

Міністерство освіти і науки України  
Шосткинський інститут  
Сумського державного університету  
Факультет денної форми навчання  
Кафедра системотехніки та інформаційних технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

Худолей Г.М.

«\_\_»\_\_\_\_\_20.... р.

Бакалаврська робота на тему:  
«Система управління технологічним процесом  
моноетаноламінового очищення  
конвертованого газу від діоксиду вуглецю»

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

Серяков А.Г.

Бакалаврант:  
студент групи СУ-71ш

Жирний К.О.

Шостка – 2021 р.

## ЗМІСТ

Список скорочень.....	3
Вступ.....	5
1 Конструктивно-технологічний аналіз об'єкта автоматизації .....	7
2 Дослідження матеріальних потоків у технологічному процесі, побудова схеми інформаційних потоків.....	12
3 Вибір параметрів контролю, регулювання та сигналізації .....	14
4 Вибір каналів внесення регулюючих дій .....	18
5 Вибір засобів автоматизації .....	26
5.1 Вибір датчиків.....	26
5.2 Вибір регулюючих органів .....	53
5.3 вибір сигналізуючих пристроїв .....	58
5.4 вибір контролера.....	61
6 Розрахункова частина .....	68
6.1 Побудова математичної моделі системи управління .....	68
6.2 Синтез системи управління методом логарифмічних амплітудних характеристик .....	73
7 Алгоритм роботи системи управління .....	80
Висновок .....	83
Література .....	84

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

- АРМ – автоматизоване робоче місце.
- АСУ – автоматизована система управління.
- АСУП – автоматизована система управління підприємством.
- АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом.
- АЦП – аналого-цифровий перетворювач.
- ВКМП – верхня концентрована межа поширення полум'я.
- ВМ – виконавчий механізм.
- ГДК – гранично-допустима концентрація.
- ЕСКД – єдина система конструкторської документації.
- ЗІЗ – засоби індивідуального захисту.
- КВП і А – контрольні-вимірювальні прилади і автоматика.
- ЛАЧХ – логарифмічна амплітудо-частотна характеристика.
- МЕК – міжнародна електротехнічна комісія.
- НКМП – нижня концентрована межа поширення полум'я.
- МК – мікроконтролер.
- ММ – математична модель.
- МП – мікропроцесор.
- ОЗП – оперативний пристрій, що запам'ятовує.
- ОУ – об'єкт управління.
- П – пропорційний.
- ПІ – пропорційно-інтегральний.
- ПІД – пропорційно-інтегрально-диференційний.
- ПВП – первинний вимірювальний перетворювач.
- ПЗП – постійний пристрій, що запам'ятовує.
- ПК – персональний комп'ютер.
- ПЕВМ – персональна електронно-обчислювальна машина.
- ПБ – правила безпеки.
- ПК – персональний комп'ютер.
- ПЛК – програмований логічний контролер.
- РКІ – рідкокристалічний індикатор.
- РО — регулюючий орган.
- САР – система автоматичного регулювання.
- САУ — система автоматичного управління.

ТП — технологічний процес.

ТО– термoperетворювач опору.

ТП – термopара.

ЦАП — цифро-аналоговий перетворювач.

ЧЕ – чутливий елемент.

## ВСТУП

У газовій і нафтогазовій промисловості автоматизація знаходиться на досить високому рівні. Продукція газопереробної і нафтопереробної галузей мають чи не найбільше поширення в світі поряд з продукцією металургії. Але небезпечність і шкідливість виробництва, вимоги захисту довкілля від викидів потребують більш досконалих технологічних процесів переробки.

До конвертованого газу (інакше синтез-газу) виявляються підвищені вимоги зі зменшення домішок, які впливають на його якість. В світі посилюються заходи з декарбонізації в енергетиці, транспорті і побуті з метою зменшення викидів парникових газів. Монометаноламінове очищення конвертованого газу від діоксиду вуглецю є однією з технологій отримання сировини для виробництва мінеральних добрив і синтетичних матеріалів з природного газу. Наразі актуальність роботи тим більш зростає і через те, що Україна підписала Паризьку кліматичну угоду, за яким необхідно декарбонізувати викиди в атмосферу - необхідно переходити на безвуглецеве паливо, наприклад, водень. Тому завдання більш оперативного, точного та безаварійного автоматизованого управління має велике значення для технологічного процесу отримання водню з природного газу.

У бакалаврській роботі виконана розробка автоматизації технологічного процесу моноетаноламінового очищення конвертованого газу від діоксиду вуглецю, 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 оптимізації управління технологічним процесом при виконанні бакалаврської роботи:

- скасування участі людини при вимірюванні параметрів процесу, зменшення впливу людини на функції управління технологічними параметрами;
- ведення технологічного процесу на основі автоматичного контролю технологічних параметрів;
- автоматичне керування виконавчими механізмами;
- запобігання виникненню аварійних ситуацій і забезпечення безпечного завершення процесу за заданим алгоритмом;
- безаварійний пуск/зупинку і перемикання технологічного обладнання;

- візуалізація параметрів технологічного процесу в номінальних і аварійних ситуаціях;
- можливість інтегрування нижніх і верхніх рівнів системи з отриманням інформації з верхнього рівня системи управління з метою формування керуючих впливів на виконавчі механізми передачею, відповідно, інформації з нижніх рівнів системи управління з метою аналізу роботи виробництва.

# 1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

Моноетаноламін (МЕА) - безбарвна рідина з аміачним запахом. Хімічна формула -  $C_2H_7NO$ .

Це в'язка масляниста рідина з температурою кипіння 170 °С. Легкозаймиста рідина. Пароповітряні суміші вибухонебезпечні. Температура спалаху 85 - 93 °С.

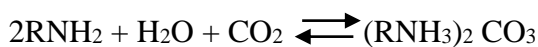
Це високонебезпечна речовина, що надає подразнюючу дію на шкірні покриви і слизові оболонки, діє через неушкоджену шкіру. Небезпечна при вдиханні, при попаданні на шкіру, в очі, в органи травлення. По впливу на людину це речовина 2- го класу небезпеки.

Моноетаноламін використовується в газовій і нафтовій індустрії для поглинання кислих газів і органічних сполук, що містять сірку.[1]

В цій роботі розглядається побудова системи управління технологічним процесом моноетаноламінового очищення конвертованого газу від діоксиду вуглецю.

Цей спосіб очищення заснований на тому, що водні розчини моноетаноламіну утворюють з діоксидом вуглецю карбонати і гідрокарбонати, які при температурах вище 100 °С дисоціюють, виділяючи діоксид вуглецю [2] .

Процес може бути описаний такими хімічними реакціями:



де  $R = OHCH_2CH_2$ .

Як впливає з реакцій, 1 моль аміну пов'язує 1 моль діоксиду вуглецю. Практично ступінь карбонізації неочищеного розчину моноетаноламіну при атмосферному тиску становить 0,4-0,5, а при тиску 2,5 - 3,0 МПа 0,6 - 0,75 [2].

Для очищення від  $CO_2$ , як правило, застосовують 20%-ний розчин моноетаноламіну. Розчини більш високої концентрації застосовувати недоцільно з таких причин: різко посилюється корозія обладнання, зростають втрати розчинника, збільшується в'язкість розчину, що погіршує змочування насадки і знижує коефіцієнт абсорбції[2].

Розчини моноетаноламіну мають високу поглинальну здатність навіть при малих парціальних тисках  $CO_2$  в вихідному газі, отже, спосіб придатний для очищення газів і при атмосферному тиску.

При температурі вище 100 °С реакції йдуть справа наліво з виділенням діоксиду вуглецю.

На цьому заснована регенерація моноетаноламінових розчинів. Для проведення процесу регенерації необхідно підвести теплоту в кількості, яку можна визначити з рівняння теплового балансу регенерації:

$$Q_p = Q_n + Q_{\text{дес}} + Q_{\text{пар}} + Q_{\text{втр}} ,$$

де  $Q_p$  - теплота регенерації розчину;  $Q_n$  - теплота нагрівання розчину до температури регенерації;  $Q_{\text{дес}}$  - теплота десорбції  $\text{CO}_2$ , який відганяють з розчину;  $Q_{\text{пар}}$  – теплота пароутворення (випаровування води) при відгонці  $\text{CO}_2$ ;  $Q_{\text{втр}}$  – теплові втрати в навколишнє середовище.

Слід зазначити, що при моноетаноламіновому очищенні основні енергетичні витрати пов'язані з витратою теплоти на регенерацію абсорбенту. З метою скорочення цієї витрати і здешевлення вартості очищення в промислових умовах прагнуть якнайповніше рекуперувати теплоту гарячого регенованого розчину,  $\text{CO}_2$  і водяної пари. Теплові втрати в навколишнє середовище знижують шляхом теплоізоляції гарячої апаратури і комунікацій.

Основними технологічними параметрами моноетаноламінового очищення є тиск абсорбції і регенерації, температура, концентрація розчину, ступінь карбонізації. Вибору цих параметрів при виробництві водню приділяється велика увага, так як вони визначають надійність і економічність процесу.

Особливості технологічної схеми очищення залежать значною мірою від загальної схеми виробництва. У виробництвах водню з низькотемпературною конверсією  $\text{CO}$  очищення від  $\text{CO}_2$  проводиться під тиском 1,0-3,0 МПа до залишкового вмісту діоксиду вуглецю 0,01-0,1% з подальшим тонким очищенням від  $\text{CO}$  і  $\text{CO}_2$  метануванням.

У технологічних схемах парокисневої каталітичної конверсії при атмосферному тиску з наступним промиванням газу рідким азотом необхідне попереднє тонке очищення від діоксиду вуглецю. У цьому випадку застосовують двухстадійне моноетаноламінове очищення. На першій стадії під тиском, близьким до атмосферного, конвертований газ очищають від  $\text{CO}_2$  до його вмісту 3-5%, на другій стадії під тиском 2,8 МПа ведуть тонке очищення до залишкового вмісту  $\text{CO}_2$  0,004%.

При конверсії під тиском з промиванням газу рідким азотом також застосовують двостадійне очищення, але при однаковому тиску газу на обох стадіях.

В сучасних технологічних лініях моноетаноламінове очищення ведеться за схемою з розділеними потоками поглинаючого розчину. Така схема показана на рис. 1.1.



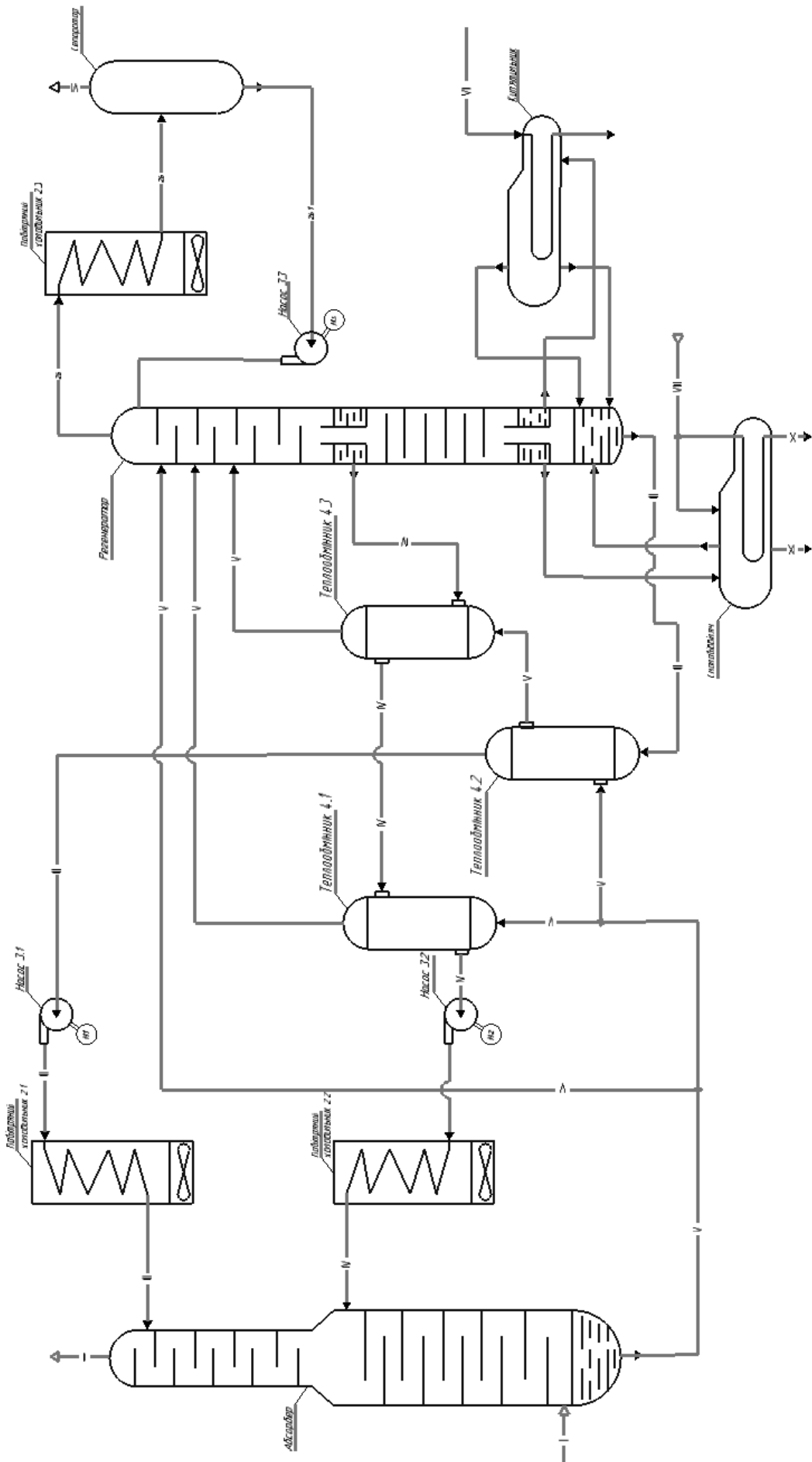


Рисунок 1.1 - Схема моноетанолінового очищення від CO<sub>2</sub>:

1 - абсорбер; 2 - повітряний холодильник; 3 - насос; 4 - теплообмінник; 5 - регенератор; 6 - кип'ятильник; 7 - смоловідділяч; I - конвертований газ; II - очищений газ; III - глибокорегенований розчин; IV - груборегенований розчин; V - насичений розчин; VI - діоксид вуглецю; VII - теплоносій; VIII -- пара; IX - кубовий залишок; X – конденсат пари.

Конвертований газ під тиском 2,8 МПа при температурі 25-40 °С через барботажний шар надходить в абсорбер 1, обладнаний сітчатими тарілками і високим барботажний шаром. Висота барботажного шару в абсорбери становить 1,0 – 1,5 м. Абсорбер складається з двох секцій. У нижній секції проводиться очищення газу до 5-7% CO<sub>2</sub> груборегенованим розчином. У верхній секції абсорбера здійснюється тонке очищення газу глибокорегенованим розчином, який, наситившись діоксидом вуглецю у верхній секції, змішується з потоком груборегенованого розчину і надходить на зрошення нижньої секції. Ступінь карбонізації насиченого розчину на виході з абсорбера становить 0,65 моль CO<sub>2</sub>/моль аміну. Цей розчин з нижнього спуску абсорбера з витратою 100 л/год. розгалужується на три потоки: перший (близько 10%) спрямовується на одну з верхніх тарілок регенератора 5 (холодний байпас); другий потік (близько 45%) нагрівається до 90-95 °С в теплообміннику 4.1 і подається в середню частину регенератора; третій потік, що дорівнює другому, додатково нагрівається до 104-107 °С і надходить в регенератор нижче другого потоку (на 18-у тарілку). У верхній частині регенератора відбувається груба регенерація розчину до вмісту діоксиду вуглецю 0,3-0,35 моль/моль аміну. Потім розчин ділиться на два приблизно рівних потоки: один потік надходить в міжтрубний простір теплообмінників 4.3 і 4.1, де охолоджується до 70 °С, і далі насосом 3.2 прокачується через повітряний холодильник 2.2 і надходить при температурі 40 °С на зрошення нижньої секції абсорбера; другий потік через переливні труби всередині регенератора надходить в нижню секцію, в якій триває процес регенерації розчину. Остаточна десорбція CO<sub>2</sub> з розчину відбувається в кип'ятильнику 6, що обігрівається, зазвичай, конвертованим газом.

Глибокорегенований розчин охолоджується до 70 °С в теплообміннику 4.2 і насосом 3.1 подається в повітряний холодильник 2.1, де охолоджується до 40 °С. Охолоджений розчин надходить на зрошення верхньої секції абсорбера. Парогазова суміш виходить з регенератора при температурі 75-85 °С під тиском 0,17 МПа і охолоджується в повітряному холодильнику 2.3, де конденсуються водяні пари, відокремлюються в сепараторі, з якого виводять охолоджений діоксид вуглецю.

З нижньої частини регенератора безперервно виводиться 0,5-1% циркулюючого розчину, який направляють в спеціальний апарат смоловідділяч 7, де при поступовому підвищенні температури до 145 °С в присутності гострого пару виконується відгонка моноетаноламіну від

високомолекулярних смолистих речовин, що утворилися в процесі роботи. Пари моноетаноламіну і води зі смоловідділяча надходять в куб регенератора.

Розгонка розчину моноетаноламіну, яка передбачається у всіх сучасних установках, є головним засобом зниження втрат аміну, запобігання спінювання і зниження корозії. Основна перевага моноетаноламінового очищення - можливість здійснення тонкого очищення та використання апаратури з відносно невеликими габаритами.

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

Будь-який технологічний процес виробництва характеризується рядом основних і допоміжних матеріальних і енергетичних потоків, які визначають кількісні і якісні показники технологічного процесу та відповідні показники готової продукції. Зважаючи на те, що якісні показники продукції в режимі реального часу контролювати не завжди можна, їхні значення досягаються шляхом підтримання показників матеріальних потоків і параметрів середовища обробки (реакцій) матеріалів (реагентів). Тому для наочного уявлення матеріальних, енергетичних потоків і пов'язаних з ними інформаційних потоків між складовими в технологічному процесі моноетаноламінового очищення конвертованого газу має істотне значення схема матеріально-інформаційних потоків (рис. 2.1).



### 3 ВИБІР ПАРАМЕТРІВ КОНТРОЛЮ, РЕГУЛЮВАННЯ ТА СИГНАЛІЗАЦІЇ

Необхідна якість очищеного конвертованого газу досягається підтриманням необхідних режимів проведення хімічних реакцій, підтримкою параметрів технологічного процесу в заданих межах, якісними і кількісними показниками реагентів, що застосовуються в технологічному процесі. Для цього на основі конструктивного аналізу виберемо параметри, які завдають істотні збурюючі впливи на об'єкт управління при протіканні технологічного процесу і їх значення, визначимо взаємозв'язок з іншими процесами, а також визначимо шляхи усунення збурень або їх стабілізації.

Як об'єкт управління розглядається технологічний процес моноетаноламінового очищення конвертованого газу від діоксиду вуглецю.

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.

Для нормального проведення хімічних реакцій очищення від вуглекислого газу в адсорбері необхідно контролювати температуру 25-40 °С і тиск 2,8 МПа конвертованого газу на вході абсорбера, регулювати температуру 40 °С груборегенованого розчину моноетаноламіну для зрошення нижньої секції абсорбера, регулювати витрату насиченого розчину моноетаноламіну 100 м<sup>3</sup>/год. із нижнього спуску абсорбера, регулювати температуру 40 °С глибокорегенованого розчину моноетаноламіну для зрошення верхньої секції абсорбера, регулювати витрату 10 м<sup>3</sup>/год. насиченого розчину моноетаноламіну на верхню тарілку регенератора, регулювати витрату 45 м<sup>3</sup>/год. і температуру 90-95 °С насиченого розчину моноетаноламіну на середню частину регенератора, регулювати витрату 45 м<sup>3</sup>/год. і температуру 104-107 °С насиченого розчину моноетаноламіну на нижню частину (18 тарілку) регенератора, регулювати температуру 145 °С у смолвідділячі, контролювати температуру 75-85 °С і тиск 0,17 МПа парогазової суміші на виході регенератора.

Конвертований газ (суміш водню і монооксиду вуглецю відноситься до вибухо- і пожежонебезпечних, тому необхідно контролювати значення граничних значень параметрів і блокувати (зупиняти) технологічний процес, вмикати аварійну сигналізацію, вмикати аварійну вентиляцію і проводити, в разі необхідності, запуск системи технологічного пожежогасіння.

Перелік перерахованих параметрів наведений в таблиці 3.1.

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

№ п.п.	Точка технологічної схеми	Параметр	Функція	Величина
1	Вхід абсорбера	Тиск конвертованого газу	Контроль, сигналізація	$2,8 \pm 0,3$ МПа
2	Вхід абсорбера	Температура конвертованого газу	Контроль, сигналізація	25 - 40 °С
3	Адсорбер	Рівень барботажного шару	Контроль, сигналізація управління	1,0-1,5 м
4	Зрошення нижньої секції абсорбера	Температура груборегенованого розчину моноетаноламіну	Контроль, управління	$40 \pm 2$ °С
5	Зрошення верхньої секції абсорбера	Температура глибокореженованого розчину моноетаноламіну	Контроль, управління	$40 \pm 2$ °С
6	Нижній спуск абсорбера	Витрата насиченого розчину моноетаноламіну	Контроль, управління	$100 \pm 5$ м <sup>3</sup> /год.
7	Верхня тарілка регенератора	Витрата насиченого розчину моноетаноламіну	Контроль, управління	$10 \pm 0,5$ м <sup>3</sup> /год.
8	Середня частина регенератора	Витрата насиченого розчину моноетаноламіну	Контроль, управління	$45 \pm 2,5$ м <sup>3</sup> /год.
9	Нижня частина регенератора	Витрата насиченого розчину моноетаноламіну	Контроль, управління	$45 \pm 2,5$ м <sup>3</sup> /год.
10	Смоловідділяч	Температура	Контроль, управління	$145 \pm 7$ °С
11	Вихід регенератора	Температура парогазової суміші	Контроль, сигналізація	75-85 С
12	Вихід регенератора	Тиск парогазової суміші	Контроль, сигналізація	0,17 МПа
13	Робоча зона виробництва	Концентрація чадного газу у повітрі НКМП)	Контроль, сигналізація, управління	12,5 % об.
14	Робоча зона виробництва	Концентрація водню у повітрі (НКМП)	Контроль, сигналізація, управління	4,08 % об.
15	Робоча зона виробництва	Концентрація чадного газу у повітрі (ГДК)	Контроль, сигналізація, управління	23 мг/м <sup>3</sup>

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

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

Оскільки процес відноситься до вибухонебезпечних, то необхідно контролювати і сигналізувати граничне значення концентрації монооксиду вуглецю і водню в атмосфері технологічної установки за допомогою світлової та звукової сигналізації за місцем і в операторній, оскільки перевищення допустимого значення може призвести до виникнення аварії.

Середовище вважається вибухонебезпечним, якщо концентрація найбільш вибухонебезпечного газу перевищує 50% його НКМП (нижньої концентраційної межі поширення полум'я): для монооксиду вуглецю – 12,5%.

Монооксид вуглецю CO (чадний газ) навіть при мінімальній концентрації вражає дихальну і нервову систему людини і може призвести до смерті. Для запобігання цьому необхідно контролювати і сигналізувати граничне значення концентрації чадного газу.

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.

Структурна схема автоматизації подана на рисунку 3.1.



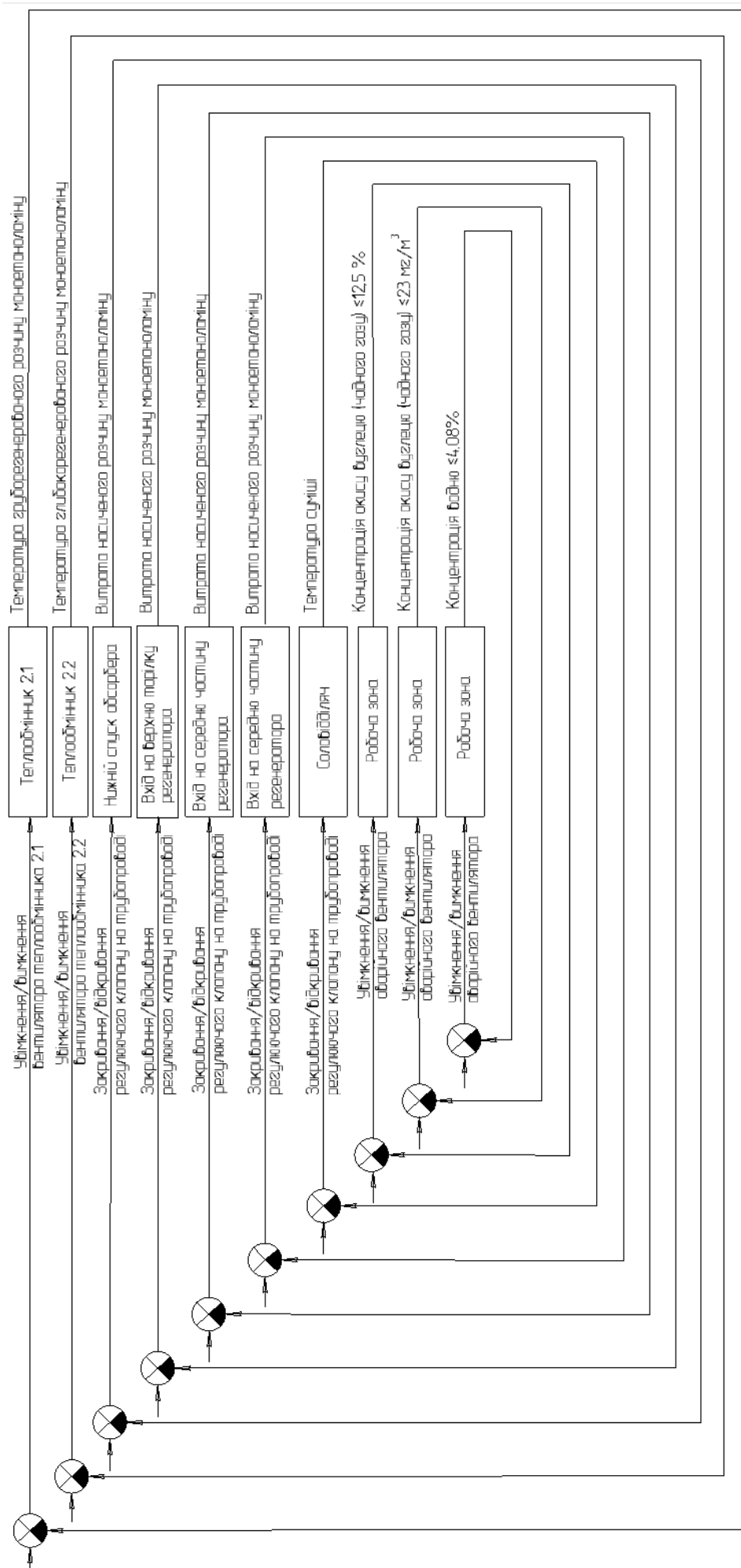


Рисунок 3.1-Структурна схема автоматизації.

## 4 ВИБІР КАНАЛІВ ВНЕСЕННЯ РЕГУЛЮЮЧИХ ДІЙ

4.1 Тиск конвертованого газу на вході абсорбера будемо контролювати і сигналізувати про вихід за допустимі межі за схемою, представленою на рис. 4.1.

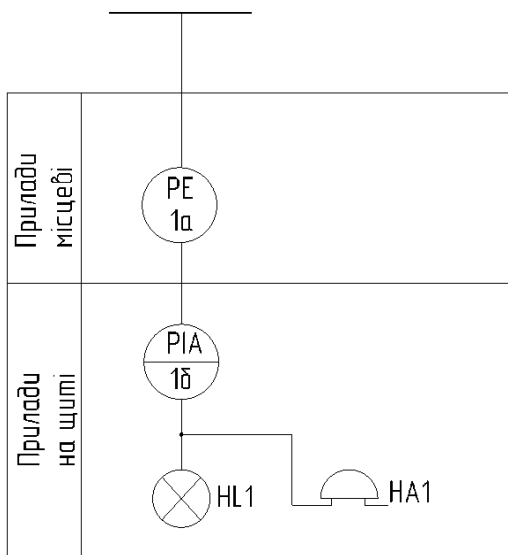


Рисунок 4.1 – Схема контролю і сигналізації тиску конвертованого газу на вході абсорбера.

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

4.2 Температуру конвертованого газу на вході абсорбера будемо контролювати і сигналізувати про вихід за допустимі межі за схемою, представленою на рис. 4.2.

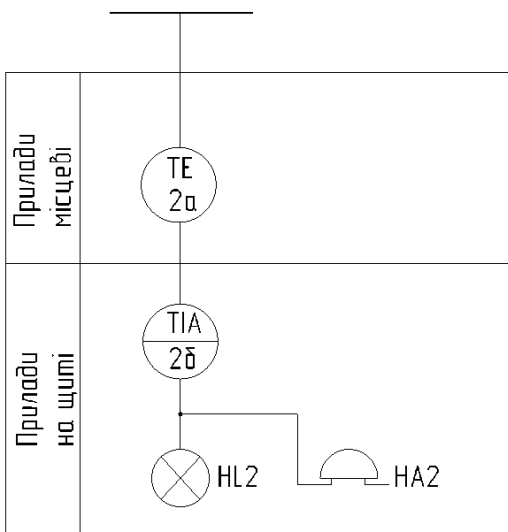


Рисунок 4.2 – Схема контролю і сигналізації температури конвертованого газу на вході абсорбера.

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

4.3 Рівень барботажного шару в адсорбері будемо регулювати шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі свіжого розчину моноетаноламіну з ємності моноетаноламіну в адсорбер.

Канал контролю і управління рівнем барботажного шару в адсорбері представлений на рис. 4.3.

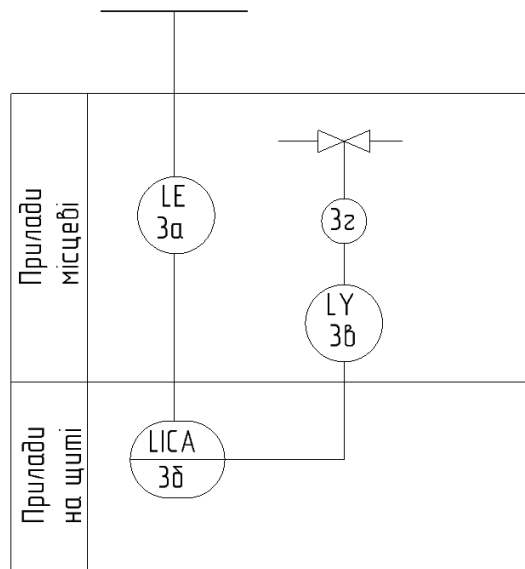


Рисунок 4.3 – Контур контролю і управління рівнем барботажного шару в адсорбері.

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

4.4 Температуру груборегенованого розчину моноетаноламіну для зрошення нижньої секції адсорбера будемо регулювати за допомогою повітряного холодильника шляхом вмикання/вимикання його вентилятора.

Канал контролю і управління температурою груборегенованого розчину моноетаноламіну для зрошення нижньої секції адсорбера представлений на рис. 4.4.

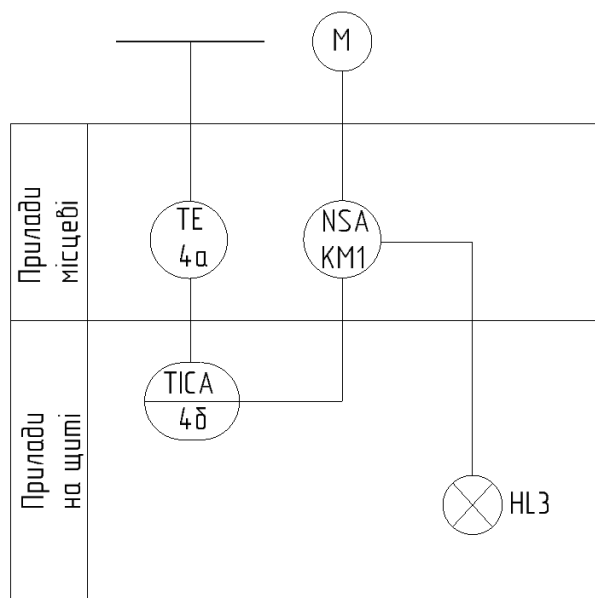


Рисунок 4.4 – Контур контролю і управління температурою груборегенованого розчину моноетаноламіну для зрошення нижньої секції абсорбера.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, регулюючий пристрій, пристрій для показань, магнітний пускач, двигун вентилятора повітряного холодильника.

4.5 Температуру глибокорегенованого розчину моноетаноламіну для зрошення верхньої секції абсорбера будемо регулювати за допомогою повітряного холодильника шляхом вмикання/вимикання його вентилятора.

Канал контролю і управління температурою глибокорегенованого розчину моноетаноламіну для зрошення верхньої секції абсорбера представлений на рис. 4.5.

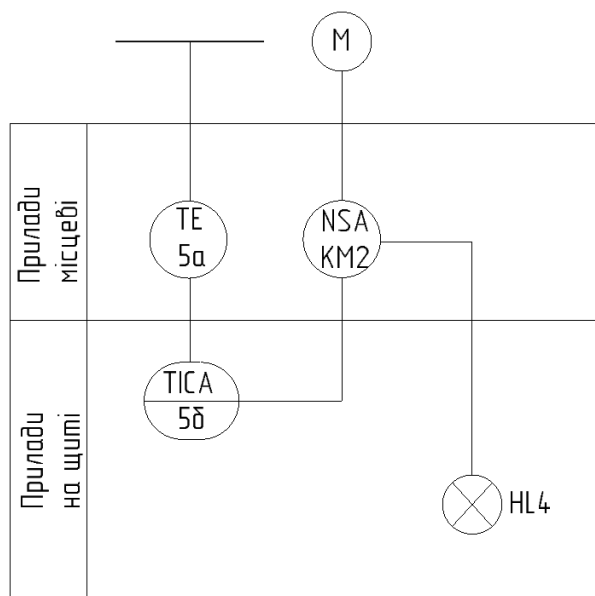


Рисунок 4.5 – Контур контролю і управління температурою глибокорегенованого розчину моноетаноламіну для зрошення верхньої секції абсорбера.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, регулюючий пристрій, пристрій для показань і пристрій для, магнітний пускач, двигун вентилятора повітряного холодильника.

4.6 Витрату насиченого розчину моноетаноламіну з нижнього спуску абсорбера будемо регулювати шляхом зміни пропускної спроможності трубопроводу за допомогою регулюючого клапана на трубопроводі насиченого розчину моноетаноламіну. Канал контролю і управління витратою насиченого розчину моноетаноламіну з нижнього спуску абсорбера представлений на рис. 4.6.

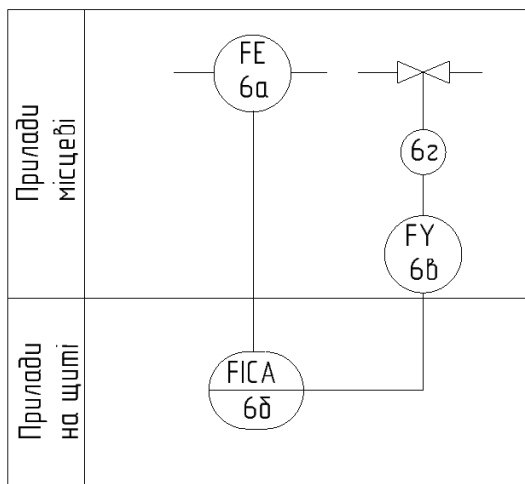


Рисунок 4.6 – Контур контролю і управління витратою насиченого розчину моноетаноламіну з нижнього спуску абсорбера.

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

4.7 Витрату насиченого розчину моноетаноламіну на верхню тарілку регенератора будемо регулювати шляхом зміни пропускної спроможності трубопроводу за допомогою регулюючого клапана на трубопроводі насиченого розчину моноетаноламіну. Канал контролю і управління витратою насиченого розчину моноетаноламіну на верхню тарілку регенератора представлений на рис. 4.7.

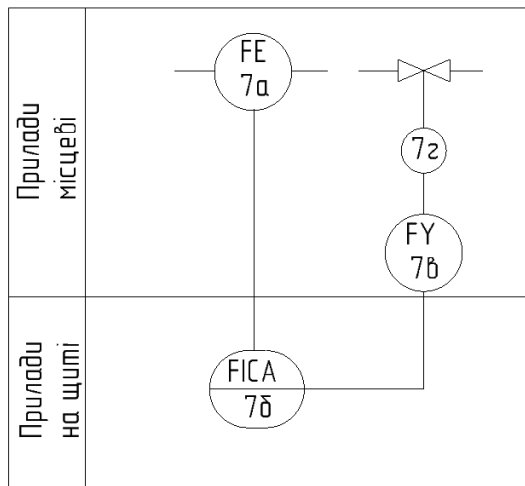


Рисунок 4.7 – Контур контролю і управління витратою насиченого розчину моноетаноламіну на верхню тарілку регенератора.

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

4.8 Витрату насиченого розчину моноетаноламіну на середню частину регенератора будемо регулювати шляхом зміни пропускної спроможності трубопроводу за допомогою регулюючого клапана на трубопроводі насиченого розчину моноетаноламіну на середню частину регенератора. Канал контролю і управління витратою насиченого розчину моноетаноламіну на середню частину регенератора представлений на рис. 4.8.

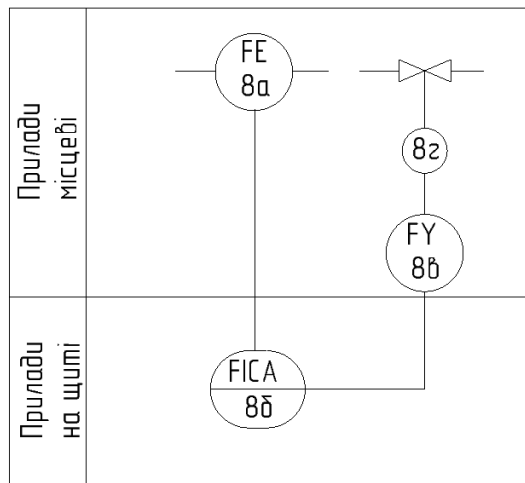


Рисунок 4.8 – Контур контролю і управління витратою насиченого розчину моноетаноламіну на середню частину регенератора.

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

4.9 Витрату насиченого розчину моноетаноламіну на нижню частину регенератора будемо регулювати шляхом зміни пропускної спроможності трубопроводу за допомогою регулюючого клапана на трубопроводі насиченого розчину моноетаноламіну на нижню частину

регенератора. Канал контролю і управління витратою насиченого розчину моноетаноламіну на нижню частину регенератора представлений на рис. 4.9.

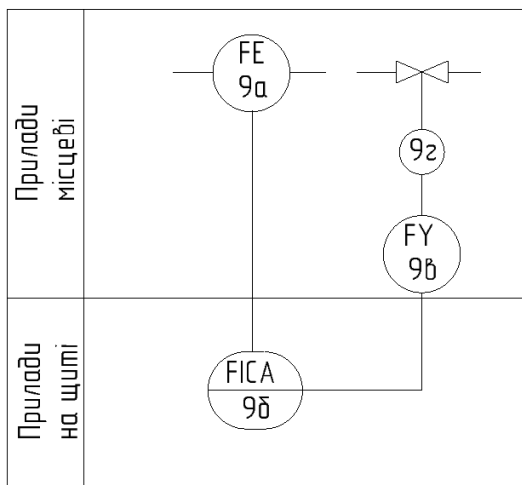


Рисунок 4.9 – Контур контролю і управління витратою насиченого розчину моноетаноламіну на нижню частину регенератора.

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

4.10 Температуру у смоловідділячі будемо регулювати шляхом зміни пропускної спроможності трубопроводу за допомогою регулюючого клапана на трубопроводі пари. Канал контролю і управління температурою у смоловідділячі представлений на рис. 4.10.

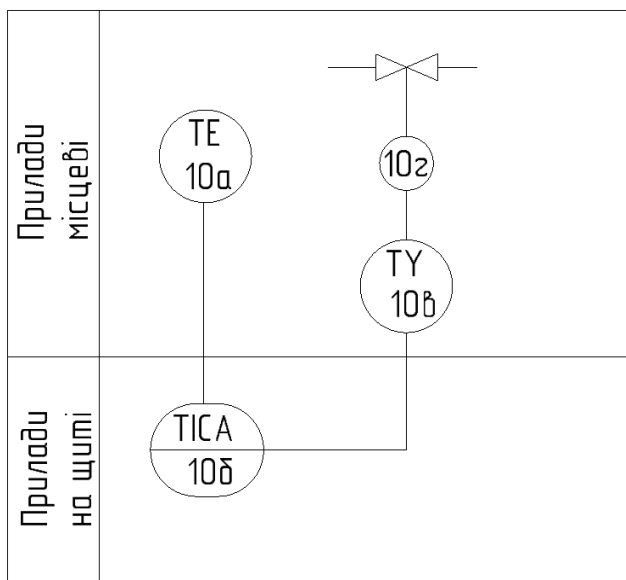


Рисунок 4.10 – Контур контролю і управління температурою у смоловідділячі.

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

4.11 Температуру парогазової суміші на виході регенератора будемо контролювати і сигналізувати про вихід за допустимі межі за схемою, представленою на рис. 4.11.

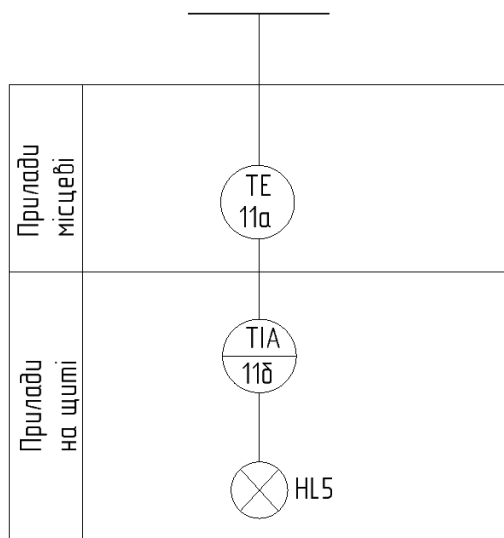


Рисунок 4.11 – Схема контролю і сигналізації температури парогазової суміші на виході регенератора.

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

4.12 Тиск парогазової суміші на виході регенератора будемо контролювати і сигналізувати про вихід за допустимі межі за схемою, представленою на рис. 4.12.

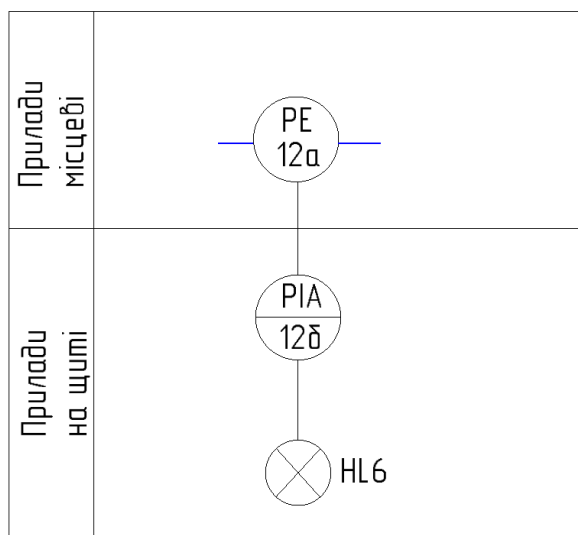


Рисунок 4.12 – Схема контролю і сигналізації тиску парогазової суміші на виході регенератора.

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



4.13 Для запобігання вибухонебезпечній ситуації і отруєння чадним газом і уникнення пожежовибухонебезпечної ситуації необхідно контролювати концентрацію чадного газу і водню в атмосфері на установці моноетаноламінового очищення конвертованого газу.. Канал контролю, сигналізації і управління концентрацією чадного газу і водню представлений на рис. 4.13.

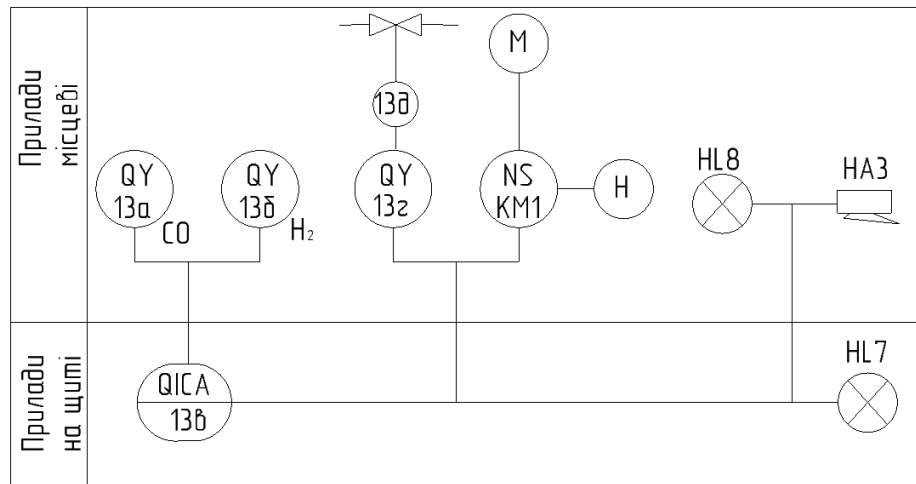


Рисунок 4.13 Контур контролю, сигналізації і управління чадного газу і водню.

До складу каналу контролю, сигналізації і управління концентрацією чадного газу і водню входять датчики порогових значень концентрації чадного газу і водню, перетворювач сигналу датчика, пристрій для показань, пристрій для відсікання подачі конвертованого газу, пристрій для вмикання аварійної вентиляції і пристрій для сигналізації.

## 5 ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

### 5.1 Вибір датчиків

#### 5.1.1 Вибір датчиків тиску

Тиск необхідно враховувати при проектуванні багатьох хімічних процесів.

Широке використання тиску, його перепаду і розрідження в технологічних процесах зумовили необхідність застосовувати різноманітні методи і засоби вимірювання і контролю тиску.

Методи вимірювання тиску засновані на порівнянні сил вимірюваного тиску з силами:

- тиску стовпа рідини (ртуті, води) відповідної висоти;
- що розвиваються при деформації пружних елементів (пружин, мембран, манометричних коробок, сільфонів і манометричних трубок);
- тяжкості вантажів;
- пружними силами, що виникають при деформації деяких матеріалів і викликають електричні ефекти.

Різні галузі використовують різні вимірювальні прилади. Щоб підібрати необхідний потрібно знати такі вимоги:

- тип вимірювача;
- діапазон вимірювань, що виконуються;
- витримуване навантаження;
- клас точності приладу;
- контрольоване середовище;
- приєднувальні розміри;
- Розташування штуцера - осьове або радіальне;
- умови експлуатації.

Існує кілька найбільш часто використовуваних методів вимірювання тиску. Ці методи включають в себе візуальний замір висоти рідини в колоні, метод пружної деформації і електричні методи [10].

Тиск можна виразити як висоту рідини з відомою щільністю в трубці. Дані типи вимірювальних приладів зазвичай називають манометрами. Для вимірювання висоти рідини в колоні, може бути використана шкала з одиницями вимірювання відстані, також як і відкалібрована шкала тиску. Зазвичай в якості рідини в цих колонах використовується вода або ртуть. Вода використовується, коли необхідно досягти більш високої чутливості (щільність води

значно менше, ніж щільність рідкої ртуті, так що висота стовпа води буде більш сильно змінюватися при зміні тиску). Ртуть же використовується, коли необхідно вимірювати більш високі значення тиску, але з меншою чутливістю.

Метод пружної деформації вимірювання тиску заснований на принципі, який говорить, що ступінь деформації пружного матеріалу прямо пропорційна прикладеному тиску. Для даного методу, в основному, використовуються три типи датчиків: трубки Бурдона, діафрагми і сильфони.

Електричні методи, використовувані для вимірювання тиску, засновані на принципі, що ґрунтується на тому, що зміна розміру впливає на електричний опір провідника. Пристрої, що використовують для вимірювання тиску зміну опору називають тензодатчиками. Також існують і інші електричні датчики, наприклад ємнісні, індуктивні, магнітоопори (Холла), потенціометричні, пьезометричні і п'єзорезистивні перетворювачі.

Пристрої, що використовують для вимірювання тиску, діапазони вимірювань, переваги і недоліки можна систематизувати і зібрати до таблиці, користуючись якою легко визначити і вибрати необхідний датчик (табл. 5.1).

Таблиця 5.1\_Порівняння характеристик розглянутих датчиків для вимірювання тиску[10]

Тип чутливого елемента	Межі тиску	Чутливість	Переваги	Недоліки
Трубка Бурдона	0,1...700 МПа	0,03 МПа	Портативність, низькі експлуатаційні витрати	Статичні вимірювання, низька точність
Сильфони	<0,2 МПа	0,0012 МПа	Може бути використаний на низькому тиску	Може бути приєднаний тільки до двопозиційного перемикача або до потенціометра
Діафрагми	0,1...2,2 МПа	0,01 МПа	Швидкий час відгуку, висока точність, хороша лінійність, може бути використаний в корозійних середовищах	Дуже дорогий

Продовження таблиці 5.1

Тип чутливого елемента	Межі тиску	Чутливість	Переваги	Недоліки
Ємнісні	2,5 Па – 70 МПа	0,07 МПа	Використовуються для вимірювання низьких тисків і вакууму, міцна конструкція	Повністю електронний, ємнісні пластини можуть злипатися в процесі експлуатації
Індуктивні	250 Па – 70 МПа	0,35 МПа	Висока чутливість.	Обмежені пружними елементами, грубіші порівняно з датчиками магнітоопору
Магнітоопори	250 Па – 70 МПа	0,35 МПа	Висока чутливість.	Вимагають наявності зовнішнього джерела змінного струму
П'єзоелектричні	0,021...100 МПа	0,1 МПа	Дуже швидкий час відгуку.	Підпадає під вплив високих температур і статичних сил
Потенціометричні	0,03...70 МПа	0,07 – 0,35 МПа	Можуть мати дуже маленькі розміри	Мала чутливість і робочий діапазон
Вимірювання натягу	0...14000 МПа	0...14000 МПа	Дуже висока чутливість, можуть бути використані на мобільних частинах	Надзвичайно тривалий час відгуку, слабкий вихідний сигнал
Тип чутливого елемента	Межі тиску	Чутливість	Переваги	Недоліки

Продовження таблиці 5.1

Тип чутливого елемента	Межі тиску	Чутливість	Переваги	Недоліки
Диференційні	Залежить від інших елементів в пристрою	Залежить від інших елементів пристрою	Використовуються для вимірювання перепаду тиску	Використовуються тільки для вимірювання перепаду тиску
Теплопровідності	$0,4 \cdot 10^{-3} \dots 1,3 \cdot 10^{-3}$ МПа	$6 \cdot 10^{-3}$ МПа	Здатні вимірювати вакуум	Вимірювання лінійні тільки на низькому тиску
Іонізації	$1,3 \cdot 10^{-13} \dots 1,3 \cdot 10^{-8}$ МПа	$10^{-13} \dots 10^{-16}$ МПа	Висока чутливість, можуть вимірювати глибокий і надглибокий вакуум	Обмежені фотоелектричним ефектом
Вібрації	$0,0035 \dots 0,3$ МПа	$10^{-5}$ МПа	Дуже точні, не схильні до впливу зміни температури	Не можуть бути використані на високому тиску

Враховуючі наведене вище, для вимірювання тиску в цьому технологічному процесі виберемо необхідні датчики. Для цього розглянемо декілька з них.

#### 4.1.1.1 Датчик для вимірювання тиску конвертованого газу на вході абсорбера.

Перетворювач абсолютного, надлишкового тиску датчик тиску NIPRESS D-200 [11].

Датчики абсолютного, надлишкового тиску NIPRESS D-200 з внутрішньою керамічною діафрагмою застосовуються для вимірювання агресивних газів, пари і рідин, не рекомендуються для вимірювання тиску середовищ, схильних до випадання осаду, кристалізації, налипання. Застосування датчиків тиску цієї моделі не пропонуються для вимірювання середовищ з яскраво вираженими динамічними навантаженнями тиску. В межах

заявлених граничних значень тисків датчики тиску NIPRESS D-200 можуть бути використані в 2-х провідних системах.

Області застосування приладу:

- вимірювання абсолютного або надлишкового тиску рідин, забруднених вод, палива і масел, хімічно агресивних середовищ, газів;

- застосовується у всіх видах технологічних процесів, машин, механізмів, гідравлічних рішень, опалення та вентиляції, кліматичних установках, вимірювання в охороні навколишнього середовища, медичних технологій, лабораторній техніці, в енергетиці, харчовій промисловості і виробництві напоїв, водоочищенні і водовідведенні.

Основні особливості приладу:

- вимірювання абсолютного або надлишкового тиску;

- вимірювання в області високого тиску;

- застосування в системах управління вакуумного, надлишкового, абсолютного тиску;

- змінний діапазон вимірювання;

- корпус з нержавіючої сталі.

Специфікація приладу:

- діапазон вимірювання -1 ... 400 bar;

- похибка 0,5%;

- температура вимірюваного середовища -25 ... + 125 °C;

- температура зовнішнього середовища 25 ... + 85 °C;

- тип сенсора п'єзорезистивний;

- матеріали змочуваного середовища - сенсор: кераміка, ущільнення: FKM (Viton®) (додатково: EPDM), приєднання до процесу: нержавіюча сталь;

- вихід: 2-о дротові: 4 ... 20 mA, 3- дротові: 0 ... 10 V;

- живлення: 2-о дротові 8 ... 32 V DC, 3- дротові 14 ... 30 V DC;

- навантажувальний опір: 2-о дротові  $R_t \leq [(U_s - 8 \text{ V}) / 0,02 \text{ A}] \text{ Ом}$ , 3- дротові  $R_t > 10 \text{ кОм}$ ;

- електричне приєднання ISO4400, M12x1 / 4;

- клас захисту IP65 / IP67;

- електричний захист SELV Class III;

- вибухозахищене виконання;

- маса приладу ~ 0,12 кг.

Прилад для вимірювання надлишкового та абсолютного тиску Sitrans PZ [12].

Призначений для вимірювання абсолютного і відносного тиску агресивних і неагресивних рідин і газів для позицій, де не потрібна висока точність.

Основні характеристики:

- діапазон вимірювання надл. тиск 0 ... 0,1min / 400max бар; абс. тиск 0 ... 0,6min / 16max бар;
- похибка 0,25%;
- температура процесу -30°C...+120 °C.

Основні особливості приладу:

- вихідний сигнал 4-20 мА;
- ступінь захисту IP65;
- вибухозахист II 2G EEx [ib] ІС Т6 по АТЕХ
- матеріал нержавіюча сталь 1.4571 / 316 Ti;
- різні підключення до процесу;
- без ЖК-дисплея;
- компактність (0,25 кг);
- мінімальна ціна.

Датчик тиску ОВЕН ПД100И-111 Ехі загальнопромисловий з міжповірочним інтервалом до 5 років [13].

Призначений для безперервного вимірювання абсолютного, вакуумметричного і надлишково-вакуумметричного типів тиску в складі систем обліку тепла (теплочисильників, теплообчислювачів) в ЖКГ, а також в системах, що вимагають збільшеного міжповірочного і гарантійного інтервалів: віддалені і важкодоступні місця моніторингу в нафтогазовій сфері, випробувальній і лабораторній техніці.

За рахунок компактності датчики цього типу можна розміщувати в важкодоступних місцях, а також використовувати в системах, де критичні габарити перетворювача.

У датчику ПД100И-111 застосовується високостабільний сенсор, який уварюють в штуцер із застосуванням лазерного зварювання. Для додаткового захисту від зовнішніх впливів плата перетворювача покрита компаундом, який не полімеризується.

Основні характеристики:

- діапазон вимірювання 0,025...4,0 МПа;
- основна приведена похибка 0,25 або 0,5 % ВМВ;
- перевантажувальна здатність е менш 200% від ВМВ;
- діапазон робочих температур вимірюваного середовища -40°C...+100 °C.

Основні особливості приладу:

- вихідний сигнал постійного струму 4...20 мА, 2-о дротова схема;
- напруга живлення 12 ... 24 В постійного струму;
- опір навантаження 0 ... 1,0 кОм (в залежності від напруги живлення);
- споживана потужність не більше 0,8 Вт;
- штуцер для підключення тиску М20 × 1,5 манометричної форми, G1/2 манометричної форми, G1/4 манометричної форми;
- ступінь захисту корпусу IP65;
- виконання «іскробезпечне коло» 1 Ex ia IIC T6 Gb;
- стійкість до кліматичних впливів УХЛЗ.1;
- діапазон робочих температур навколишнього повітря -40...+80 °С;
- атмосферний тиск робочий 66...106,7 кПа;
- вага без упаковки/в упаковці 0,18 кг / 0,3 кг;
- середній час напрацювання на відмову не менше 500 000 год.;
- середній термін служби 12 років.

Розглянувши характеристики наведених датчиків, оберемо для вимірювання тиску конвертованого газу датчик ОВЕН ПД100И-111 загальнопромисловий з міжповірочним інтервалом до 5 років, оскільки параметри всіх наведених датчиків приблизно однакові, але ОВЕН ПД100И-111 має найнижчу ціну, досить великий середній час напрацювання на відмову середній термін служби і розгалужену мережу представництв бренду в Україні.

#### **5.1.1.2 Датчик для вимірювання тиску парогазової суміші на виході регенератора.**

Обраний раніше датчик ОВЕН ПД100И-111 Ехі загальнопромисловий з міжповірочним інтервалом до 5 років за своїми характеристиками може бути застосований для вимірювання тиску парогазової суміші на виході регенератора. Тому, з точки зору мінімізації номенклатури обладнання і застосування, по можливості, однотипних приладів, оберемо для вимірювання тиску парогазової суміші на виході регенератора датчик ОВЕН ПД100И-111.

#### **5.1.2 Вибір датчиків температури**

Вимірювання температури конвертованого газу на вході абсорбера, температури груборегенерованого розчину моноетаноламіну для зрошення нижньої секції абсорбера, температури глибокорегенерованого розчину моноетаноламіну для зрошення верхньої секції абсорбер, температури парогазової суміші на виході регенератора знаходиться в близьких діапазонах, а вимірювання температури у смоловідділячі відрізняється і всі інші умови щодо



вибору датчиків температури однакові, то необхідно визначитися з вибором двох типів датчиків.

**5.1.2.1 Датчик для вимірювання температури конвертованого газу на вході абсорбера, температури груборегенерованого розчину моноетаноламіну для зрошення нижньої секції абсорбера, температури глибокорегенерованого розчину моноетаноламіну для зрошення верхньої секції абсорбера, температури парогазової суміші на виході регенератора**

Термоперетворювачі опору вибухозахищені з вихідним струмовим сигналом ТСМУ 014 [14] 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.

ТО мають:

- вибухобезпечний рівень вибухозахисту;
- вид вибухозахисту «Вибухонепроникна оболонка» по ГОСТ Р 51330.1;
- маркування вибухозахисту IExdIICT4 по ГОСТ Р 51330.0.

ТО можуть застосовуватися у вибухонебезпечних зонах, в яких можливе утворення вибухонебезпечних сумішей категорій ІА, ІВ, ІС 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, %/°С, не більше  $\pm 0,01$ .

Діапазон температури навколишнього середовища в зоні клемної головки, °С 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 (Уфакт.-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[15] у вибухозахищеному виконанні дозволяють виконувати вимірювання температури вибухонебезпечних сумішей газів, парів, а також легкозаймистих і вибухових речовин.

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 ізолюваний.

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 0ExiaIIС Т1 ... Т6.

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

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 [16] призначений для вимірювання температури в галузях нафтогазовидобувної, нафтопереробної, нафтохімічної промисловості та з виробництва мінеральних добрив у вибухонебезпечних зонах усіх класів.

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 для вимірювання температури конвертованого газу на вході абсорбера, температури груборегенованого розчину моноетаноламіну для зрошення нижньої секції абсорбера, температури глибокорегенованого розчину моноетаноламіну для зрошення верхньої секції абсорбера термоперетворювач опору ТСМУ 014.54 у вибухозахищеному виконанні з НСХ 50М, а для вимірювання температури парогазової суміші на виході регенератора ТСМУ 014.55 у вибухозахищеному виконанні з НСХ 100М, 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.

### **5.1.3 Вибір датчиків рівня рідини**

Хімічна промисловість пред'являє високі вимоги до технологічного обладнання, а вимоги, що пред'являються до пристроїв вимірювання рівня, - особливо складні. Виробничі процеси часто включають небезпечні матеріали, які є токсичними, корозійними, легкозаймистими і навіть вибухонебезпечними, з широким діапазоном температур і тиску і змінними характеристиками середовищ, такими як пар, пил, піна, турбулентність і конденсат. Всі ці фактори, найчастіше в поєднанні один з одним, надзвичайно ускладнюють задачу точного і надійного вимірювання рівня[17].

Датчики рівня рідини необхідні для контролю рівня рідин в ємностях або трубопроводах. За функцією датчики рівня діляться на рівнеміри й сигналізатори [18].

Залежно від поставлених завдань підбирається необхідний тип обладнання, рівнеміри або сигналізатори. Однак найчастіше використовуються обидва типи пристроїв, наприклад, для гарантованого запобігання «сухого ходу насоса», переливу рідини через край ємності або для точного дозування рідин, які використовуються в технологічному процесі.

Вибір відповідних датчиків залежить як від параметрів технологічного процесу (робоча температура, тиск та ін.), Так і від фізико-хімічних властивостей самої рідини (в'язкість, електропровідність, агресивність та ін.).

За способом контактування з вимірюваною речовиною датчики поділяються на контактні і безконтактні.

Через особливості хімічної промисловості існує необхідність в самих різних технологіях для задоволення її численних потреб. Протягом багатьох років існував цілий ряд способів вимірювання рівня. Традиційні методи вимірювання рівня включають в себе електромеханічні пристрої, такі як поплавки і ємнісні датчики рівня, магнітні, мембранні рівнеміри і тензометричні датчики[18].

Поряд з традиційними використовуються більш сучасні технології вимірювання рівня рідин.

Механічний або магнітний поплавок.

Поплавковий кабельний датчик (сигналізатор) рівня рідини сьогодні одне з найбільш економічних і надійних рішень контролю та сигналізації граничного рівня різних рідин. Поплавкові датчики рівня діляться на кабельні поплавкові датчики рівня і магнітні (герконові) датчики рівня.

Механічні, магнітні або інші датчики поплавкового типу здійснюють включення або виключення механічного перемикача. Це відбувається при безпосередньому контакті з перемикачем або магнітній дії геркона. Магнітні поплавки використовують постійний магніт запечатаний всередині поплавка, який піднімається або опускається до рівня спрацьовування. Магнітний поплавковий рівнемір конструктивно складається з вимірювального стержня і поплавка. При зміні вертикального положення поплавка уздовж чутливого стержня в результаті підйому або спаду рівня рідини змінюється вихідний опір датчика. Таким чином, вихідний сигнал аналогового рівнеміра прямо пропорційний рівню рідини. Як чутливий елемент в датчиках використовуються чутливі до магнітної дії геркони в герметичних пластикових корпусах. Геркон спрацьовує при наближенні магніту. При досягненні рідиною рівня розміщення датчика, поплавок піднімається разом з рівнем рідини і замикає або розмикає контакти геркона. При зниженні рівня рідини поплавок опуститься і поверне контакти в початковий стан. Механічні поплавки використовують мініатюрний перемикач, в протилежну сторону якого рухається поплавок[19].

Поплавкові датчики рівня можуть бути використані з забрудненими матеріалами. Переваги: їх відрізняє низька вартість, простота, надійність.

Поплавкові датчики рівня можуть бути використані для визначення рівня межі середовищ в системах поділу водонафтових матеріалів, а також в сенсорних багатопараметричних системах.

Ємнісні сигналізатори рівня рідини застосовуються для вимірювання і сигналізації граничного рівня різних видів рідких продуктів. Датчик складається з коаксіального конденсатора. Всі поверхні провідника покриті тонким ізолюючим шаром, щоб запобігти короткому замиканню електричного ланцюга, коли він занурений в резервуар з водою. Оскільки рівень в ємності збільшується то вода заповнює більше простору між датчиком і коаксіальним кабелем. Це призводить до зміни середньої діелектричної проникності між провідниками і тому змінюється електрична ємність датчика. Існує лінійна залежність між рівнем в ємності і електричною ємністю датчика. Крутизна нахилу залежить від рідини. Ємність

залежить від температури таким чином датчик температури також повинен завжди бути присутнім.

Ємнісні датчики використовуються в багатьох галузях промисловості, таких як хімічна, харчова, водоочисна, енергетична.

Оптичний сигналізатор рівня рідини - датчик граничного рівня. Розроблений для заміни поплавкових датчиків там, де присутня вібрація, що не впливає на оптичні датчики рівня рідини, так як немає рухомих деталей і механізмів. Оптичні датчики виявляють зниження або зміну в передачі інфрачервоного світла, випромінюваного діодом і проходять через матеріал.

Оптичні датчики використовують видимий, інфрачервоний або світло лазера для виявлення рівня рідини. Вони покладаються на здатність матеріалу пропускати, відображати і заломлювати світлові промені. Оптичні датчики можуть використовуватися в контактному і безконтактному зондуванні. В безконтактних системах, світло спрямований вниз на поверхні рідини і відбите світло виявляється за допомогою фотоелемента. Різні рідини можуть бути виявлені на різних рівнях, якщо використовується кілька фотоелементів. Ці пристрої мають просту конструкцію і є надійними, що не вимагають перекалібрування між завантаженнями датчиками. Вони можуть бути інтегровані в системи з різними матеріалами і умовами проведення процесу. Їх час відгуку практично миттєве і має високу точність.

В оптичних датчиках рівня рідини для сигналізації граничного рівня індекс заломлення пластмаси і повітря, пластмаси та рідини змінюється у великому діапазоні. Інфрачервоний оптичний промінь повністю відбивається на межі пластмаси і повітря, але повністю проходить через межу пластмаси і рідини. Коли датчик поза рідиною, інфрачервоне випромінювання відбивається призмою назад до приймача. Коли датчик змочений рідиною, тільки частина оптичного інфрачервоного випромінювання відбивається назад до приймача, в той час як більша частина випромінювання, не відбиваючись, йде в рідину. Зміну рівня сигналу відстежує вбудований фотоприймач і відповідно управляє перемиканням вихідного контакту.

Оптичні датчики можуть бути використані для виявлення високого рівня піни або специфічних матеріалів. Вони також можуть бути використані для визначення досягнення матеріалом необхідного ступеня в'язкості, щільності, непрозорості, або умов теплопровідності.

Безконтактні датчики рівня рідини дозволяють працювати з різними рідиною з різним рівнем в'язкості або токсичності[20].

Вібраційний сигналізатор рівня рідини (камертон) - пристрій, що визначає досягнення рівня наповнення/спорожнення ємності рідким продуктом зі зміни амплітуди механічних резонансних коливань чутливого елемента.

Ці датчики використовують різні технології (як правило, п'єзоелектричні) для створення коливань зонда з частотою близько 85 Гц, а потім постійно відстежують зміни в

вібрації. Камертони виявляють демпфірування, при зануренні вібруючого зонда в технологічне середовище. Один п'єзоелектричний кристал змушує зонд вібрувати, в той час як інший виявляє вібрацію. Є три конструкції: геркон, зонд і камертон. Конструкції відрізняються своєю конфігурацією і робочими частотами. Вони можуть бути використані для виявлення деяких типів рідин. Камертони прості, надійні і можуть бути очищені на місці. Вони допускають покриття матеріалом і можуть бути модернізовані для мети самоочищення.

Мікрохвильові (інакше RADAR) датчики використовують електромагнітні хвилі, щоб передати енергію. Ці хвилі проникають в температурні і парові шари і можуть бути використані в вакуумі. Електромагнітна енергія відбивається об'єктами з підвищеними провідними властивостями, такими як метал і провідна рідина. Є два основних способи обробки: 1) вимір коефіцієнта відбиття - це вимір часу проходження сигналу поділений на швидкість проходження. FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave); 2) техніка РЛС безперервного випромінювання з частотною модуляцією використовується в доплеровських системах.

Мікрохвильові датчики випускаються з різними частотами. Зазвичай, чим вище частота, тим точнішим і дорогим є датчик.

Мікрохвильові датчики використовуються у вологих, пароподібні і запилених приміщеннях. Вони також використовуються в системах, в яких є коливання температури.

Звукові або ультразвукові датчики рівня випромінюють високочастотні акустичні хвилі, які відбиваються назад і виявляються перетворювачем. На вихідний сигнал датчика впливає турбулентність, піна, пари, випаровування, а також зміни концентрації. Правильне кріплення датчика є важливою умовою для забезпечення чіткої відповіді на відбитий звук і ємність повинна бути вільна від об'єктів, які будуть спотворювати цей відгук. Вони можуть бути використані для безперервного і точкового зондування рівня, а також в зв'язці з іншими пристроями. Ультразвукові датчики рівня зазвичай не дорогі і багатофункціональні.

Ультразвукові датчики рівня використовуються для безконтактних вимірювань рівня матеріалів з високою в'язкістю, а також сипучих продуктів. Вони використовуються в системах, що вимагають віддаленого, бездротового моніторингу та мережевих комунікацій заводу.

Класифікація рівнемірів за цільовою функцією наведена в табл. 5.2.

Таблиця 5.2\_Класифікація приладів для вимірювання рівня[20]

Категорія рівнеміра	Безперервне вимірювання рівня	Дискретне вимірювання рівня	Щільність	Межа розподілу	Маса
Ручні/механічні					
Поплавковий сигналізатор		+		+	
Поплавковий рівнемір	+				
Стрічкові рівнеміри і системи	+		+	+	

Продовження таблиці 5.2

Категорія рівнеміра	Безперервне вимірювання рівня	Дискретне вимірювання рівня	Щільність	Межа розподілу	Маса
Електромеханічні					
Буйковий рівнемір	+		+	+	
Магнітострикційний рівнемір	+			+	
Серворівнемір	+			+	
Стрічковий резистивний рівнемір	+		+	+	
Ротаційний сигналізатор		+			
Електронні контактні					
Вібраційний сигналізатор (з камертоном)		+			
Гібридна система (датчик тиску і радарний рівнемір)	+		+		+
Ємнісний рівнемір	+	+		+	
Кондуктометричний рівнемір		+			
Оптичний рівнемір		+			
Рівнемір диференційного тиску	+		+	+	+
Тепловий рівнемір		+			
Хвилеводний рівнемір	+			+	
Електронні безконтактні					
Лазерний рівнемір	+				
Тензодатчик	+				+
Ультразвуковий рівнемір	+				
Радарний рівнемір	+				
Радіоізотопний рівнемір	+	+	+	+	

Крім того, мають значення інші умови і вимоги до вибору датчиків рівня.

Діапазон вимірювань.

Діапазон вимірювання є найбільш важливою характеристикою для вивчення при виборі сигналізаторів рівня рідини. Він визначається як діапазон рівня, який здатні вимірювати прилади. Діапазон вимірювання визначається максимальним і мінімальним рівнем матеріалу в ємності. Необхідно також враховувати коливання рівня матеріалу. Якщо обрано правильний діапазон виміру, то кількість даних, втрачених під час перевищення діапазону вимірювання буде менше.

Допустимий вихід за межі діапазону - Специфікація виходу за межі діапазону обмежує діапазон відповідних продуктів в зазначеному діапазоні, помножений на обраний коефіцієнт перевищення діапазону. Це зберігає повернуті збіги, близькі до вимоги діапазону і відфільтровує продукти з більш широким діапазоном, ніж потрібно.



Також однією з важливих характеристик є абсолютна і приведена похибка вимірювання, яка є різною для різних рівнемірів і необхідною умовою для різних процесів.

Технологічні характеристики.

Технологічні умови експлуатації :

- максимальний робочий тиск - максимальний робочий тиск матеріалу, на яке розрахований пристрій;

- діапазон температур матеріалу - максимальна температура матеріалу, для вимірювання рівня яких розрахований пристрій

- питома вага рідини.

Пристрої з регульованими діапазонами вимірювань дозволяють налаштувати діапазон виміру в залежності від матеріалу, ємності і умов навколишнього середовища.

Таблиця 5.3 Робочі межі тиску і температури[20]

Спосіб вимірювання	Тиск*	Температура
Поплавковий	-1 .. 200 бар	-60 .. 400 °С
Буйковий	-1 .. 276 бар	-40.. 482 °С
ємнісний	-1 .. 345 бар	-129 .. 482 °С
Датчик тиску	-1 .. 276 бар	-40 .. 193 °С
Ультразвуковий безконтактний рівнемір	-0,25 .. 3 бар	-30 .. 70 °С
Вібраційний	-1 .. 100 бар	-70 .. 260 °С
Хвилеводний	-1 .. 345 бар	-196 ..400 °С
Безконтактний радар	-0,25 .. 3 бар	-30 .. 70 °С
Радіоізотопний	-1 .. 345 бар	-129 .. 482 °С

\* Повний вакуум = -1 бар; атмосферний тиск = 0 бар.

\*\* Верхня межа температури для ущільнень у вакуумних установках обмежена.

При монтажі всередині приміщення забезпечується досить стабільне навколишнє середовище з мінімальними коливаннями температури і постійною вологістю. Рівнеміри, встановлені на резервуарах поза приміщеннями, в більшій мірі схильні до впливу температури і вологості. До інших зовнішніх факторів, які слід враховувати, відносяться вібрація, електромагнітні перешкоди, і перехідні процеси (імпульсні перешкоди, викликані грозовими розрядами). Блоки захисту від перехідних процесів і надійне заземлення дозволяють організувати достатній захист від перехідних процесів. Рівнеміри одного типу не можуть однаково добре працювати в усіх можливих технологічних процесах.

Для застосування в процесах з агресивними технологічними рідинами можуть знадобитися рівнеміри, що змочуються частини яких виготовлені зі спеціальних матеріалів. В такому випадку потрібно переконатися, чи доступні подібні матеріали у обраного постачальника контрольно-вимірювального обладнання, не виключено, що найкращим вибором буде безконтактний рівнемір.

Особливості технологічного процесу можуть по-різному впливати на рівнеміри різного типу:

- грузлий продукт може забивати чутливі елементи деяких рівнемірів;
- пил, піна і пари можуть заважати поширенню вимірювального сигналу;
- зміна щільності продукту викликає додаткову похибку в роботі датчиків тиску, якщо не застосовується компенсація;
- зміна діелектричної постійної (електрохімічна властивість рідини, зумовлена її здатністю передавати електричний заряд від одного тіла іншому) впливає на роботу ємнісних рівнемірів.
- відкладення продукту можуть вплинути на чутливість рівнемірів контактного типу;

Рівнемір, який добре працює в невеликому резервуарі, може не забезпечити необхідну похибку вимірювань в більшому резервуарі. Наприклад, відносна похибка 0,1% від діапазону вимірювань забезпечує абсолютну похибку рівня  $\pm 1,5$  мм в резервуарі висотою 1,5 м. Цей же рівнемір забезпечує похибку  $\pm 15$  мм в резервуарі висотою 15 м. Для рівнемірів, що реалізують вимір «зверху», наприклад, радарних рівнемірів, вказується або величина абсолютної похибки ( $\pm 3$  мм), або відносна похибка, наведена до вимірюваного відстані. Слід брати до уваги і додаткову похибку, що виникає через вплив інших факторів, зокрема, через вплив температури.

Сертифікація для експлуатації в небезпечних зонах повинна відповідати місцевим вимогам. Для багатьох приладів може виявитися достатнім дотримання стандарту з вибухобезпеки, але для експлуатації на деяких підприємствах або установках може знадобитися сертифікат іскробезпеки або інші види сертифікатів. В інших випадках може знадобитися забезпечити відповідність санітарним вимогам.

Найбільш поширеним вихідним сигналом є безперервний аналоговий сигнал 4...20 мА, не дивлячись на широке розповсюдження промислових цифрових протоколів передачі даних. Крім того, набуває популярності бездротова передача сигналів. У деяких випадках необхідні сигналізатори для оповіщення операторів і реалізації системи протиаварійного захисту.

Більшість приладів працює з живленням 12...24 В постійного струму, хоча зустрічаються прилади, що працюють від мережі змінного струму 110...220 В. Деякі прилади здатні працювати на зниженій напрузі живлення або в бездротових мережах з живленням від батареї.

Ціна рівнеміра має велике значення, але не меншу увагу слід приділяти витратам на монтаж і технічне обслуговування. В цілому, недорогі рівнеміри (як правило, механічні), вимагають більшого обсягу технічного обслуговування. Більш складні електронні прилади часто коштують дорожче, але витрати на їх технічне обслуговування значно нижчі. Первісна вартість деяких типів рівнемірів зменшується у міру збільшення їх технічних можливостей та поширення на ринку засобів вимірювання.

Ще одним фактором вартості є термін служби рівнеміра. Недорогий прилад, який потребує частої заміни, може зажадати набагато більших витрат, ніж дорожчий, але і більш довговічний, надійний і більш відповідний до умов експлуатації, рівнемір. У загальному випадку, рівнеміри з більш високими робочими характеристиками коштують дорожче.

Світовими лідерами у виробництві датчиків рівня рідини є такі компанії: Emerson, Kobold; Endress Hauser, Метран, NIVELCO, Siemens, BD Sensor та інші.

Для вимірювання рівня барботажного шару в абсорбері вибираємо датчик Rosemount 3051L компанії Emerson, який має такі характеристики [21].

Характеристики датчика:

- вимірювані середовища: рідини, у т.ч. агресивні;
- основна приведена похибка:  $\pm 0,075\%$ ;
- перенастроювання діапазонів вимірювань: 100 : 1;
- вихідні сигнали: 4...20 мА з цифровим сигналом на базі HART протоколу;
- діапазон вимірюваних тисків: 0,00062...2,068 МПа;
- вплив вібрації: незначний;
- кліматичне виконання: від -40 до + 80 °С;
- вибухозахищене виконання.

Датчики призначені для вимірювання рівня рідин в закритих і відкритих резервуарах, для виробничих процесів з різними типами фланцевих з'єднань, з можливістю промивання мембран і захистом від парафінових відкладень. Датчики знайшли застосування в усіх галузях промисловості і зарекомендували себе, як надійні і якісні прилади вимірювання гідростатичного тиску (рівня), мають вибухо і іскробезпечне виконання.

Зміна монтажного положення не впливає на діапазон виміру. Відхилення нуля становить для датчиків:

- при вертикальному монтажі датчика 0,249 кПа;
- при горизонтальному монтажі датчика 1,243 кПа.

У будь-якому варіанті зміщення нуля може бути усунене калібруванням.

Вплив вібрації незначний, за винятком резонансних частот. При резонансних частотах вплив вібрації не перевищує  $(0,1P_{max})\%$  на одиницю перевантаження (g) від 10 до 2000 Гц в будь-якому напрямку.

Змочувані деталі моделі 3051L - технологічні з'єднання на фланцях (сторона високого тиску):

- робочі мембрани, включаючи поверхню ущільнюючої прокладки, нержавіюча сталь 316 L, Hastelloy (сплав С-276) або тантал;

- подовжувачі, CF-3М (виливка з нержавіючої сталі 316 L), Hastelloy (сплав С-276), підходить до номенклатури труб сортаменту 40 і 80;

- монтажний фланець: вуглецева сталь з цинково-кобальтовим покриттям або нержавіюча сталь;

Стандартні технологічні з'єднання (сторона низького тиску):

- розділові мембрани: нержавіюча сталь 316 L, Hastelloy (сплав С-276);

- стандартні фланці і перехідники: CF-3М (виливка з нержавіючої сталі 316).

Деталі, що не піддаються впливу робочого середовища (незмочуваних):

- корпус електроніки: алюмінієвий з низьким вмістом міді або CF-3М (виливка з нержавіючої сталі 316), поліуретанове покриття, захист від пилу і вологи IP65, IP66;

- корпус сенсорного модуля Coplanar: CF-3М (виливка з нержавіючої сталі 316).

- болти: вуглецева сталь з покриттям цинк-кобальт; аустенітна нержавіюча сталь 316 L; легована сталь з цинковим покриттям; сплав К-500 (Monel).

Ущільнювальні кільця кришок Buna-N.

Вибухозахищеність Іскробезпечне електричне коло:

- 0ExiallCT5 X (-60°C ≤ Токр. ≤ 40°C);

- 0ExiallCT4 X (-60°C ≤ Точ. ≤ 70°C).

Вхідні параметри:

$U_{вх} = 30 \text{ В}; I_{вх} = 200 \text{ мА}; P_{вх} = 0,9 \text{ Вт}; C_{вх} = 0,012 \text{ мкФ}.$

#### **5.1.4 Вибір датчиків витрати**

##### **5.1.4.1 Датчик для вимірювання витрати насиченого розчину моноетаноламіну з нижнього спуску абсорбера**

Витратоміри Rosemount 3051SFC, 3095MFC[22] на базі діафрагм Rosemount серії 405

Вимірювані середовища: газ, пар, рідини.

Параметри вимірюваного середовища:

- надлишковий тиск в трубопроводі до 10 МПа;

- температура: -40 ... 232 °С (інтегральний монтаж датчика);

-100 ... 454 °С (віддалений монтаж датчика);

- температура навколишнього середовища: -40 ... 85 °С (без РКІ); -51 ... 85 °С (опція);

Ду трубопроводу 15 ... 200 мм (для діафрагми Rosemount 405Р); 50 ... 200 мм (для стабілізуючої діафрагми Rosemount 405С).

Межі вимірювань витрати розраховуються для конкретного техпроцесу в спецпрограмі Rosemount Toolkit.

Вихідні сигнали: 4-20 мА / HART, FOUNDATION fieldbus.

Динамічний діапазон 1: 5, 1: 8, 1: 14 (в залежності від виконання датчика).

Межі основної відносної похибки вимірювань витрати до  $\pm 0,7\%$ .

Наявність вибухонебезпечного виконання: Exia, Exd.

Переваги:

- інтегральна конструкція витратоміра виключає потребу в імпульсних лініях і додаткових пристроях, скорочується кількість потенційних місць витоків середовища;
- мінімальна довжина прямолінійних ділянок трубопроводу 2Du до і 2Du після місця установки витратоміра на базі діафрагми Rosemount 405C (стабілізуючої) значно спрощує монтаж і скорочує витрати;
- багатопараметричний перетворювач 3095MV в складі витратомірів 3095MFC забезпечує обчислення миттєвої масової витрати рідини, пари, газу, об'ємної витрати газу зведеного до стандартних умов.

Витратоміри ЭМИС-МАГ 270[23] призначені для вимірювань об'ємної витрати електропровідних рідин в прямому і зворотному напрямку потоку, в тому числі агресивних рідин, двокомпонентних і забруднених рідин (з включенням твердих частинок або суспензій) з мінімальною питомою електропровідністю  $5 \cdot 10^{-4}$  См/м.

Витратоміри EM-270 можуть використовуватися для технологічного та комерційного в системах автоматичного контролю і управління технологічними процесами в енергетиці, хімічній, паперовій та інших галузях промисловості. Витратоміри можуть використовуватися для вимірювання параметрів зворотного потоку з видачою сигналу напрямку потоку.

Витратоміри призначені для роботи у вибухобезпечних і вибухонебезпечних умовах. Витратоміри вибухонебезпечного виконання ЭМИС-МАГ 270-Ex» мають комбінований вид вибухозахисту:

-вхідний «Вибухонепроникна оболонка» по ГОСТ Р 51330.1;

- вихідний «Іскробезпечне електричне коло» рівня «ia» по ГОСТ Р 51330.10.

Технічні характеристики.

Типорозмір 15 - 3000 мм.

Динамічний діапазон вимірювання витрати 1: 100.

Похибка вимірювання витрати 0,5%.

Робочий тиск вимірюваного середовища до 32 МПа.

Температура вимірюваного середовища від мінус 40 °С до плюс 100 °С.

Мінімальна питома електропровідність вимірюваного середовища  $5 \cdot 10^{-4}$  См/м.

Вихідні сигнали імпульсний; частотний; аналоговий струмовий 4-20 мА; цифровий сигнал стандарту ModbusRTU; цифровий сигнал стандарту HART.

Напруга живлення 24 В постійного струму; 220 В змінного струму.

Вибухозахист ExiaIIС (Т3-Т4) X – первинний перетворювач; 1Exd [Ia] IICT4X – електронний перетворювач.

Атмосферний тиск від 84,0 до 106,7 кПа.

Температура навколишнього середовища від мінус 40°C до плюс 75 °С (первинний перетворювач); від мінус 40°C до плюс 50 °С (електронний перетворювач).

Відносна вологість довкілля, не більше до 90% (без конденсації вологи, при температурі 35 °С).

Стійкість до впливу зовнішнього магнітного поля до 400 А/м, 55 Гц.

Стійкість до вібрації виконання V3 по ГОСТ Р 52931 (амплітуда зміщення 0,35 мм, амплітуда прискорення 49 м/с<sup>2</sup>).

Захист від пилу і вологи IP65.

Інтервал між перевірками 4 роки.

Термін служби не менше 15 років.

Витратомір оснащується матричних рідкокристалічним індикатором, має три рядки.

Кількість знакоміць -14 в одному рядку.

Індикатор відображає такі дані:

- миттєву об'ємну витрату, л/год. або м<sup>3</sup>/год.;
- накопичений об'єм в прямому напрямку, л або м<sup>3</sup>;
- накопичений обсяг в зворотному напрямку, л або м<sup>3</sup>;
- різниця накопичених обсягів в прямому і зворотному напрямках, л або м<sup>3</sup>;
- напрямок потоку;
- орієнтовна швидкість потоку;
- діагностичні повідомлення.

Вихровий витратомір KOBOLD DVH[24] призначений для вимірювання витрати рідин і газів в технологічних процесах.

Діапазон вимірів:

рідини 0,2 - 5 ... 32 - 970 м<sup>3</sup>/год.;

Газ 3 28 ... 549 - 9034 м<sup>3</sup>/год. (20 °С, 0 бар рел);

пари 3 - 18 ... 500 - 5797 кг / год (0 бар рел).

Точність:

рідини ± 0,7% від вимір. Величини;

газ / пар  $\pm 1\%$  від вимір. Величини.

Макс. тиск: PN 16, 40, 100.

Макс. температура: 260 °C (400 ° C).

Приєднання: ANSI ½ ... 8", фланець DN15 ... DN200, міжфланець.

Матеріал: нерж. сталь, хастелой.

1 (3) аналогові виходи, 1 (3) контакти, цифровий дисплей.

Вибухозахищеність II 2G Ex d IIB + H2 T6 GbII 2 D, Ex tb IIB T85°C Db.

Опція: Датчик температури/тиску.

Розглянувши характеристики наведених датчиків, оберемо для вимірювання витрати насиченого розчину моноетаноламіну витратомір Rosemount 3095MFC у вибухозахищеному виконанні оскільки параметри всіх наведених датчиків задовольняють вимоги до вимірювання параметру процесу. При цьому діапазон вимірювання цього витратоміра налаштовується програмно, тому він може бути застосований для вимірювання витрати насиченого розчину моноетаноламіну на нижньому спуску з абсорбера, а також і для вимірювання витрати насиченого розчину моноетаноламіну в інших точках технологічного процесу: подачі на верхню тарілку регенератора, подачі в середню частину регенератора і подачі в нижню частину регенератора, що забезпечить спрощення гуртового обслуговування в процесі експлуатації. До того ж бренд Rosemount Emerson має розгалужену мережу представництв виробника в Україні.

### **5.1.5 Вибір датчиків концентрації водню і чадного газу**

Прилади контролю концентрації оксиду вуглецю, які можуть бути застосовані при автоматизації даного виробництва такі:

- сигналізатор горючих та токсичних газів СТГ-1;
- стаціонарний газоаналізатор Дозор-С 1,
- стаціонарний газосигналізатор ЩИТ.

Сигналізатор горючих та токсичних газів СТГ-1[25] призначений для видачі сигналізації про перевищення встановлених ГДК і ДВК встановлених порогових значень оксиду вуглецю і довибухонебезпечної концентрації горючих газів (метану або пропан-бутанової суміші) у повітрі, перекриття газопроводу швидкодіючим електромагнітним клапаном.

Основні технічні характеристики.

Кількість датчиків:

- по горючому газу (виносні) 1(2);

- по оксиду вуглецю (вбудований) 1 постійний.

Стандартна установка порогів (установлюється споживачем):

- по горючому газу, % НКМП (по метану)  $10 \pm 5$  або  $20 \pm 5$ ;

- поріг 1/поріг 2 по оксиду вуглецю (CO), мг/м<sup>3</sup>  $20 \pm 5$  або  $100 \pm 25$ .

Спрацювання «сухих контактів» реле при досягненні порогових концентрацій:

- поріг 1 (по CO) одна група 30 В; 2,5 А;

- поріг 2 (по CO) одна група 220 В; 5 А;

- аварія (по горючих газах) одна група 220 В; 5 А.

Час спрацювання сигналізації, сек.:

- по горючому газу 15, звукова загальна;

- по оксиду вуглецю (CO) 45, світлова роздільна.

Температура навколишнього середовища, °С від -10 до +50.

Захист корпусу сигналізатора IP 30.

Довжина кабелю зв'язку між сигналізатором і датчиком по горючому газу до 200 м.

Напруга живлення від 150 до 253 В, частота  $50 \pm 1$  Гц.

Сигналізатор-аналізатор газів "Дозор-С"[26] стаціонарний призначений для:

- безперервного і автоматичного контролю різних газів в повітрі приміщень і відкритих просторах;

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

- перетворення виміряного значення концентрації (обсягу) речовини в вихідний сигнал постійного струму (для сигналізаторів, що мають струмовий вихідний сигнал);

- перетворення виміряного значення концентрації (обсягу) речовини та стану порогових пристроїв у вихідний цифровий сигнал інтерфейсу RS 232 або RS 485 (для сигналізаторів, що мають вихідний цифровий сигнал);

- видачі сигналу для блокування зовнішніх електроланцюгів при відключенні живлення сигналізатора.

Стаціонарні газоаналізатори Дозор-С виготовляються і продаються в комплекті разом з датчиками для визначення горючих або шкідливих газів: аміаку, пропан-бутану, метану, водню, кисню, вуглекислого газу, чадного газу (окису вуглецю), хлору, оксиду і діоксиду азоту, сірководню, парів спиртів, парів нафтопродуктів, розчинників, оксиду сірки та інші. Також можливе підключення датчиків тиску, температури і вимірювання рівня рідини.

Залежно від кількості каналів виміру газоаналізатори Дозор-С, що встановлюються стаціонарно, комплектуються датчиками кількістю від 1-го до 5-ти штук. Причому у вартість



газоаналізатора з певною кількістю каналів вимірювань вже включено відповідну кількість датчиків.

Комбінація датчиків газоаналізатора "Дозор-С".

Газоаналізатор Дозор-С, з кількістю вимірювальних каналів більше 1, можливо комбінувати в комплекті з іншими датчиками "Дозор":

- довибухонебезпечних концентрацій горючих газів і парів горючих рідин (метан, пропан, бутан, нефрас, бензин, пари нафтопродуктів, ефіри, розчинники, чадний газ, водень та інші);

- гранично-допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих газів, а також їх різних комбінацій (оксиду вуглецю, діоксиду вуглецю, вуглекислого газу, аміаку, діоксиду азоту, хлору, сірководню, елегазу;

датчиками граничного рівня рідини;

датчиками температури;

датчиками тиску.

У цих газоаналізаторах організована можливість управління зовнішніми пристроями (клапанами, світлозвуковим табло і ін.) При спрацьовуванні вихідних сигналів "Поріг 1", "Поріг 2" або "Відмова".

Підтримувані гази: горючі гази: метан, пропан-бутан, гексан (пари бензину, спирти), окис вуглецю, водень, аміак, сірководень; шкідливі гази: вуглекислий газ, хлор, оксид азоту, діоксид азоту, сірчистий газ, елегаз (гексафторид сірки).

Лінія прилад/датчик: до 1200м

Технічні характеристики газоаналізатора "Дозор-С".

Кількість вимірювальних каналів від 1 до 5.

Ступінь захисту корпусу БЖС по ГОСТ 14254.1.1.2 IP 65.

Рівень звукового тиску сигналізатора на відстані 1 м від сигналізатора не менше 65 дБ.

Середнє напрацювання на відмову сигналізатора не менше 35000 год.

Критерій відмови сигнал "ВІДМОВА".

Повний середній термін служби сигналізатора не менше 12 років.

Діапазон робочих температур від -40 до +50 °С.

Живлення:

- Основне ~ 220 В; ± 220В; ± 24В;

- Резервне ± 24В, ~ 220В, ± 12В.

Вихідні сигнали:

- управління виконавчими пристроями - "сухий" контакт реле 2 А, 220 В;

- струмовий вихід 0...5, або 4...20 мА;

- цифровий вихід RS 232 або RS 485.

Лінія зв'язку БЖС-ВП 3-х-дротова, заводозахищеність до 1200 м.

Стационарний газосигналізатор ЩИТ[27] призначений для автоматичного безперервного контролю концентрації горючих газів і парів та їх сукупності, токсичних газів і кисню в повітрі робочої зони. Газосигналізатори ЩИТ складаються з блоку БЖС (блок живлення і сигналізації) і датчиків і комплектуються залежно від замовлення.

Ці прилади дозволені до застосування у вибухонебезпечних зонах приміщень Державною службою гірничого нагляду та промислової безпеки України. Всі виробы, що серійно випускаються, внесені до державного реєстру України, мають сертифікати відповідності затвердженому типу та свідоцтва про вибухозахищеність, декларації відповідності вимогам технічних регламентів.

Стационарний промисловий сигналізатор ЩИТ-2 забезпечує контроль більш 150 речовин в широкому діапазоні температур, має два порога спрацювання, світлову сигналізацію, «сухі контакти» реле для комутації зовнішніх електричних ланцюгів, цифровий інтерфейс RS-485.

Сигналізатор ЩИТ-3-1-16 застосовується на різних об'єктах хімічної, нафтохімічної та інших галузей промисловості в технологічному обладнанні (сушильні камери, термошафи та ін.) Лакофарбового і інших виробництв при температурі повітряного середовища до 200 °С.

Сигналізатори багатофункціональні ЩИТ-3 призