вимірювання температури нітрозних газів у котлі-утилізаторі. Він має такі основні переваги перед іншими: на вхід можна приєднувати як термомпари, так і термометри опору, достатній для поставленої задачі діапазон температур, прийнятну точність.

#### **5.1.2.4 Датчик в каналі вимірювання температури пари на виході котла-утилізатора**

Є особливі вимоги середовища вимірювання – температура 440 °С, тиск 40 МПа.

Із розглянутих датчиків в каналі для вимірювання температури пари на виході котла-утилізатора вибираємо для застосування датчик температури Метран™ 270 з УВС і первинним перетворювачем ТО (Pt100) для неагресивних середовищ у загальнопромисловому виконанні.

#### **5.1.2.5 Датчик в каналі вимірювання температури деаерованої води на виході теплообмінника**

Відсутні особливі вимоги середовища вимірювання – температура 150 °С.

Із розглянутих датчиків в каналі для вимірювання температури деаерованої води на виході теплообмінника вибираємо для застосування термоперетворювач опору ТСМУ 014.54 з НСХ 100М для неагресивних середовищ у загальнопромисловому виконанні.

#### **5.1.2.6 Датчик в каналі вимірювання температури нітрозних газів на виході водяного холодильника**

Є особливі вимоги середовища вимірювання – температура 55 °С, агресивне середовище.

Із розглянутих датчиків в каналі для вимірювання температури нітрозних газів на виході водяного холодильника вибираємо для застосування термоперетворювач опору ТСМУ 014.54 з НСХ 100М для агресивних середовищ у загальнопромисловому виконанні.

#### **5.1.2.7 Датчик в каналі вимірювання температури нітрозних газів на виході нітрозного компресора**

Є особливі вимоги середовища вимірювання – температура 210 – 230 °С, агресивне середовище.

Із розглянутих датчиків в каналі для вимірювання температури нітрозних газів на виході водяного холодильника вибираємо для застосування датчик температури Метран™ 270 з УВС і первинним перетворювачем ТО (Pt100) для агресивних середовищ у загальнопромисловому виконанні.

#### **5.1.2.8 Датчик в каналі вимірювання температури нітрозних газів на виході холодильника 16**

Є особливі вимоги середовища вимірювання – температура 60 - 65 °С, агресивне середовище.

Із розглянутих датчиків в каналі для вимірювання температури нітрозних газів на виході холодильника 16 вибираємо для застосування термоперетворювач опору ТСМУ 014.54 з НСХ 100М для агресивних середовищ у загальнопромисловому виконанні.

#### **5.1.2.9 Датчик в каналі вимірювання температури парового конденсату на вході абсорбційної колони**

Відсутні особливі вимоги середовища вимірювання – температура < 40 °С.

Із розглянутих датчиків в каналі для вимірювання температури парового конденсату на вході абсорбційної колони вибираємо для застосування термоперетворювач опору ТСМУ 014.54 для агресивних середовищ у загальнопромисловому виконанні з НСХ 50М.

#### **5.1.2.10 Датчик в каналі вимірювання температури вихлопних газів на виході топкового пристрою**

Є особливі вимоги середовища вимірювання – температура 480 °С, агресивне середовище.

Із розглянутих датчиків в каналі для вимірювання температури пари на виході топкового пристрою вибираємо для застосування датчик температури Метран™ 270 з УВС і первинним перетворювачем ТО (Pt100) для агресивних середовищ у загальнопромисловому виконанні.

#### **5.1.2.11 Датчик в каналі вимірювання температури вихлопних газів на виході реактора каталітичного очищення**

Є особливі вимоги середовища вимірювання – температура 750 °С, агресивне середовище.

Із розглянутих датчиків в каналі для вимірювання температури пари на виході реактора каталітичного очищення вибираємо для застосування датчик температури Метран™ 270 з УВС

і первинним перетворювачем ТХА (К) для агресивних середовищ у загальнопромисловому виконанні.

### 5.1.3 Вибір датчиків концентрації аміаку

#### 5.1.3.1 Датчик в каналі вимірювання концентрація аміаку у повітрі виробництва азотної кислоти

Є особливі вимоги середовища вимірювання – температура  $-30 \dots +40$  °С, вологість 50-80 %, агресивне середовище.

ОВЕН ПКГ100-NH<sub>3</sub>. Промисловий датчик (перетворювач) концентрації аміаку в повітрі [23]. Зовнішній вигляд промислового датчика (перетворювача) концентрації аміаку ОВЕН ПКГ100-NH<sub>3</sub> поданий на рис. 5.16.



Рисунок 5.16 - Зовнішній вигляд промислового датчика (перетворювача) концентрації аміаку ОВЕН ПКГ100-NH<sub>3</sub>.

Призначений для безперервного перетворення концентрації газу в два уніфікованих вихідних сигнали 4 ... 20 мА і передачі вимірянних значень по інтерфейсу RS-485 (Modbus RTU).

Перетворювачі ОВЕН ПКГ100 застосовуються для вимірювання концентрації газу в повітрі робочої зони тваринницьких комплексів, при виготовленні та зберіганні добрив, а також інших виробничих приміщень. Датчики можна також використовувати в складі систем управління мікрокліматом.

Функціональні особливості

Вимірюється концентрація: від 0 до 1000 ppm.

Основна приведена похибка - не більше 15%.

Комбінований вихідний сигнал: два канали 4 ... 20 мА + RS-485 (Modbus RTU).

Ергономічний корпус, ступінь захисту IP65.

Можливість заміни зонда з сенсором.



Таблиця 5.3\_ Технічні характеристики промислового датчика (перетворювача) концентрації аміаку ОВЕН ПКГ100-NH<sub>3</sub>.

Найменування	Значення
<b>Живлення</b>	
Напруга живлення постійного струму	11...30 В (номінальне значення 24 В)
Споживана потужність, не більше	2 Вт
<b>Канал вимірювання</b>	
Реєструємий газ	Аміак (NH <sub>3</sub> )
Діапазон вимірювання	0...1000 ppm
Основна приведена похибка вимірювання, не більше	15 %
Час оновлення	1 с
Час реакції, не більше	60
<b>Аналоговые виходи</b>	
Кількість	2
Вихідний сигнал	4...20 мА
Струм сигналу аварії	3,8 або 21,5 мА*
Опір навантаження	0...1100 Ом
Час встановлення вихідного сигналу**, не більше	10 хв.
<b>Интерфейс RS-485</b>	
Протокол обміну даними	Modbus RTU
Швидкість обміну даними	1 200...57 600 бит/с
Довжина лінії зв'язку, не більше	1200 м
<b>Надійність</b>	
Ступінь захисту корпусу	IP65
Середній термін служби, років	5
* встановлюється програмно.	
** Час, протягом якого вихідний сигнал приладу входить в зону межі допустимої основної похибки.	

Стаціонарний газоаналітичний датчик OLC-60, OLCT-60 [24] призначається для автоматичного безперервного контролю концентрації кисню, горючих, токсичних і охолоджуючих газів. Зовнішній вигляд стаціонарного газоаналітичного датчика OLC-60, OLCT-60 поданий на рис. 5.17.



Рисунок 5.17 - Зовнішній вигляд стаціонарного газоаналітичного датчика OLC-60, OLCT-60.

Газоаналітичний датчик OLCT 60 складається з декількох модифікацій:

- модифікація з вибухозахищеним або іскробезпечним датчиком (для токсичних газів і кисню);

- модифікація з інтегрованим або віддаленим датчиком. У даній модифікації датчик можна встановити на дистанції не більше 15 метрів (стандартний варіант) і це дає можливість виявляти газ в недоступних ділянках або в зоні класу 0 (Іскробезпечний варіант).

Корпус газоаналітичного датчика OLCT 60 виготовлений з нержавіючої сталі 316 L і має високу корозійну стійкість. Спочатку відкалібрований датчик може бути легко витягнутий з корпусу датчика поворотом верхньої частини блоку. Даний модифікований датчик OLCT 60 може бути відкалібрований за межами вибухонебезпечної зони.

Таблиця 5.4 \_Технічні характеристики стаціонарного газоаналітичного датчика OLC-60, OLCT-60.

Характеристики	Значення		
	OLCT 60		OLC 60
Тип датчика	вибухозахищений	іскробезпечний	вибухозахищений
Принцип дії	каталітичний, електрохімічний	електрохімічний	каталітичний
Корпус	сплав AS7 606, фарбування епоксидною фарбою		
Матеріал ячейки	нержавіюча сталь 316L		
Попередньо відкалібрований осередок	так		ні

Продовження таблиці 5.4

Характеристики	Значення		
Датчик	OLCT 60		OLC 60
Напруга живлення постійного струму на контактах датчика, В	5 - 30 (каталітичний датчик)	10 - 26	2,7 (макс.)
	10 - 30 (електрохімічний датчик)		
Макс. Струм живлення, мА	140 (каталітичний датчик)	80	350
	80 (електрохімічний датчик)		
Вихідний сигнал, мА	4 - 20		міст Вітстона
Опір навантаж., Ом	250 (каталітичний датчик)	47 (макс.)	не застосовується
	в залежності від напруги живлення (електрохімічний датчик)		
Кабельна розводка	3 армованих дроти (каталітичний датчик)	2 армованих дроти	3 армованих дроти
	2 армованих дроти (електрохімічний датчик)		
Підключення	сальник і кабель від 2 до 12 мм (стандартний)		
Монтаж	2 отвори по 7 мм		
Ступінь захисту	IP 66		
Електромагнітна сумісність	EN 50270		
Робоча температура (для електроніки), °С	від -25 до +60		від -50 до +70, від -25 до +200 (для високотемпературної моделі)

Проаналізувавши характеристики наведених датчиків концентрації, виберемо для вимірювання в каналі контролю, управління і сигналізації концентрації (НКМП) аміаку стаціонарний газоаналітичний датчик OLC-60.

### **5.1.3.2 Датчик в каналі вимірювання концентрація метану у повітрі виробництва азотної кислоти (очищення нітрозних газів)**

Є особливі вимоги середовища вимірювання – температура  $-30 \dots +40$  °С, вологість 50-80 %, агресивне середовище.

Виберемо для вимірювання в каналі контролю, управління і сигналізації концентрації (НКМП) метану стаціонарний газоаналітичний датчик OLC-60 (термокондуктометричний детектор) подібний до датчика аміаку. .

## **5.2 Вибір регулюючих органів**

### **5.2.1 Канал контролю і управління температурою нітрозних газів у котлі-утилізаторі.**

Особливі вимоги середовища регулювання відсутні – тиск 0,42 МПа, температура навколишнього середовища  $-20 \dots +40$  °С, вологість 50-80 %, робоча температура:  $-10 \dots +40$  °С, неагресивне середовище (атмосферне повітря).

Управління температурою нітрозних газів у котлі-утилізаторі здійснюється за допомогою регулювання витрати повітря, яке підтримує каталітичне горіння і підвищує температуру нітрозних газів.

Для управління витратою повітря застосуємо на трубопроводі подачі повітря регулюючий клапан EV253G PN16 / 25 Valsteam ADCA[25]. Зовнішній вигляд регулюючого клапана EV253G PN16 / 25 Valsteam ADCA поданий на рис. 5.18.



Рисунок 5.18 - Зовнішній вигляд регулюючого клапана EV253G PN16 / 25 Valsteam ADCA

V253G - двосідельний, триходовий прямоходовий регулюючий клапан, що змішує або розділяє. Клапан спеціально спроектований для точного регулювання будь-яких технологічних процесів. Широке коло застосувань дозволяє використовувати для більшості технологічних середовищ, таких як холодна і перегріта вода, водяна пара, повітря та інші неагресивні рідини і гази.

Умовний тиск: PN 16/25 бар.

Приєднання: фланцеве по EN 1092-2.

Типорозміри: DN15-DN150.

Температура навколишнього середовища:  $-20^{\circ}\text{C} \dots +70^{\circ}\text{C}$ .

Робоча температура:  $-10^{\circ}\text{C} \dots +350^{\circ}\text{C}$ .

Управління: електропривод серії EL.

Регулююча характеристика: L – лінійна.

Опції:

- м'яке сідлове ущільнення;
  - показчик положення 4-20 мА;
  - позиціонер 4-20 мА;--
- ручний дублер.

### **5.2.2 Канал контролю і управління температурою нітрозних газів на виході водяного холодильника.**

Особливі вимоги середовища регулювання відсутні – температура навколишнього середовища  $-20 \dots +40$  °С, вологість 50-80 %, робоча температура:  $4 \dots 10$  °С, неагресивне середовище (вода).

Управління температурою нітрозних газів на виході водяного холодильника здійснюється за допомогою регулювання витрати води, що охолоджує нітрозні гази в холодильнику.

Для управління витратою води застосуємо на трубопроводі подачі повітря регулюючий клапан EV253G PN 16/25 Valsteam ADCA, оскільки його характеристики повністю відповідають вимогам.

### **5.2.3 Канал контролю і управління температурою нітрозних газів на виході холодильника 11.**

Особливі вимоги середовища регулювання відсутні – температура навколишнього середовища  $-20 \dots +40$  °С, вологість 50-80 %, робоча температура:  $4 \dots 10$  °С, неагресивне середовище (вода).

Управління температурою нітрозних газів на виході холодильника 11 здійснюється за допомогою регулювання витрати води, що охолоджує нітрозні гази в холодильнику 11.

Для управління витратою води застосуємо на трубопроводі подачі повітря регулюючий клапан EV253G PN 16/25 Valsteam ADCA, оскільки його характеристики повністю відповідають вимогам.

## **5.3 вибір контролера**

Відповідно до обраних датчиків і типів каналів управління зробимо вибір контролера. 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. Дані про вхідні сигнали наведені в табл. 5.5.

Таблиця 5.5\_ Вхідні сигнали управляючої системи

№ п.п.	Параметр управління	Сигнал	Величина
1	Тиск	Аналоговий	0...20 мА
2	Температура	Аналоговий	0...20 мА
3	Тиск	Аналоговий	4...20 мА
4	Температура	Аналоговий	0...20 мА
5	Температура	Аналоговий	0...20 мА
6	Температура	Аналоговий	4...20 мА
7	Тиск	Аналоговий	4...20 мА
8	Температура	Аналоговий	4...20 мА
9	Температура	Аналоговий	4...20 мА
10	Температура	Аналоговий	0...20 мА
11	Тиск	Аналоговий	0...20 мА
12	Температура	Аналоговий	0...20 мА
13	Температура	Аналоговий	4...20 мА
14	Температура	Аналоговий	4...20 мА
15	Температура	Аналоговий	4...20 мА
16	Температура	Аналоговий	4...20 мА
17	Тиск	Аналоговий	4...20 мА
18	Концентрація	Аналоговий	4...20 мА

Дані про вихідні сигнали наведені в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6\_ Вихідні сигнали управляючої системи

№ п.п.	Параметр впливу	Сигнал	Кількість
1	Витрата	Аналоговий	6
2	Вмикання/вимикання двигуна	Дискретний	3
3	Вмикання/вимикання клапана відсічки	Дискретний	3
4	Сигналізація	Дискретний	13

На підставі даних таблиць 5.5 і 5.6 можна скласти вимоги до контролера і вибрати його на функціональному рівні. Вимоги за кількістю вхідних і вихідних сигналів наведені в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7\_ Вхідні і вихідні сигнали управляючої системи

Сигнал	Вид	Кількість
Вхідний	Аналоговий	18
Вихідний	Аналоговий	6
Вихідний	Дискретний	19

В залежності від кількості аналогових і дискретних входів обраного контролера без пристроїв розширення є можливість обрати контролер інваріантно, забезпечивши можливість передачі інформації із вхідних пристроїв за допомогою аналогових або дискретних сигналів.

Із поширених для управління технологічним процесом можливе використання мікропроцесорних програмованих контролерів, як контролери SIMATIC фірми SIEMENS, контролери фірми Мікрол, Melsec фірми Mitsubishi Electric, програмовані контролери фірми Atmel, програмовані логічні контролери ОВЕН ПЛК, Ремиконт, Ломіконт.

Мікроконтролер ОВЕН ПЛК154-220.И [33] - моноблочний контролер з дискретними і аналоговими входами/виходами на борту для автоматизації малих систем. Контролер призначений для:

- вимірювання та автоматичного регулювання температури (при використанні в якості первинних перетворювачів термометрів опору), а також інших фізичних параметрів, значення яких первинними перетворювачами (датчиками) може бути перетворене в напругу постійного струму, уніфікований електричний сигнал постійного струму або активний опір;

- вимірювання аналогових сигналів струму або напруги; – вимірювання дискретних вхідних сигналів; – управління дискретними (релейними) виходами; – керування аналоговими виходами;

- прийому і передачі даних по інтерфейсах RS-485, RS-232, Ethernet;

- виконання користувацької програми з аналізу результатів вимірювання дискретних і аналогових входів,

- управління дискретними входами і виходами, передачі та прийому даних по інтерфейсах RS-485, RS-232, Ethernet.

Контролер може застосовуватися для створення систем автоматизованого управління технологічним обладнанням в енергетиці, на транспорті, в т. ч. залізничному, в різних галузях промисловості, житловокомунального та сільського господарства. Зовнішній вигляд контролера ОВЕН ПЛК 154 подано на рис. 5.19.

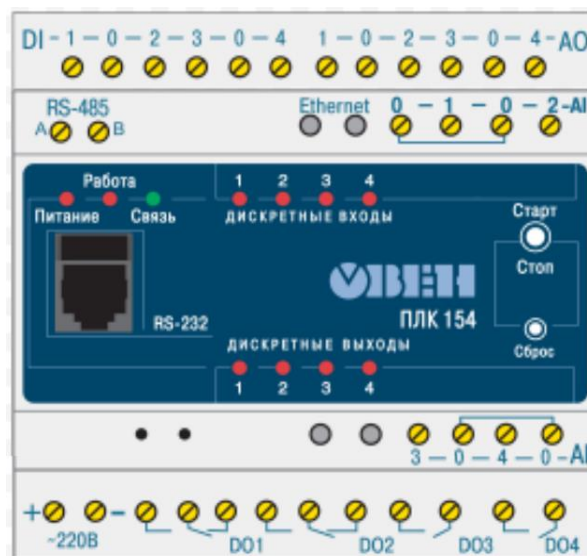


Рисунок 5.19 - Зовнішній вигляд контролера ОВЕН ПЛК 154

Технічні характеристики представлені в табл. 5.8.



Таблиця 5.8 - Технічні характеристики контролера ОВЕН ПЛК 154

загальні відомості	
Конструктивне виконання	Уніфікований корпус для кріплення на DIN-рейку
Ступінь захисту корпусу	IP20
Напруга живлення	□90...264 В 47...63 Гц (номін. □200 В) або =110...230 В
Споживана потужність	6 Вт
Індикація передньої панелі	Індикація харчування і стану дискретних входів / виходів
Ресурси	
Центральний процесор	32-х розрядний RISCпроцесор 200 МГц на базі ядра ARM9
Обсяг оперативної пам'яті	8 Мбайт
Обсяг енергозалежної пам'яті зберігання програм і архівів	3 Мбайт (Flashпам'ять, спеціалізована файлова система)
Лискретні входи	
Кількість дискретних входів	4
Гальванічна розв'язка	на 1,5 В, групова
Максимальна частота сигналу, що подається на дискретний вхід	10 кГц (в режимі енкодера – 1 кГц)
Аналогові входи	
Кількість аналогових входів	4
Межа основної зведеної похибки	0,5%
Типи підтримуваних датчиків і вхідних сигналів	Термоопори, термопари, струм (0) 4 ... 20 мА, 0 ... 5 мА, напруга 0 ... 1 В, 0 ... 10 В, опір 0 ... 5 кОм. Підключення датчиків струму і напруги здійснюється безпосередньо і не вимагає узгоджувальних резисторів
Розрядність ЦАП	16 біт
Мінімальний час опитування всіх аналогових входів	1,5 с

## Продовження таблиці 5.8

Дискретні виходи	
Кількість дискретних виходів	4 е/м реле
Гальванічна розв'язка	На 1,5 кВ, індивідуальна
Аналогові виходи	
Кількість аналогових виходів	4
Розрядність ЦАП	10 бит
Наявність вбудованого джерела живлення	Загальний, гальванічно ізольований (1,5 кВ)
інтерфейси зв'язку	
Інтерфейси	Ethernet 10/100 Mbps, RS485, RS232
Протоколи	ОВЕН, Modbus RTU, Modbus ASCII, DCON, Modbus TCP, GateWay (протокол CoDeSys) Можливе підключення зовнішніх пристроїв з нестандартним протоколом
програмування	
Середовище програмування	CoDeSys 2.3
Мови програмування	IL, ST, LD, SFC, FBD + додаткова мова CFC

Логіка роботи ПЛК154 визначається споживачем у процесі програмування контролера. Програмування здійснюється за допомогою системи програмування CODESYS Для збільшення кількості входів і виходів було використано аналогові, дискретні модулі вводу/виводу MB-110-8A працює в мережі RS-485 за протоколами ОВЕН, ModBus-RTU, ModBus-ASCII, DCON. Тип протоколу визначається приладом автоматично. Пристрій має такі групи гальванічно ізольованих ланцюгів: ланцюги живлення приладу; ланцюги інтерфейсу RS-485; ланцюги вимірювальних входів.

Пристрій не є майстром мережі, тому мережа RS-485 повинна мати майстер мережі, наприклад, ПК із встановленою на ньому SCADA-системою, контролер або регулятор. В якості майстра мережі можуть використовуватися контролери ОВЕН ПЛК і т. п. До пристрою надається безкоштовний OPC драйвер і бібліотека стандарту WIN DLL, які рекомендується використовувати при підключенні приладу до SCADA-систем і контролерів інших виробників. Конфігурування пристрою здійснюється на ПК через адаптер інтерфейсу RS-485/RS-232 або RS-485/USB (наприклад, ОВЕН АС3-М або АС4, відповідно) за допомогою програми «Конфігуратор М110», що входить в комплект поставки.

Для розширення функціональних можливостей введення аналогових і дискретних сигналів застосовуються модулі аналогового (рис. 5.20 і аналогового (рис. 5.21) виводу.

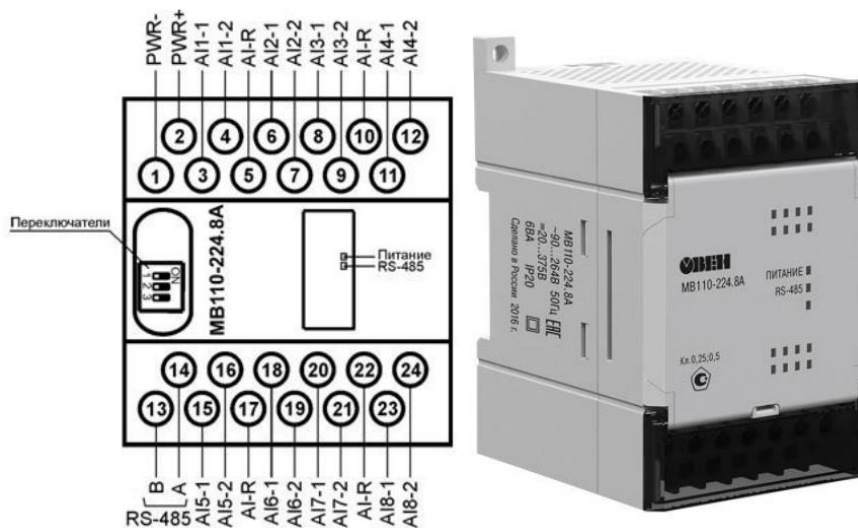


Рисунок 5.20 – Модуль аналогового вводу MB-110-8A

Технічні характеристики представлені в табл. 5.9.

Таблиця 5.9 – Технічні характеристики модуля аналогового вводу MB-110-8A[34]

Живлення	
Напруга живлення	90...264 В змін. струму частотою 47...63 Гц
Споживана потужність	не більше 6 ВА
Входи	
Кількість входів	8
Продовження таблиці 5.10	
Мінімальний час опитування одного входу	0,3 с
Мінімальний час опитування 8 входів	2 с
Напруга джерела живлення активних датчиків	24±3 В постійного струму
Максимальний струм навантаження джерела живлення активних датчиків	180 мА
Максимальна напруга перевантаження на вході	15 В
Інтерфейс	
Тип інтерфейсу	RS-485
Максимальна довжина лінії зв'язку	1200 м
Протоколи передачі даних	ОБЕН; Modbus ASCII; Modbus RTU; DCON
Процесор	
вбудований процесор	ATMega128
Таймер	сторожовий
гальванічна ізоляція	
Допустима напруга ізоляції між входами і лінією інтерфейсу	1500 В

Продовження таблиці 5.9

Корпус	
Тип корпусу	На DIN-рейку
Ступінь захисту корпусу	IP20
Вартість	795,60 грн.

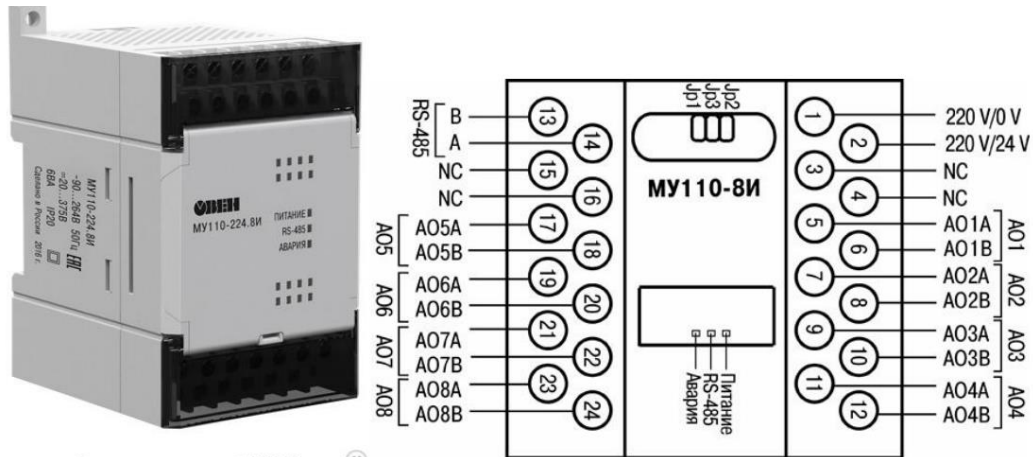


Рисунок 5.21 – Модуль аналогового виводу МУ-110-8И

Модуль МУ-110-8И [35] призначений для перетворення цифрових сигналів, переданих по мережі RS-485, в аналогові сигнали діапазоном від 4 до 20 мА для управління виконавчими механізмами або для передачі сигналів приладів реєстрації та самописцям. МУ110 працює в мережі RS-485 за протоколами ОВЕН, ModBus-RTU, ModBus-ASCII, DCON. МУ110 не є майстром мережі, тому мережа RS-485 повинна мати майстер мережі, наприклад, ПК і встановленої на ньому SCADA-системою, контролер або регулятор. До МУ110 надається безкоштовний OPC-драйвер і бібліотека стандарту WIN DLL, які рекомендується використовувати при підключенні приладу до SCADA-систем і контролерам інших виробників. Конфігурування МУ110 здійснюється з допомогою ПК через адаптер інтерфейсу RS-485/RS-232 або RS-485/USB (наприклад, ОВЕН АС3-М або АС4, відповідно) з допомогою програми «Конфігуратор М110», що входить в комплект поставки. Пристрій відповідає вимогам по стійкості до впливу перешкод у відповідності з ГОСТ Р 51522 для обладнання класу А.

Модуль дискретного виведення керуючий ОВЕН МУ110-220.16Р [36]

Технічні характеристики представлені в табл. 5.10.

Таблиця 5.10 – Технічні характеристики

Напруга живлення	220 В змінного струму
Споживана потужність	не більше 6 ВА
Кількість виходів	16
Тип інтерфейсу	RS-485
Максимальна швидкість обміну	115200 біт/с
Протоколи передачі даних	ОВЕН; Modbus ASCII; Modbus RTU; DCON
Тип корпусу	На DIN-рейку або стіну
Ступінь захисту корпусу	IP20

Модуль виведення керуючий ОВЕН МУ110-220.8Р [37]

Має технічні характеристики такі ж, як і у модуля МУ110-220.16Р, але кількість виходів менша (8 виходів).

Модуль дискретних входів і виходів (МДВВ) (рис. 5.22) для розподілених систем в мережі RS-485 (протоколи ОВЕН, Modbus, DCON) [38]. Модуль може використовуватися спільно з програмованими контролерами ОВЕН ПЛК або ін. працює в мережі RS-485 при наявності в ній «майстра», при цьому сам МДВВ не є «майстром» мережі.

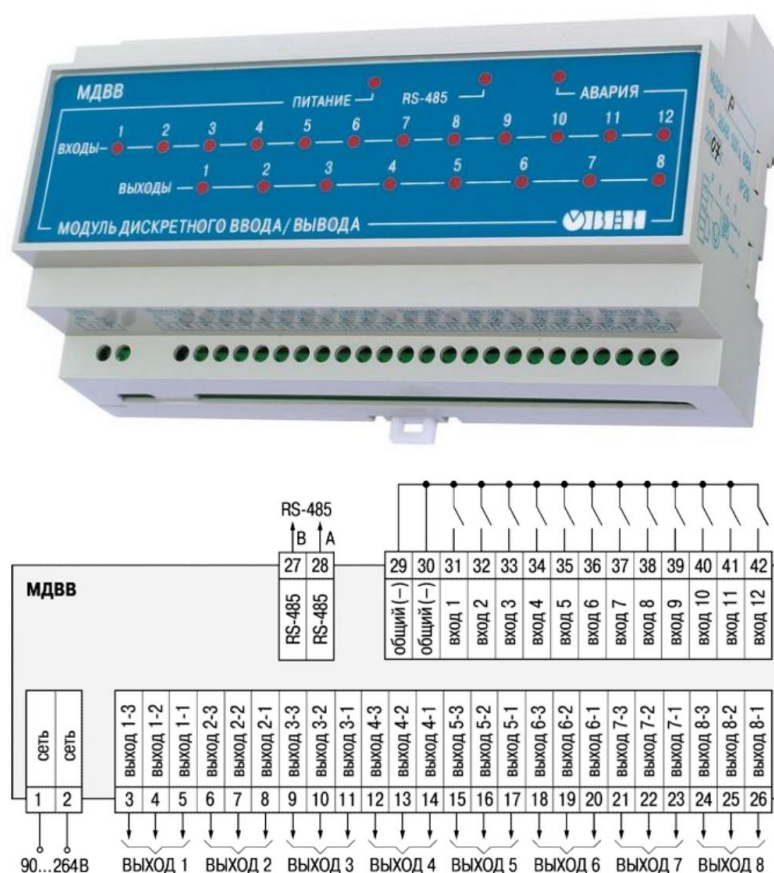


Рисунок 5.22 – Модуль МДВВ

Основні характеристики:

- 1) 12 дискретних входів для підключення контактних датчиків і транзисторних ключів p-p типу;
- 2) можливість використання будь-якого дискретного входу в режимі лічильника (максимальна частота сигналу – 1 кГц);
- 3) 8 вбудованих дискретних вихідних елементів в різних комбінаціях: – е/м реле 220 В;
- 4) оптотранзисторний ключ 400 мА 60 В;
- 5) оптосимістор 0,5 А 300 В;
- 6) для управління реле твердотілим;
- 7) можливість генерації ШІМ-сигналу будь-яким з виходів;
- 8) автоматичне переведення виконавчого механізму в аварійний режим роботи при порушенні мережевого обміну;
- 9) підтримка поширених протоколів Modbus ASCII, RTU), DCON;
- 10) конфігурування приладу на ПК;
- 11) реєстрація стану дискретних входів і вихідних елементів (шпаруватості ШІМ).

Програмне забезпечення системи автоматизації CoDeSys - середовище розробки для програмування ПЛК ОВЕН 154. Основою комплексу CoDeSys є середовище розробки прикладних програм для програмованих логічних контролерів (ПЛК). Воно розповсюджується безкоштовно і може бути без обмежень встановлена на декількох робочих місцях. У CoDeSys для програмування доступні всі п'ять обумовлених стандартом IEC 61131-3 (МЕК 61131-3) мов: IL (Instruction List) — асемблер-подібна мова ST (Structured Text) — Pascal-подібна мова LD (Ladder Diagram) — мова релейних схем FBD (Function Block Diagram) — мова функціональних блоків SFC (Sequential Function Chart) — мова діаграм станів На додаток до FBD підтриманий мова програмування CFC (Continuous Function Chart) з довільним розміщенням блоків і розстановкою порядку.

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

При підключенні до контролера середовище програмування переходить в режим налагодження. У ньому доступний моніторинг/зміна/фіксація значень змінних, точки зупину, контроль потоку виконання, гаряче оновлення коду, графічна трасування в реальному часі та інші налагоджувальні інструменти. CoDeSys версії V3 побудований на базі платформи автоматизації CoDeSys Automation Platform. Вона дозволяє виготовлювачам обладнання розвивати комплекс шляхом підключення власних плагінів. Розширена професійна версія середовища розробки носить

назву CoDeSys Professional Developer Edition. Вона включає підтримку UMLдіаграм класів і станів, підключення системи контролю версій Subversion, статичний аналізатор і профілювальник коду. Поширюється за ліцензією. Інструмент CoDeSys Application Composer дозволяє перейти від програмування практичних додатків до їх швидкого складання. Користувач складає власну базу об'єктів, відповідних певним приладів, механічних вузлів машини і т. п. Кожен об'єкт включає програмну реалізацію і візуальне представлення. Закінчену додаток складається з необхідних об'єктів, конфігурується і автоматично генерується програма мовами МЕК 61131-3.

Контролер мікропроцесорний МИК-52 (рис.5.25) [39] компактний програмований МК, призначений для автоматичного регулювання та логічного керування ТП в різних галузях (енергетичній, хімічній, машинобудівній, харчовій і т.п.). Застосовується для побудови керуючих та інформаційних систем автоматизації ТП різного рівня складності, а також для побудови окремих локальних і розподілених підсистем складних АСУТП.



Рисунок 5.23 – Микроконтролер МИК-52.

Таблиця 5.11 – Технічні характеристики микроконтролера МИК-52

Аналогові вхідні сигнали	
Кількість дискретних входів	3
Кількість аналогових входів	8
Типи вхідних уніфікованих сигналів	0...5 мА, 0(4)...20 мА, 0...10 В
Гальванічна ізоляція	Індивідуальна (по входу, живленню)
Період опитування одного каналу	не більше 0,1 с
Похибка вимірювання	0,2 %
Аналогові вихідні сигнали	
Кількість аналогових виходів	до 4
Тип вихідного аналогового сигналу	0-5 мА ( $R_n \leq 2\text{кОм}$ ), 0 (4) -20 мА ( $R_n \leq 500\text{ Ом}$ ), 0-10 ( $R_n > 2\text{кОм}$ )
Період вимірювання, не більше	0,1 сек

## Продовження таблиці 5.11

Дискретні вхідні сигнали	
Кількість дискретних входів	до 35
Сигнал логічного "0" - стан ВІДКЛЮЧЕНО	0-7 В
Сигнал логічної "1" - стан ВКЛЮЧЕНО	19-32 В
Вхідний струм (споживання по входу)	≤ 10 мА
інтерфейси зв'язку	
Інтерфейси	RS485
Протоколи	Modbus RTU
Швидкість передачі	2400...921600 біт/с
Дискретні вихідні сигнали	
Кількість дискретних виходів	до 37
Типи виходів: - транзистор ОК - механічне реле (перемикається контакт) - твердотільне реле	до 40В, 100мА до 220В, 8А до 60В, 1.0А АС/DC
Гальванічна розв'язка дискретних виходів	Групова
Послідовний інтерфейс RS-485	
Тип каналу	Асинхронний напівдуплексний (прийм і передача йдуть по одній парі дротів з поділом за часом)
кількість прийомопередавачів	32 прийомопередавача на одному сегменті
Максимальна довжина лінії в межах одного сегмента мережі	1200 метрів
Кількість активних передавачів	1 (тільки один передавач активний)
Максимальна кількість вузлів в мережі	250 з урахуванням магістральних підсилювачів
Вид кабелю	кручена пара, екранована кручена пара
Гальванічна розв'язка	інтерфейс гальванічно ізольований від інших входів-виходів і інших ланцюгів (напруга гальванічної розв'язки не менше 500 В)
Протокол зв'язку	Modbus режим RTU (Remote Terminal Unit)



Продовження таблиці 5.11

Загальні відомості	
Конструктивне виконання	DIN 43700
Ступінь захисту корпусу	IP30
Електричні дані	
Напруга живлення:	
• змінного струму	~220 (+22 –33)В, (50 ± 1) Гц
• постійного струму	24 В
Споживана потужність від мережі змінного струму, не більше:	до 13 ВА
Струм споживання по живленню 24В, не більше:	не більше 350 мА

Також є вбудований годинник реального часу з батареєю резервного живлення і існує можливість розширення кількості дискретних виходів шляхом підключення модулів розширення МР-51.

Порівнявши технічні характеристики промислових контролерів ПЛК154 і МІК-52, можна робити висновок, що ПЛК154 має більший обсяг пам'яті, кількість інтерфейсів і протоколів з якими працює ПЛК, а також наявність середовища для програмування і можливість налагодження. Тому будемо використовувати промисловий контролер ПЛК154.

## **6 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА**

### **6.1 Побудова математичної моделі системи управління**

#### **6.1.1 Ідентифікація об'єкта управління**

Ідентифікацією називається процедура побудови моделі об'єкта. Мета ідентифікації полягає в тому, щоб отримати математичний опис об'єкта. Математична модель об'єкта управління включає опис залежностей між основними змінними.

Розробка систем автоматичного управління технологічними процесами часто пов'язана з процедурою ідентифікації динамічних характеристик об'єкта управління і отримання адекватної моделі на основі даних спостереження або експерименту[40,41].

Як правило, застосовують три методи отримання математичних моделей: аналітичний, експериментальний або експериментально-аналітичний.

Аналітичний метод ґрунтується на аналізі та використанні фізичних законів, що визначають хід процесів, що протікають в об'єкті, дозволяє подати модель об'єкта у вигляді математичних рівнянь, які відображають зв'язки між його фізичними параметрами і змінними технологічного процесу.

Експериментальний метод базується на процесі отримання необхідних даних (кривій розгону) безпосередньо з об'єкта. Експериментальні методи поділяються на активні і пасивні. При активних методах на вхід об'єкта подають ступінчасті, імпульсні або гармонійні сигнали і спостерігають реакцію об'єкта. Сигнали можуть бути також випадковими від генератора шуму. В пасивному експерименті спеціально на вхід системи ніяких сигналів не подають. Вона сама виробляє випадкові впливи [41].

Експериментально-аналітичний метод характеризується тим, що спочатку модель отримують у вигляді рівнянь, а вже потім на конкретному об'єкті проводиться експеримент з метою уточнення її параметрів.

#### **6.1.2 Аналітичне визначення математичної моделі**

Як об'єкт управління розглянемо контактний апарат, в якому проходить каталітична реакція окислення аміаку киснем повітря, яке змішується з газоподібним аміаком.

Отримання моделі проведемо за [42]

Об'єкт є реактором безперервної дії. Це товстостінний резервуар, в якому проводиться каталітична хімічна реакція. Реакція екзотермічна. Кількість тепла, що виділяється в результаті цієї реакції в одиницю часу визначається за виразом:

$$Q = k \cdot q_p \quad (6.1)$$

де  $k$  - швидкість реакції,  $q_p$  - тепловий ефект від реакції.

Швидкість реакції визначається за рівнянням:

$$k = k_0 \cdot e^{-E/RT} \quad (6.2)$$

де  $k_0$  - передекспоненційний множник, що залежить від числа зіткнень реагуючих молекул;

$E$  - енергія активації (кДж/кмоль);

$R$  - газова постійна (кДж/кмоль·К);

$T$  - абсолютна температура (°С).

Рівняння теплового балансу для вмісту контактного апарата можна записати так:

$$M \cdot c \cdot \frac{d}{dt} T = q_{ст} + Q \quad (6.3)$$

де  $M$  - маса реакційної суміші;

$c$  - теплоємність реакційної суміші;

$q_{ст}$  - тепловий потік до стінки реактора, який розраховується за такою формулою:

$$q_{ст} = a_{ст} \cdot S \cdot (T_{ст} - T) \quad (6.4)$$

де  $a_{ст}$  - коефіцієнт тепловіддачі від реакційної суміші до стінки;

$S$  - площа тепловіддачі;

$T_{ст}$  - середня температура стінок реактора.

Для знаходження  $T_{ст}$  використаємо рівняння теплового балансу стінки:

$$M_{ст} \cdot c_{ст} \cdot \frac{d}{dt} T_{ст} = q_n - q_{ст} \quad (6.5)$$

де  $M_{ст}$  - маса стінки;

$c_{ст}$  - теплоємність стінки;

$q_{ст}$  - тепловий потік від стінки до водяної сорочки.

Залежність теплового потоку, переданого від стінки до сорочки, пов'язана з температурою води в сорочці так:

$$q_n = a_n \cdot S \cdot (T_n - T_{ст}) \quad (6.6)$$

Виконаємо підстановку (7.6) і (6.4) у (6.5) і виразимо  $T_{ст}$ :

$$T_{ст} = \frac{a_n \cdot S \cdot T_n + a_{ст} \cdot S \cdot T}{M_{ст} \cdot c_{ст} \cdot p + a_n \cdot S - a_{ст} \cdot S_{ст}} \quad (6.7)$$

Потім підставляємо (6.1) і (6.7) у (6.3) отримуємо вираз:

$$T \cdot (M \cdot c \cdot M_{ст} \cdot c_{ст} \cdot p^2 + (M \cdot c \cdot a_n \cdot S + a_{ст} \cdot S \cdot M \cdot c + a_{ст} \cdot S \cdot M_{ст} \cdot c_{ст}) \cdot p + a_{ст} \cdot S^2 \cdot a_{ст} - Q \cdot a_{ст} \cdot S - Q \cdot a_{ст} \cdot S) = a_{ст} \cdot S^2 \cdot a_n \cdot T_n$$

Враховуючи незначну нелінійність, і, прийнявши допущення про незначність відхилення вихідної координати в процесі нормальної роботи від деякого початкового значення  $T_0$ , проведемо лінеаризацію нелінійності, тобто заміну існуючої нелінійності  $k_0 \cdot e^{-E/R \cdot T}$  лінійною характеристикою методом розкладання в ряд Тейлора, біля робочої точки  $T_0$  з відкиданням членів розкладання другого і вище порядків.

Після такої заміни отримаємо вираз

$$f(T) \Big|_{T=T_0} = k_0 \cdot e^{-\frac{E}{RT}} \approx \frac{df(T)}{dT} \cdot T_0 = k_0 \cdot e^{-\frac{E}{RT_0}} \cdot \frac{E}{R \cdot T^2} \quad (6.8)$$

В результаті лінійне диференціальне рівняння математичного опису теплового балансу набуває вигляду

$$T \cdot (M \cdot c \cdot M_{ст} \cdot p^2 + (M \cdot c \cdot a_n \cdot S + a_{ст} \cdot S \cdot M \cdot c + a_{ст} \cdot S \cdot M_{ст} \cdot c_{ст} - k_0 \cdot q_p \cdot e^{-\frac{E}{RT_0}} \cdot \frac{E}{R \cdot T^2} \cdot M_{ст} \cdot c_{ст}) \cdot p + a_n \cdot S^2 \cdot a_{ст} - k_0 \cdot q_p \cdot e^{-\frac{E}{RT_0}} \cdot \frac{E}{R \cdot T^2} \cdot a_n \cdot S - k_0 \cdot q_p \cdot e^{-\frac{E}{RT_0}} \cdot \frac{E}{R \cdot T^2} - k_0 \cdot q_p \cdot e^{-\frac{E}{RT_0}} \cdot \frac{E}{R \cdot T^2} \cdot a_{ст} \cdot S) = a_{ст} \cdot S^2 \cdot T_n$$

Виконаємо формальну заміну змінних і підстановку:

$$a_0 = M \cdot c \cdot M_{ст} \cdot c_{ст};$$

$$a_1 = M \cdot c \cdot a_n \cdot S + a_{ст} \cdot S \cdot M \cdot c + a_{ст} \cdot S \cdot c_{ст} \cdot M_{ст} - k_0 \cdot q_p \cdot e^{-E/RT_0} \cdot \frac{E}{R \cdot T_0^2} \cdot M_{ст} \cdot c_{ст};$$

$$a_2 = a_n \cdot S^2 \cdot a_{ст} - k_0 \cdot q_p \cdot e^{-E/RT_0} \cdot \frac{E}{R \cdot T_0^2} \cdot a_n - k_0 \cdot q_p \cdot e^{-E/RT_0} \cdot \frac{E}{R \cdot T_0^2} \cdot a_{ст} \cdot S;$$

$$K_u = a_n \cdot S^2 \cdot a_{ст}.$$

І отримаємо вираз:

$$a_0 \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \cdot \frac{dy}{dt} + a_2 \cdot y = K_u \cdot u \quad (6.9)$$

Виходячи з виконання принципу суперпозиції для лінійних систем, на основі диференціального рівняння (6.9) отримуємо передатну функцію об'єкта управління

$$W(p) = \frac{K_u}{a_0 \cdot p^2 + a_1 \cdot p + a_2} \quad (6.10)$$

Параметри об'єкта:

- теплоємність реакційної суміші  $c = 18 \text{ Дж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$ ;
- теплоємність стінки реактора  $c_{ст} = 540 \text{ Дж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$ ;
- маса реакційної суміші  $M = 1989 \text{ кг}$ ;
- маса стінки реактора  $M_{ст} = 1000 \text{ кг}$ ;
- коефіцієнт тепловіддачі стінки реактора  $a_{ст} = 62,8 \text{ Дж/с} \cdot \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ;

- коефіцієнт тепловіддачі пару  $a_n=87,2 \text{ Дж/с} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{°C}$ ;
- площа тепловіддачі  $S = 9.42 \text{ м}^2$ ;
- предекспоненціальний множник  $k_0 = 0,7$ ;
- енергія активації  $E = 820 \text{ кДж/кмоль}$ ;
- газова постійна  $R = 8.31 \text{ кДж/кмоль} \cdot \text{К}$ ;
- тепловий ефект від реакції  $q_p = 112 \text{ Дж/кг}$ ;
- початкова умова по температурі  $T(0) = 20 \text{ °C}$ .

Коефіцієнти передатної функції з урахуванням зазначених даних:

$$a_0 = 1989 \cdot 18 \cdot 1000 \cdot 540 = 1.933 \cdot 10^{10}$$

$$a_1 = 1989 \cdot 18 \cdot 87.2 \cdot 9.42 + 62.8 \cdot 9.42 \cdot 1989 \cdot 18 + 62.8 \cdot 9.42 \cdot 540 \cdot 1000 - 0.7 \cdot 112 \cdot e^{-820/8.31 \cdot 17} \cdot \frac{820}{8.31 \cdot 289} \times \\ \times 1000 \cdot 540 = 3.7 \cdot 10^8$$

$$a_2 = 87.2 \cdot 88.74 \cdot 62.8 - 0.7 \cdot 112 \cdot e^{-820/8.31 \cdot 17} \cdot \frac{820}{8.31 \cdot 289} \cdot 87.2 \cdot 9.42 - 0.7 \cdot 112 \cdot e^{-820/8.31 \cdot 17} \cdot \frac{820}{8.31 \cdot 289} \times \\ \times 62.8 \cdot 9.42 = 4.858 \cdot 10^5$$

$$K_u = 62.8 \cdot 9.42 \cdot 87.2 = 4.859 \cdot 10^5$$

Передатна функція з урахуванням коефіцієнтів:

$$W(p) = \frac{4.86 \cdot 10^5}{1.93 \cdot 10^{10} \cdot p^2 + 3.7 \cdot 10^8 \cdot p + 4.86 \cdot 10^5} = \frac{1}{3.97 \cdot 10^4 \cdot p^2 + 761 \cdot p + 1} \quad (6.11)$$

Використаємо пакет MatLab для моделювання об'єкта управління. Модель зображена на рис. 6.1, результати моделювання на рис.6.2.

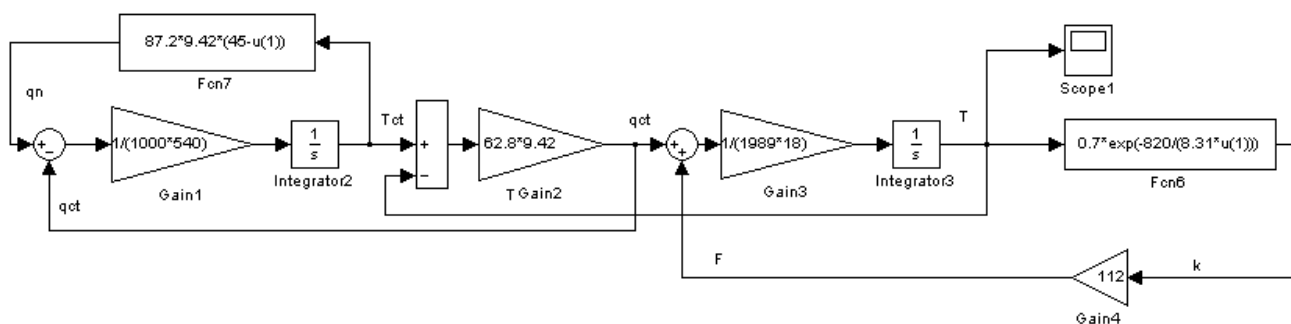


Рисунок 6.1 – Модель об'єкта управління.

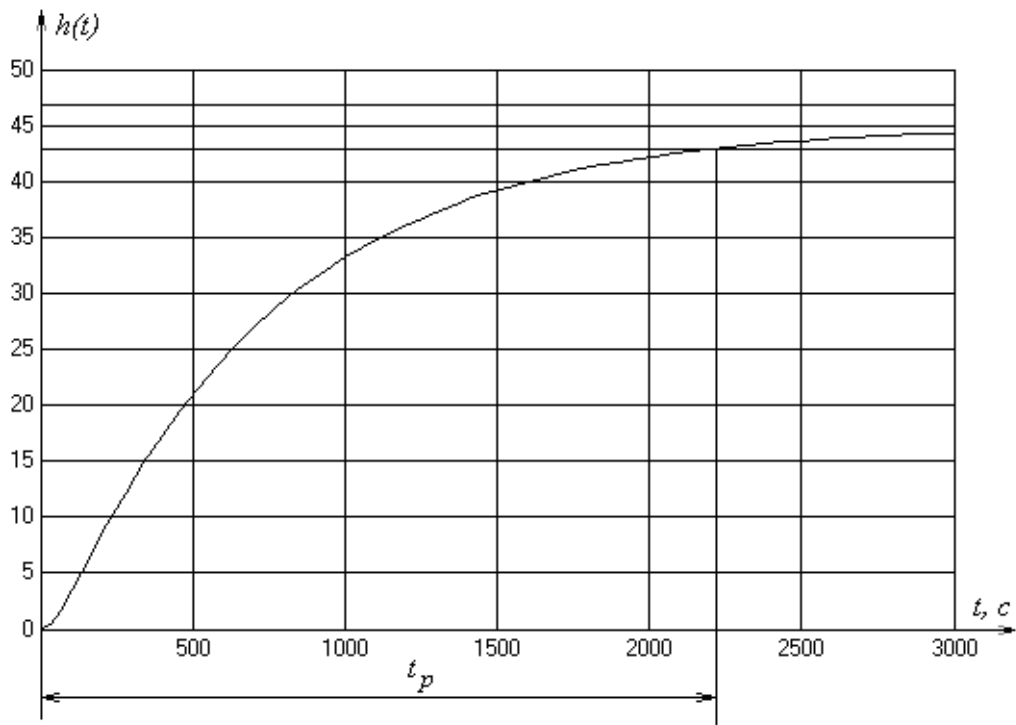


Рисунок 6.2 – Перехідна характеристика об'єкта управління.

Час перехідного процесу  $t_p = 2220 \text{ c} = 37 \text{ хв.}$

## 6.2 Перевірка адекватності математичної моделі

Для перевірки адекватності математичної моделі, отриманої аналітично, знімаємо криву розгону безпосередньо з об'єкта управління. Отримана характеристика представлена на рис. 6.3.

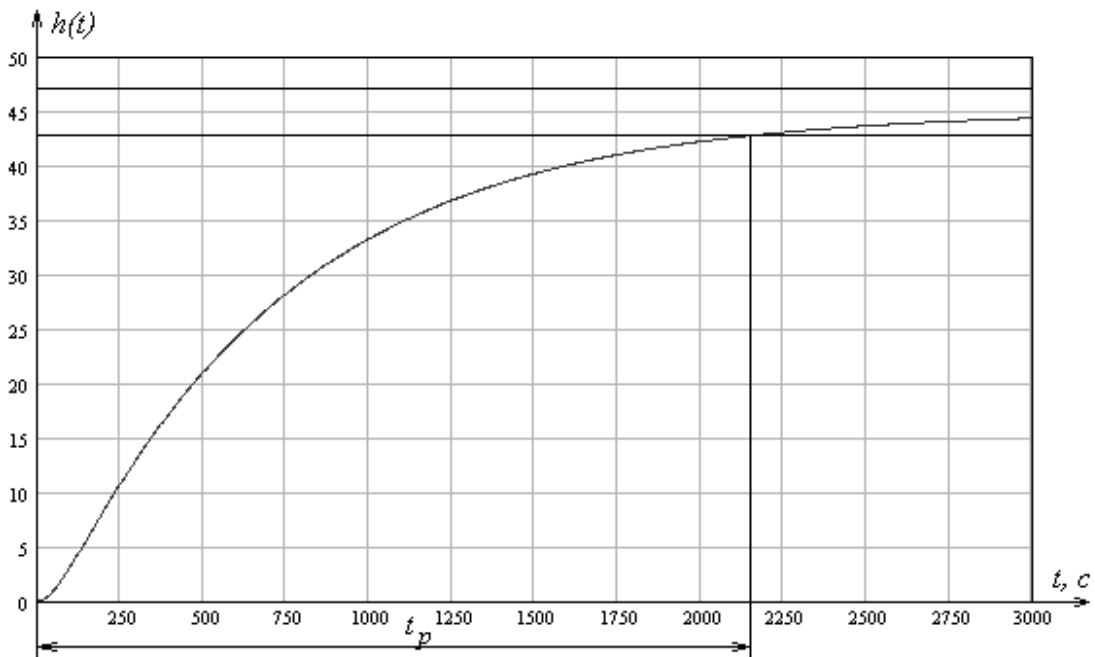


Рисунок 6.3 – Крива розгону об'єкта управління.

Час перехідного процесу  $t_p = 2230 \text{ c} = 37,2 \text{ хв.}$

За допомогою методу найменших квадратів [43], перевіримо подібність двох кривих розгону, отриманих аналітично і експериментально. Для цього розбиваємо весь інтервал часу на 10 рівних частин. Визначаємо значення температури у відповідні моменти часу. Ці дані помістимо в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 - Значення температури у відповідні моменти часу

$t$	0	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000
$h$ отримані аналітично	0	11	21	28	33	37	39	41,5	42,5	43	43,5	44	44,5
$h'$ отримані експериментально	0	10,9	21	27,9	33	36,9	39	41,5	42,4	43	43,5	44	44,5

Оцінимо точність відтворення аналітичних значень досліджуваної величини відповідними значеннями, отриманими експериментально. Для цього обчислимо коефіцієнт детермінації. Розрахунок базується на визначенні дисперсії, як показника, який оцінює ступінь розсіювання значень досліджуваної величини.

$$R^2 = \frac{S_{\tilde{h}}^2}{S_h^2} = \frac{\sum (\tilde{h}_i - \bar{\tilde{h}})^2}{\sum (h_i - \bar{h})^2} \quad (6.12)$$

де  $\bar{h}$  – середнє арифметичне

$$\begin{aligned} \bar{h} &= \frac{\sum h_i}{n} = \frac{10.9 + 21 + 27.9 + 33 + 36.9 + 39 + 41.5 + 42.4 + 43 + 43.5 + 44 + 44.5}{12} = \frac{427.6}{12} = 35.63 \\ \bar{\tilde{h}} &= \frac{\sum \tilde{h}_i}{n} = \frac{11 + 21 + 28 + 33 + 37 + 39 + 41.5 + 42.5 + 43 + 43.5 + 44 + 44.5}{12} = \frac{428}{12} = 35.67 \\ R^2 &= \frac{(11 - 35.67)^2 + (21 - 35.67)^2 + (28 - 35.67)^2 + (33 - 35.67)^2 + (37 - 35.67)^2 + (39 - 35.67)^2 + (10.9 - 35.63)^2 + (21 - 35.63)^2 + (27.9 - 35.63)^2 + (33 - 35.63)^2 + (36.9 - 35.63)^2 + (39 - 35.63)^2 + (41.5 - 35.67)^2 + (42.5 - 35.67)^2 + (43 - 35.67)^2 + (43.5 - 35.67)^2 + (44 - 35.67)^2 + (44.5 - 35.67)^2}{(41.5 - 35.63)^2 + (42.4 - 35.63)^2 + (43 - 35.63)^2 + (43.5 - 35.63)^2 + (44 - 35.63)^2 + (44.5 - 35.63)^2} = \\ &= \frac{1245.6668}{1250.5268} = 0.99 \end{aligned}$$

Якщо коефіцієнт детермінації  $R^2$  дорівнює 1, то значення, отримані експериментально і аналітично, повністю збігаються.

Якщо коефіцієнт детермінації  $R^2$  дорівнює 0, то немає кореляції між цими даними.

Якщо коефіцієнт детермінації близький до 1, то можна вважати, що модель адекватна реальному об'єкту.

В нашому випадку  $R^2 = 0.99$ , тож модель об'єкта управління адекватна реальному об'єкту.

## 6.3 Синтез системи управління

### 6.3.1 Розрахунок і вибір параметрів регулятора

#### 6.3.1.1 Розрахунок налаштування П-регулятора

Передатна функція П-регулятора  $W_n(p)$  має лінійний закон, визначається коефіцієнтом передачі (посилення) регулятора  $k_n$  :

$$W_n(p) = k_n \text{коливальність.}$$

Розрахунок регулятора проведемо методом визначення оптимальних параметрів за показником коливальності (метод В.Я. Ротача) [44].

Для цього визначимо межу області, в якій замкнута система управління буде мати запас стійкості не нижчий заданого показника коливальності  $M \leq M_s$ . При цьому вважається, що система автоматичного управління має необхідний запас стійкості, якщо її показник коливальності знаходиться в межах  $M = 1.3 \dots 2.3$ , що відповідає ступеню загасання  $\psi = 0,95 \dots 0,75$ . Вибираємо ступінь коливальності  $M=1,55$ .

Частотна передатна функція об'єкта управління  $W_{oy}(\omega)$  :

$$W_{oy}(\omega) = \frac{1}{3.97 \cdot 10^4 \cdot (j \cdot \omega)^2 + 761 \cdot j \cdot \omega + 1}$$

Частотна передатна функція П-регулятора  $W_p(\omega)$  така:

$$W_p(\omega) = k_p$$

Побудуємо амплітудофазочастотну характеристику розімкнутої системи  $W(\omega) = W_n(\omega) \cdot W_{o\sigma}(\omega)$ , у математичному пакеті Mathcad і визначимо такий коефіцієнт передачі  $k_p$ , при якому ця характеристика дотична до кола для заданого значення  $M$ . Результати побудови представлені на рис. 6.4.



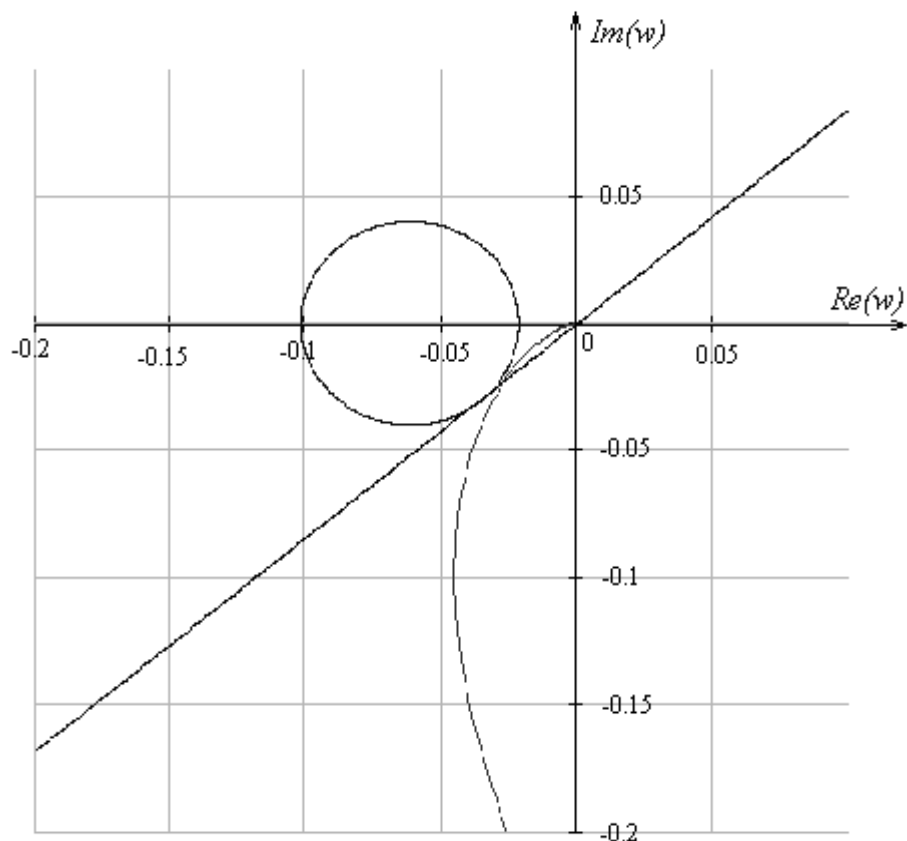


Рисунок 6.4 – АФЧХ розімкнутої системи.

Величину коефіцієнта передачі П-регулятора визначаємо з виразу

$$k_p = \frac{M}{M^2 - 1} \cdot \frac{1}{r_{z.o.}} \quad (6.13)$$

де  $r_{z.o.}$  – радіус кола забороненої області.

$$k_p = 27.585$$

Графік перехідної характеристики  $h(t)$  замкнутої системи при оптимальних настройках регулятора показаний на рис. 6.5.

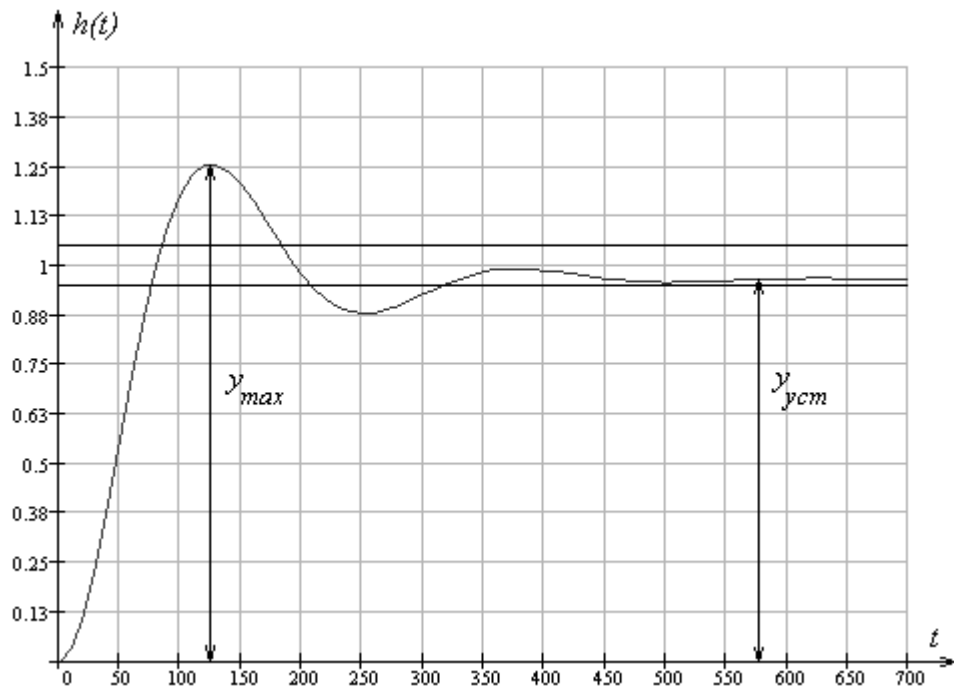


Рисунок 6.5 – Перехідна характеристика замкнутої системи при  $k_n = 27.585$

Прямі показники якості, відповідно до отриманого графіка, такі:

- перерегулювання  $\sigma = \frac{y_{\max} - y_{уст}}{y_{уст}} \cdot 100\% = \frac{1.25 - 1}{1} \cdot 100\% = 25\%$ ; (6.14)
- час перехідного процесу  $t_p = 318$  с;
- статична похибка 3% .

### 6.3.1.2 Розрахунок налаштувань ПІ-регулятора

Передатна функція ПІ-регулятора  $W_p(p)$  має вигляд:

$$W_p(p) = k_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i p}\right) \quad (6.15)$$

де  $k_p$  - коефіцієнт передачі (посилення) регулятора;

$T_i$  - час іздрому.

Частотна передатна функція ПІ -регулятора  $W_p(\omega)$  визначається виразом

$$W_p(\omega) = k_p + \frac{1}{T_u \cdot j \cdot \omega} \quad (6.16)$$

Побудуємо у пакеті Mathcad сімейство АФЧХ розімкнутої системи  $W(\omega) = W_p(\omega) \cdot W_{oy}(\omega)$  для різних значень часу іздрому  $T_i$  і визначимо коефіцієнти передачі  $k_p$ , при яких ці характеристики будуть дотичними до кола для заданого значення М. Результати побудови представлені на рис. 6.6.

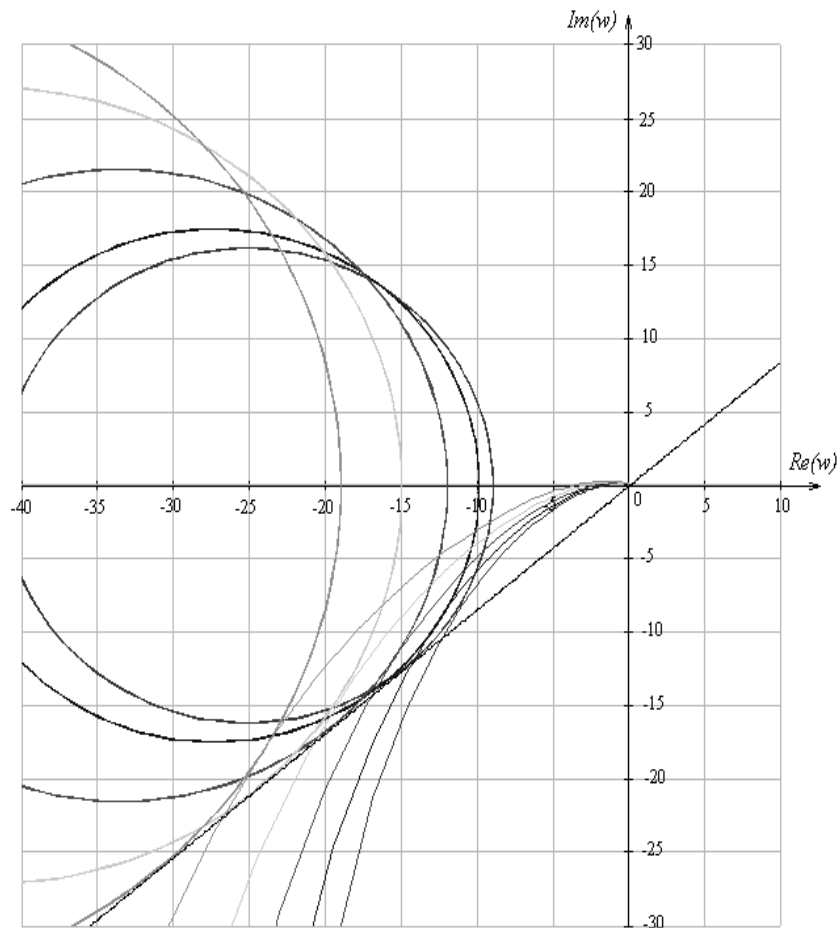


Рисунок 6.6 – Сімейство АФЧХ розімкнутої системи

Величини коефіцієнта посилення ПІ -регулятора визначаємо за формулою (6.13) для кожного значення  $T_i$ .

Отримані пари налаштувань зводимо в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – коефіцієнти настройки ПІ -регулятора

$T_i$	10	13	16	19	22	25	28	31	34	37	40	43
$k_p$	3,26	3,42	3,58	3,61	3,74	3,97	4,53	4,83	5,12	5,71	6,24	7,39

За результатами будемо графік залежності  $k_p(T_i)$ , поданий на рис. 6.7.

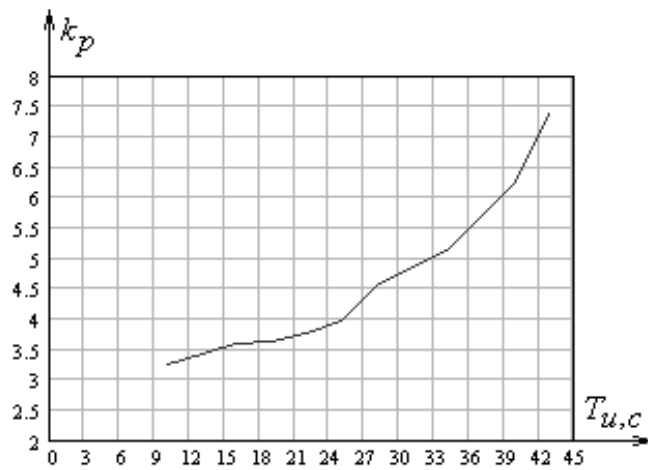


Рисунок 6.7 – Межа області заданого М

Для визначення того, яка пара налаштувань дає найкращі показники якості, будемо графіки перехідних характеристик замкнутої системи для декількох значень  $T_u$  ( $T_u = 25 \text{ c}, T_u = 31 \text{ c}, T_u = 37 \text{ c}, T_u = 43 \text{ c}$ ). Результати подані на рис. 6.8.

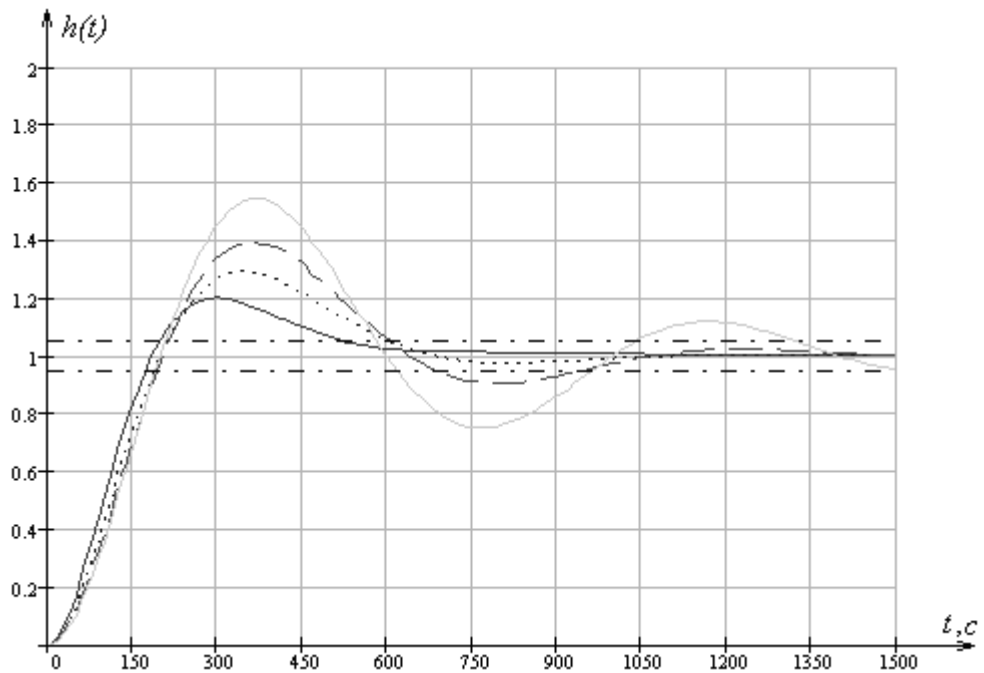


Рисунок 6.8 – Перехідні характеристики САУ для заданого М при різних значеннях часу ізодрому

Найкращі показники якості забезпечує пара налаштувань регулятора  $k_p = 7,39, T_u = 43 \text{ c}$ . Графік перехідної характеристики замкнутої системи при оптимальних налаштуваннях регулятора поданий на рис. 6.9.

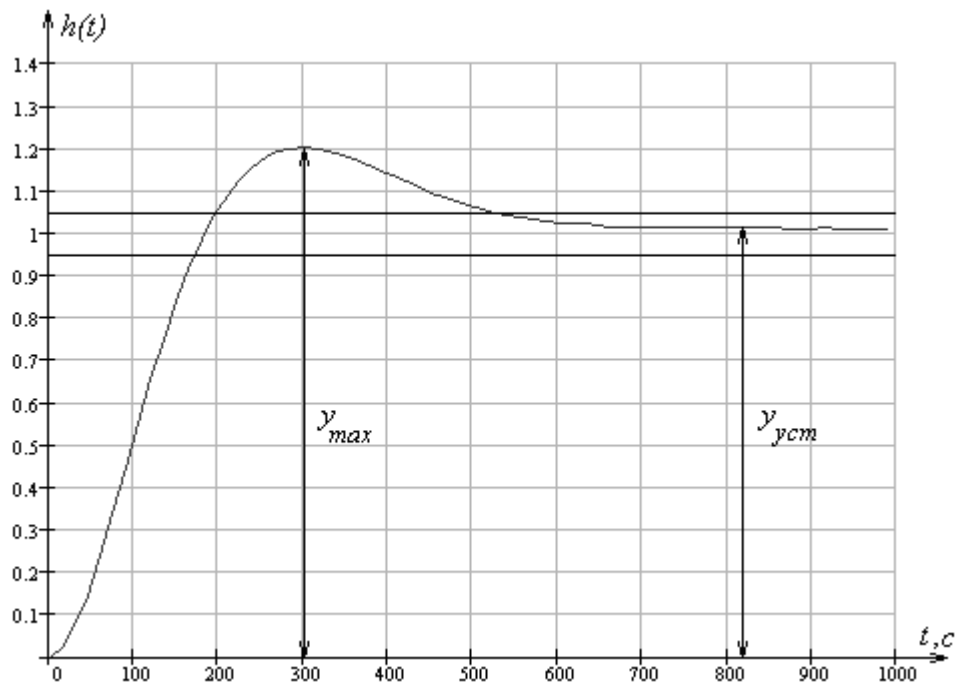


Рисунок 6.9 – Перехідна характеристика замкнутої системи при  $k_p = 7,39 T_u = 43 c$

Прямі показники якості, відповідно до отриманого графіку, такі:

- перерегулювання  $\sigma = \frac{y_{\max} - y_{уст}}{y_{уст}} \cdot 100\% = \frac{1,2 - 1}{1} \cdot 100\% = 20\%$  ;
- Час перехідного процесу  $t_p = 540 c$  .

### 6.3.1.3 Розрахунок налаштувань ПД-регулятора

Передатна функція ПД-регулятора  $W_{нид}(p)$  визначається виразом

$$W_{нид}(p) = k \cdot \left( 1 + \frac{1}{T_u \cdot p} + T_d \cdot p \right) \quad (6.17)$$

де  $k$  - коефіцієнт передачі (посилення) регулятора;

$T_u$  - час ізодрому;

$T_d$  - постійна часу диференціювання.

Частотна передатна функція ПД-регулятора  $W_{нид}(\omega)$  :

$$W_{нид}(\omega) = k + \frac{1}{T_u \cdot j \cdot \omega} + \alpha \cdot T_u \cdot j \cdot \omega \quad (6.18)$$

де  $\alpha = \frac{T_d}{T_u}$

Для підвищення стійкості ПД-регулятора до завад співвідношення між величиною часу ізодрому і часу диференціювання вибираємо з умови

$$\frac{T_d}{T_u} < 0.25 \quad (6.19)$$

Прийmemo співвідношення таким, що  $\alpha = 0.2$ .

Побудуємо сімейство АФЧХ розімкнутої системи  $W(\omega) = W_{nuo}(\omega) \cdot W_{ob}(\omega)$  для різних значень часу іздрому  $T_u$ , в математичному пакеті Mathcad.

Знаходимо такі коефіцієнти передачі  $k_p$ , при яких ці характеристики будуть дотичні до кола для заданого значення  $M$ . Результати побудови подані на рис. 6.10.

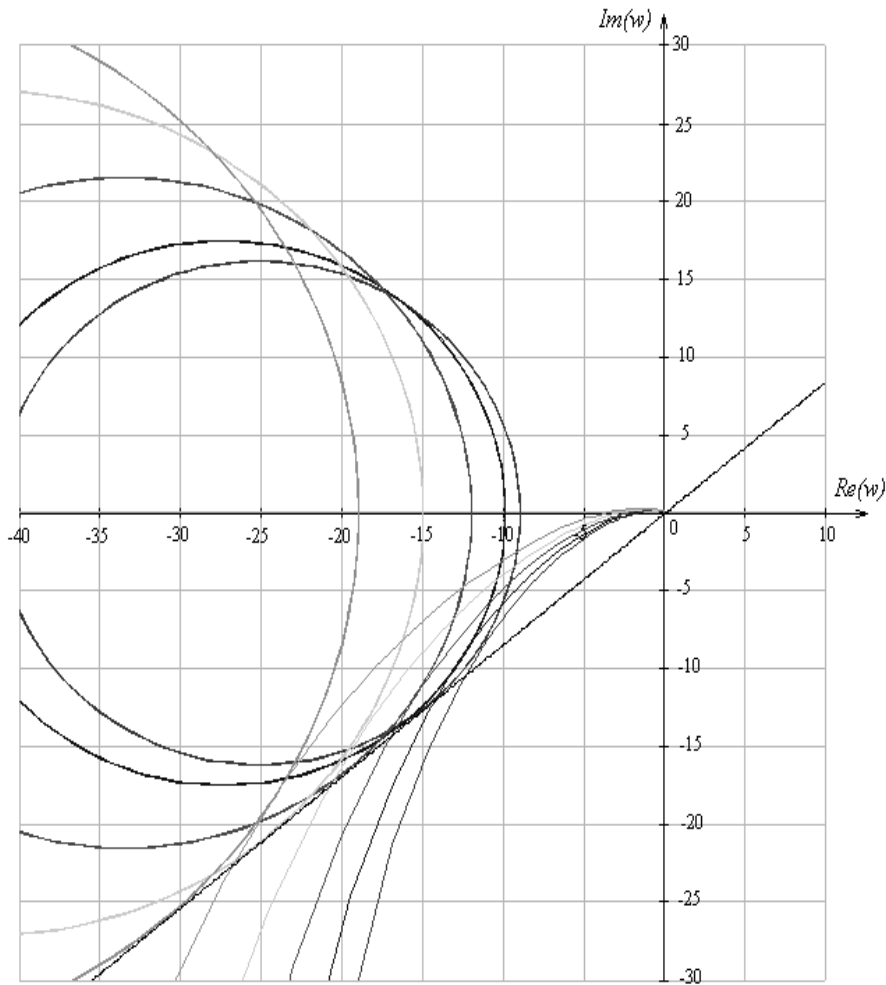


Рисунок 6.10 – Сімейство АФЧХ розімкнутої системи

Величину коефіцієнта передачі ПІД-регулятора визначимо за виразом (6.16) для кожного значення  $T_u$ .

Отримані налаштування зводимо в табл. 6.3:

Таблиця 6.3 – коефіцієнти налаштування ПІД-регулятора

$T_u$	10	13	16	19	22	25	28	31	34	37	40	43
$T_d$	2	2,6	3,2	3,8	4,4	5	5,6	6,2	6,8	7,4	8	8,6
$k_p$	3,29	3,46	3,61	3,63	3,72	3,95	4,54	4,83	5,13	5,69	6,22	7,41

За результатами побудуємо графік залежності  $k_p(T_u)$ , поданий на рис. 6.11.

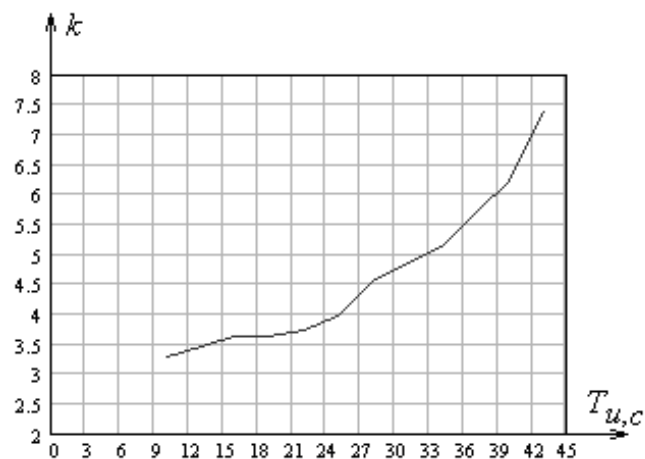


Рисунок 6.11 – Межа області заданого М.

Для визначення того, які налаштування дають найкращі показники якості, побудуємо графіки перехідних характеристик замкнутої системи для декількох значень  $T_u$  ( $T_u = 25 c, T_u = 31 c, T_u = 37 c, T_u = 43 c$ ). Результат показані на рис. 6.12.

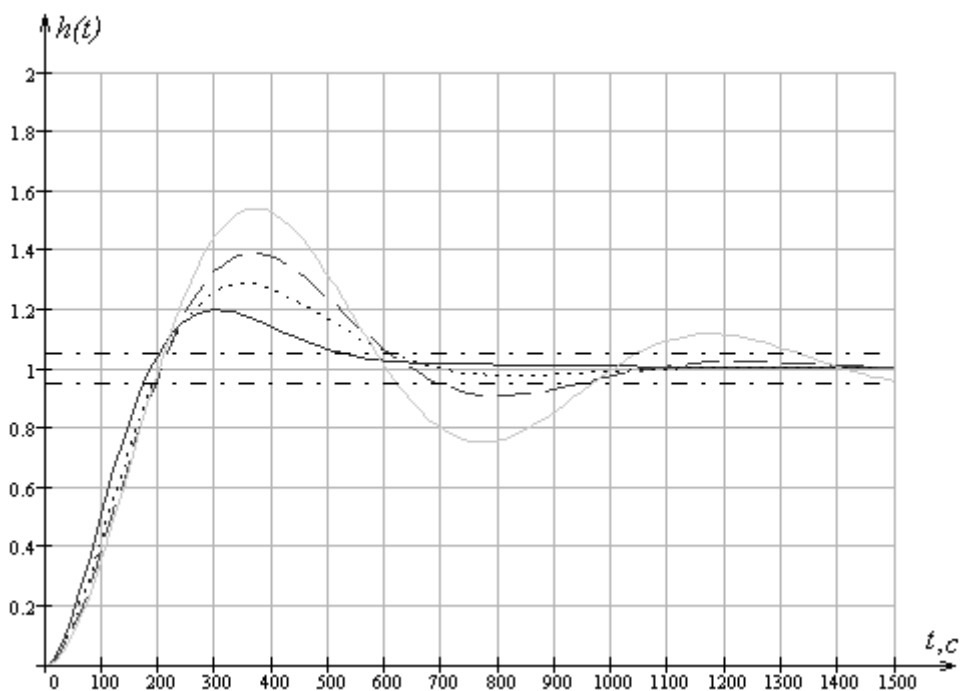


Рисунок 6.12 – Перехідні характеристики САУ для заданого М при різних значеннях часу ізодрому

Найкращі показники якості забезпечує пара налаштувань регулятора  $k_p = 7,41, T_u = 43 c$ .

Графік перехідної характеристики замкнутої системи при оптимальних настройках регулятора поданий на рис. 6.13.

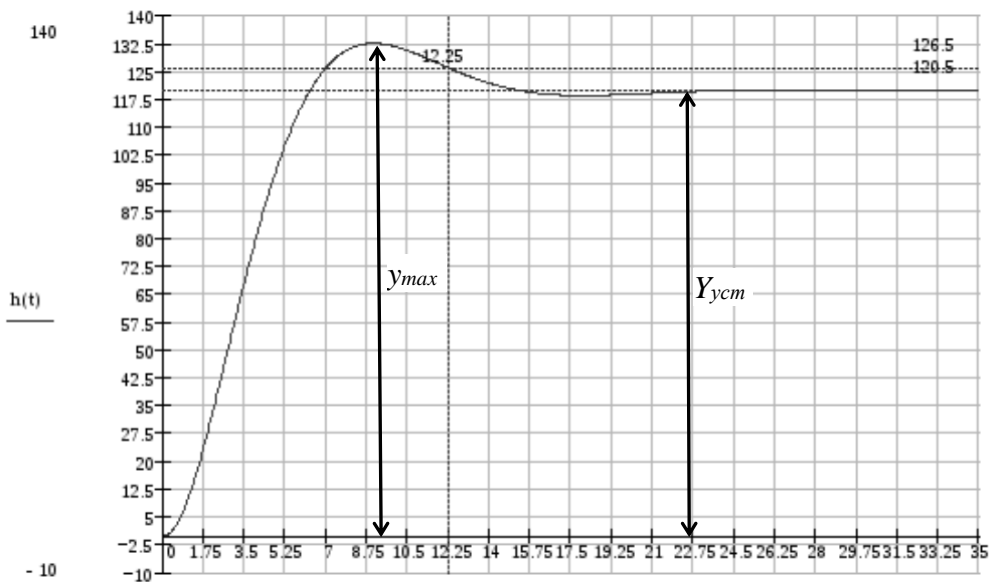


Рисунок 6.13 – Перехідна характеристика замкнутої системи при  $k_p = 7,41 T_u = 43 c$

Прямі показники якості, відповідно до отриманого графіку, такі:

– перерегулювання 
$$\sigma = \frac{y_{\max} - y_{уст}}{y_{уст}} \cdot 100 \% = \frac{132,5 - 120,5}{120,5} = 11\%$$
 ;

час перехідного процесу  $t_p = 12,25 c$ .

Порівнюючи отримані результати, бачимо, що П-регулятор дає статичну помилку, а також перерегулювання 25%, що не задовольняє заданим умовам. ПІ-регулятор і ПІД-регулятор дають результати, які відрізняються незначно. Оскільки ПІД-регулятор більш чутливий до перешкод і складніший в реалізації, то для управління каталітичною реакцією окислення аміаку киснем повітря, яке змішується з газоподібним аміаком, в контактному апараті будемо використовувати ПІ-регулятор.



## **7 АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ**

Перед запуском процесу проводиться попередня перевірка готовності до роботи. Перевіряється працездатність і справність двигунів і виконавчих механізмів. Проводиться опитування всіх датчиків і установка параметрів регулювання. Потім система переходить в режим очікування команди оператора. Після підтвердження оператором готовності система починає цикл виконання технологічного процесу виробництва азотної кислоти за схемою АК-72.

Алгоритм управління технологічним процесом виробництва азотної кислоти за схемою АК-72 дає уявлення про послідовності реалізованих дій. Технологічний процес виробництва азотної кислоти за схемою АК-72 є безперервним від початку його запуску до вимикання оператором в разі відсутності технологічних збоїв і аварійних ситуацій.

### **7.1 Алгоритм роботи основної програми**

Система працює за алгоритмом, представленим на рис. 7.1. Він включає в себе декілька підпрограм: запуск, синтез азотної кислоти, очищення нітрозних газів, останов. Під час включення система спочатку робить перевірку всіх пристроїв (рис. 7.2). Якщо виникає якась несправність, система оповіщає про цю несправність і буде чекати на подальші дії оператора. Якщо проведена перевірка була вдалою система проводить ініціалізацію пристроїв (рис. 7.3) і переходить в режим очікування команди старт. Щойно команда старт поступила, вмикається програма запуску. Як тільки система виконає повний пуск процесу, то зробить перехід на основну програму, відповідно до якої і буде продовжувати роботу.

Спочатку виконується підпрограма керування синтезом азотної кислоти (рис. 7.4), а далі очищення нітрозних газів (рис. 7.5). Кожен процес є окремою підпрограмою.

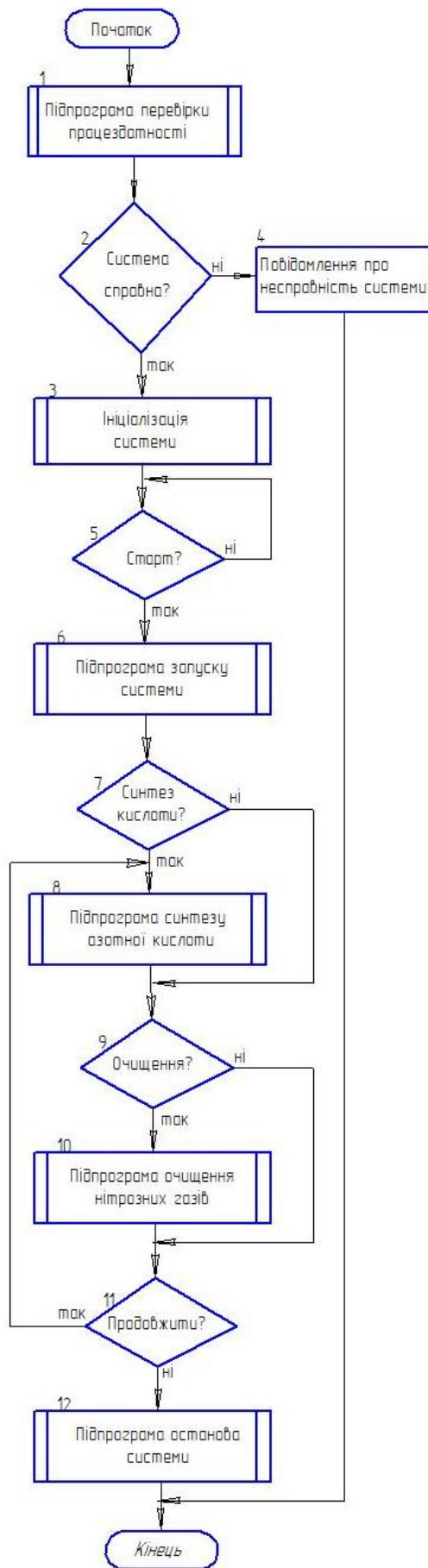


Рисунок 7.1- Алгоритм основної програми

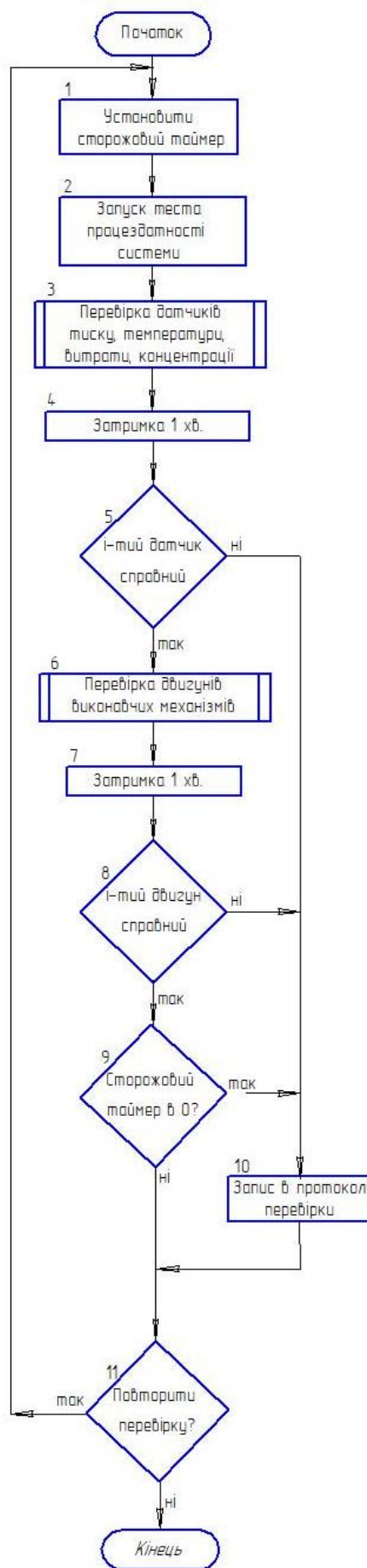


Рисунок 7.2- Алгоритм перевірки працездатності системи



Рисунок 7.3- Алгоритм ініціалізації системи

## 7.2 Алгоритм роботи підпрограми синтезу азотної кислоти

. Спочатку проводиться контроль тиску і температури повітря після компресора, відкриття клапану подачі рідкого аміаку (паро-рідкої суміші) через ресивер 1 у випарник, де проводиться контроль температури і тиску випаровування аміаку. Далі контролюється температура аміачно-повітряної суміші у підігрівачі аміаку. Відкриваються клапани подачі аміачно-повітряної суміші і повітря у контактний апарат. Далі контролюється температура нітрозних газів і запускається підпрограма регулювання температури нітрозних газів в разі невідповідності нормі. Також контролюється температура і тиск пари, яка є продуктом нагріву нітрозними газами в котлі-утилізаторі, на виході котла-утилізатора. Потім контролюється температура нітрозних газів на виході водяного холодильника і запускається підпрограма регулювання температури нітрозних газів в разі невідповідності нормі.

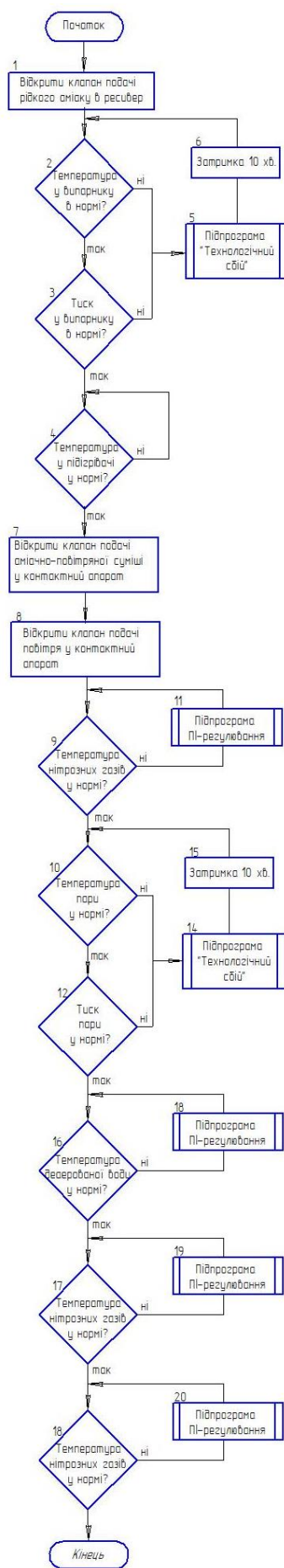


Рисунок 7.4- Алгоритм підпрограми синтезу азотної кислоти

### 7.3 Алгоритм роботи підпрограми очищення нітрозних газів

Далі система переходить до виконання підпрограми очищення нітрозних газів. Контролюються тиск і температура нітрозних газів на виході нітрозного компресора. В разі, якщо параметр в межах допуску, то технологічний процес проходить далі. Інакше, система переходить на виконання підпрограми «Технологічний збій» (рис. (7.6)).

Контролюються: температура вихлопних газів на виході топкового пристрою, температура вихлопних газів на виході реактора каталітичного очищення. В разі, якщо перераховані параметри в межах допуску, то технологічний процес проходить без змін, інакше, система переходить на виконання підпрограми ПІ-регулювання відповідного параметра (рис. (7.7)).

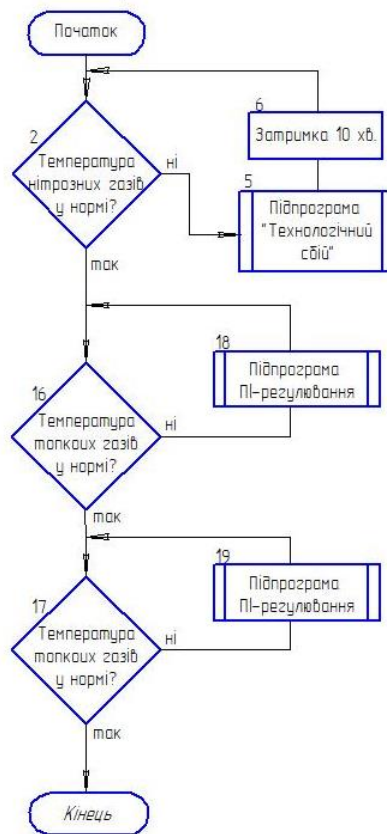


Рисунок 7.5- Алгоритм підпрограми очищення нітрозних газів.

Контроль параметрів здійснюється в підпрограмі опитування датчиків (рис. (7.8)).

Підпрограма опитування датчиків заключається в знятті показань і запису даних в масив даних. Підпрограма обробки даних полягає в порівнянні масиву отриманих даних з масивом граничних значень регулюємих параметрів (рис. 7.9). У разі виходу  $i$ -того параметра за встановлені межі система видає керуючий вплив, що полягає у вмиканні відповідного виконавчого механізму або вмикає сигналізацію технологічного збою.

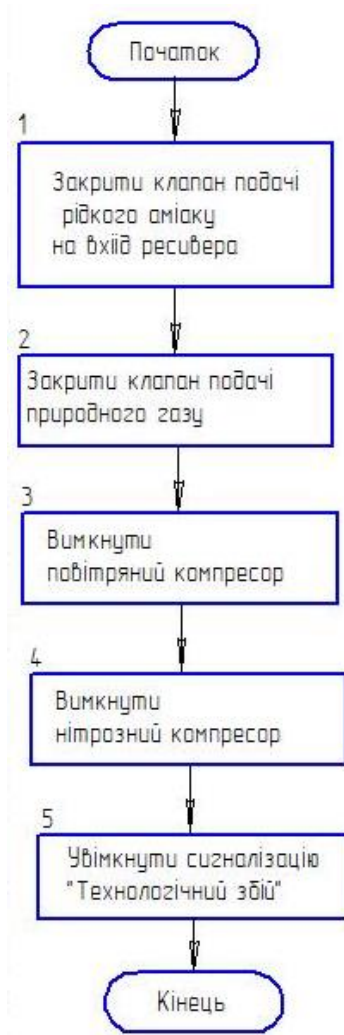


Рисунок 7.6- Алгоритм підпрограми «Технологічний збій».

Проводиться опитування датчиків тиску і температури. Якщо тиск і температура випаровування аміаку, тиск повітря на виході повітряного компресора, температура аміаку у підігрівачі в нормі, то відкривається клапан подачі аміачно-повітряної суміші у контактний апарат на окислення аміаку. Інакше, система переходить на виконання підпрограми «Технологічний збій», що заключається закритті клапана подачі рідкого аміаку у ресивер і вмиканні сигналізації «Технологічний збій». Після приведення параметрів тиску і температури до норми описані дії повторюються знову. В разі, якщо всі перераховані параметри в межах допуску, відкривається клапан подачі аміачно-повітряної суміші у контактний апарат на окислення аміаку.

Далі послідовно контролюються: температура нітрозних газів на виході контактного апарату, температура і тиск пари на виході котла-утилізатора, температура деаерованої води на виході теплообмінника, температура нітрозних газів на виході водяного холодильника, температура і тиск нітрозних газів на виході нітрозного компресора, температура нітрозних газів на виході холодильника 11, температура парового конденсату на вході абсорбційної

колони, концентрація аміаку у повітрі робочої зони. В разі, якщо всі перераховані параметри в межах допуску, то технологічний процес проходить до кінця етапу отримання 60%-ної азотної кислоти і опитування датчика витрат для контролю виготовленої азотної кислоти на склад.

У разі виникнення аварійної ситуації система закриває клапан подачі рідкого аміаку у ресивер, клапани подачі природного газу, вмикає аварійну вентиляцію, вимикає повітряний компресор і вмикає аварійну сигналізацію.



Рисунок 7.7- Алгоритм підпрограми «Аварійна ситуація».

Інакше, система переходить на виконання підпрограми ПІ-регулювання відповідного параметра, якщо це передбачено регламентом або підпрограми «Технологічний збій», що заключається закриванні клапана подачі рідкого аміаку у ресивер і вмиканні сигналізації «Технологічний збій, або виконання підпрограми «Аварійна ситуація».



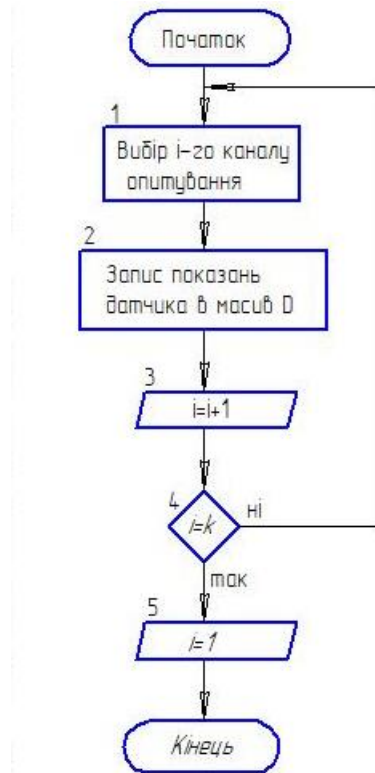


Рисунок 7.8- Алгоритм підпрограми опитування датчиків.

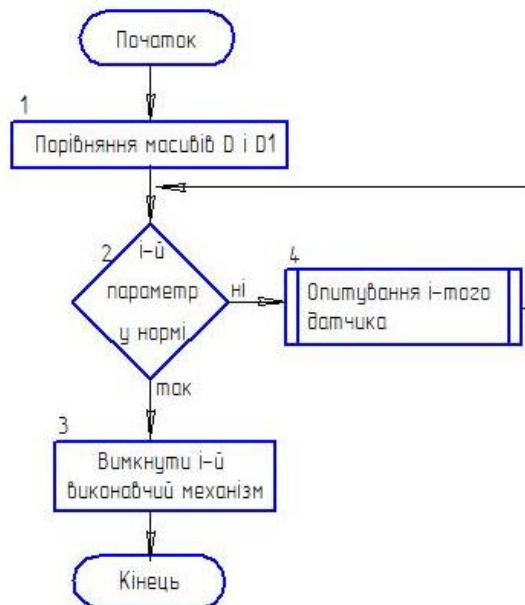


Рисунок 7.9- Алгоритм підпрограми обробки даних.

Підпрограма ПІ-регулювання (рис. 7.10). На початку підпрограми відбувається обнулення початкових значень інтеграла і помилок. Потім зчитується значення керованого параметра і обчислюється відхилення від норми (неузгодженість). Потім обчислюються пропорційна і інтегральна складові керуючого впливу. Потім видається керуючий вплив. Для подальшого процесу необхідно перевизначення змінних і узгодження швидкодії.

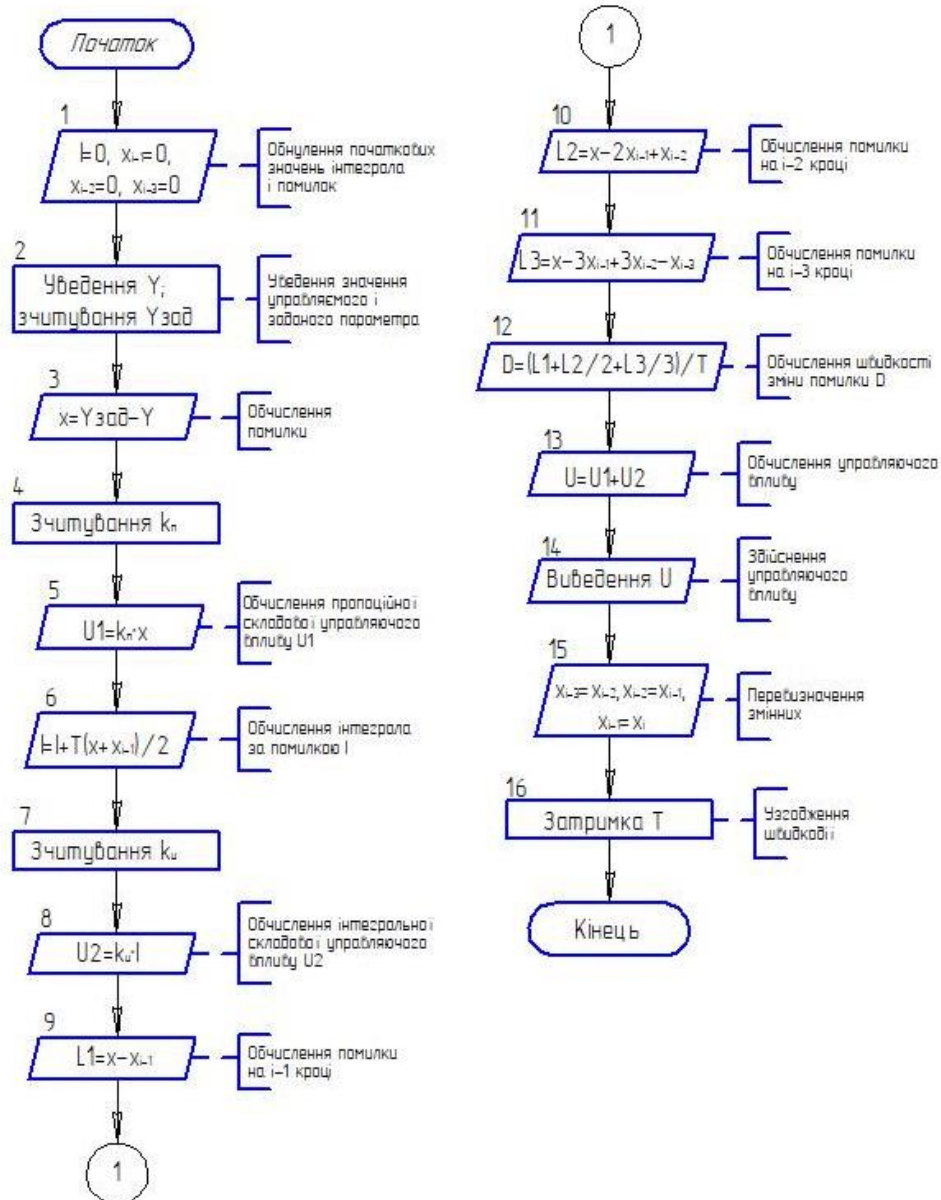


Рисунок 7.10- Алгоритм підпрограми ПІ-регулювання.

## **ВИСНОВОК**

В роботі виконана розробка системи управління технологічним процесом виробництва азотної кислоти за схемою АК-72. Виконаний аналіз технологічного процесу, обрані канали управління, зроблено вибір засобів автоматизації, а саме, датчиків, виконавчих механізмів, засобів сигналізації і контролера. Також були розроблені функціональна схема автоматизації, електрична принципова схема зовнішніх з'єднань і алгоритм роботи системи, аналітично отримана передатна функція об'єкта управління – каталітичного реактора (контактного апарату). Перевірена на адекватність модель об'єкта управління і проведені розрахунки контуру управління температурою в контактному апараті, обраний закон регулювання та визначені оптимальні параметри регулятора.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Азотна кислота, нітратна кислота [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D1%96%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BD%D0%B0\\_%D0%BA%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%B0](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D1%96%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BD%D0%B0_%D0%BA%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%B0)
2. А. М.Кутепов , Т. И. Бондарева , М. Г. Беренгартен Общая химическая технология, М.: «Высшая школа». 1990, 520 с.
3. Process Control of Technological Processes [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [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)
4. Deciding Upon Control-System Technology [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ethanolproducer.com/articles/1456/deciding-upon-control-system-technology>
5. В.А. Голубятников, В.В. Шувалов Автоматизация производственных процессов в химической промышленности, – М.: Химия, 1972. – 248 с.
6. Проектування систем автоматизації: Навч пос. / М.С. Пушкар, С.М. Проценко, 2013.- 268 с.
7. A Guide to the Automation Body of Knowledge (2nd Edition) Trevathan, Vernon L. (2006) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [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)
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. Перетворювачі тиску вимірювальні DSP [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://grempis.com.ua/dsp/>
10. DMP 331 (ДМП331) DSP [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [http://www.bdsensors.ua/products/product\\_info.php?id=1](http://www.bdsensors.ua/products/product_info.php?id=1)
11. Перетворювач тиску А-10 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://www.wika.ua/a\\_10\\_ru\\_ru.WIKA](https://www.wika.ua/a_10_ru_ru.WIKA)
12. Преобразователь давления Danfoss MBS 4701 060G4301 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://intercool.com.ua/preobrazovatel-davlenija-danfoss-mbs-4701-060g4301.html>

13. ПД100 модель 1x5-Exd датчик давления во взрывонепроницаемом исполнении [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [https://owen.ru/product/preobrazovateli\\_vo\\_vzrivozashishennom\\_ispolnenii\\_pd100\\_di\\_111\\_exia\\_115\\_exd](https://owen.ru/product/preobrazovateli_vo_vzrivozashishennom_ispolnenii_pd100_di_111_exia_115_exd)
14. Оптический датчик для измерения динамического давления [Электронный документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступа: [https://el-scada.ru/files/Wave-Phire\\_DPT950.pdf](https://el-scada.ru/files/Wave-Phire_DPT950.pdf)
15. GEFRAN KN [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.gefran.ua/Product.aspx/KN>
16. High Temperature Pressure Transmitter [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://download.keller-druck.com/api/download/hH7qKyYHH2gDhU7CPqeCgX/en/latest>
17. Высокотемпературные датчики давления Курант ДИ-В [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.metronic.ru/dvt.html>
18. Термопреобразователи сопротивления взрывозащищенные ТСМУ 014 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://energomashcom.com/ros/komplektaciya/neftegazopromyshlennoe-oborudovanie/pribory-kontrolya-i-analiza-nefteproduktov/termopreobrazovateli-soprotivleniya-vzryvozashhishennyye-tsmu-014-tsmu-015-tspu-014-tspu-015/>
19. ДТСхх4. Термосопротивления с кабельным выводом [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://owen.ua/ru/datchiki/dtsxx4-termosoprotivlenija-s-kabelnym-vyvodom>.
20. Термопреобразователь с унифицированным выходным сигналом ТСМУ-0289 медный термометр сопротивления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ukrgazavt.com.ua/products/termopreobrazovatel-s-unificirovannym-vyходnym-signalom-tsmu-0289-mednyj-termometr-soprotivleniya/>
21. TTSCU-22, TTRCU-22, TTKCU-22 ТЕРМОПАРЫ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.interautomatika.eu/rus/temperature/datchiki-temperatury/ttscu-22-ttrcu-22-ttkcu-22-termopary.html>
22. Датчики температуры Выпуск 2021 электронная редакция [Электронный документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступа: <https://www.emerson.com/documents/automation/%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-%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3-2016-ru-61696.pdf>

23. ПКГ100-NH3 промышленный датчик (преобразователь) концентрации аммиака в воздухе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://owen.ru/product/pkg100\\_nh3](https://owen.ru/product/pkg100_nh3)
24. OLC-60, OLCT-60 датчик газоаналитический стационарный <https://www.gazoanalizators.ru/OLC-60--OLCT-60.html>
25. Клапан регулирующий EV253G PN16/25 Valsteam ADCA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://primatrading.com.ua/product/klapan-reguliruyuschiy-ev253g-pn16-25-dn15-valsteam-adca>
26. CCFE-X-ПУСК Взрывозащищенный пускатель [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aksprom.biz/Catalog/KortemGorelteh/31905/CCFE-X-PUSK-Vzryvozashhishhenyji-puskatel>.
27. Technical Data Sheet ECOTROL® Control Valve [Электронный документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступа: [https://www.arca-valve.com/download/2/TD\\_8C\\_gb.pdf](https://www.arca-valve.com/download/2/TD_8C_gb.pdf).
28. Тип 3004 - Взрывозащищенный вращающий электропривод для отсечных (вкл/выкл) и регулирующих клапанов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.burkert.com.ru/ru/type/3004/>
29. Отсечные и регулирующие клапаны BURKERT [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://translate.google.com.ua/?hl=ru&tab=rT&sl=uk&tl=ru&text=%D0%9E%D0%A2%D0%A1%D0%95%D0%A7%D0%9D%D0%AB%D0%95%20%D0%98%20%D0%A0%D0%95%D0%93%D0%A3%D0%9B%D0%98%D0%A0%D0%A3%D0%AE%D0%A9%D0%98%D0%95%20%D0%9A%D0%9B%D0%90%D0%9F%D0%90%D0%9D%D0%AB%20BURKERT&op=translate>.
30. Пускатель электромагнитный ПМА [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.electrotochka.com.ua/pma-0100-din-380v>.
31. EV-4050-HOOTER-122 Взрывозащищенный светозвуковой оповещатель [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aksprom.biz/Catalog/KortemGorelteh/31927/EV-4050-HOOTER-122-Vzryvozashhishhenyji-svetozvukovojj-opoveshhatel>.
32. Оповещатель взрывозащищенный Аврал-1В [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://harkov.flagma.ua/uk/prodam-opoveshchatel-vzryvozashchishchenny-avral-1v-o923957.html>.
33. ПЛК100/150/154 контроллеры для малых систем с AI/DI/DO/AO [Электронный ресурс]. – режим доступа: [https://owen.ru/product/plk100\\_150\\_154](https://owen.ru/product/plk100_150_154)

34. Модуль аналогового ввода ОВЕН МВ110-224.8А [Электронный ресурс]. – режим доступа: [http://ovenspb.ru/modul\\_analogovogo\\_vvoda\\_oven\\_mv110-1](http://ovenspb.ru/modul_analogovogo_vvoda_oven_mv110-1)
35. Модули аналогового вывода (с интерфейсом RS-485) МУ110 - [Электронный ресурс]. – режим доступа: [https://owen.ru/product/moduli\\_analogovogo\\_vivoda\\_s\\_interfejsom\\_rs\\_485](https://owen.ru/product/moduli_analogovogo_vivoda_s_interfejsom_rs_485)
36. Модуль дискретного вывода ОВЕН МУ110-16К - [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://owen-pribor.ru/products/description/device/modul-diskretnogo-vivoda-oven-mu110-16k>
37. Модуль дискретного вывода ОВЕН МУ110-8К - [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://www.owen-pribor.ru/products/description/device/modul-diskretnogo-vivoda-oven-mu110-8k>
38. Модуль дискретного ввода/вывода ОВЕН МДВВ - [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://owen-pribor.ru/products/description/device/modul-diskretnogo-vvoda-vivoda-oven-mdvv>
39. КОНТРОЛЛЕР МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ МИК-52 - [Электронный ресурс]. – режим доступа:  
[http://www.microl.ua/index.php?page=shop.product\\_details&flypage=garden\\_flypage.tpl&product\\_id=111&category\\_id=24&option=com\\_virtuemart&Itemid=71](http://www.microl.ua/index.php?page=shop.product_details&flypage=garden_flypage.tpl&product_id=111&category_id=24&option=com_virtuemart&Itemid=71)
40. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. 2-е изд., испр. — М.: Физматлит, 2001. — 320 с. — ISBN 5-9221-0120-X.
41. Математическое моделирование объектов и систем управления : учебное пособие / Н.В. Осипова. - М.: Изд. Дом НИТУ, «МИСиС», 2019. - 67 с.
42. Бояринов А.И., Кафаров В.В. Методы оптимизации в химической технологии. – М.: Химия, 1969. – 564с.
43. Корреляционный и регрессионный анализ [Электронный документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступа:  
<http://old.gsu.by/biglib/GSU/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9/%D0%AD%D0%9A%D0%B8%D0%A2%D0%92/%D1%80%D1%83%D0%BA-%D0%BB%D0%B0%D0%B1-%D0%9C%D0%A1/7%20%D0%9A%D0%BE%D1%80%D1%80%D0%B5%D0%BB%D1%8F%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9%20%D0%B8%20%D1%80%D0%B5%D0%B3%D1%80%D0%B5%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9%20%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7.pdf>
44. Худолей Г.М. Конспект лекцій і практик з ТАУ, 2015.

45. 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&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: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&b-cat-slug=process-design-control-automation&b-cat-id=197&b-order-by=name&b-sort-by=ascending&b-filter-by=all-content)
46. 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.
47. ДСТУ Б А.2.4-3:2009 Національний стандарт України. Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів.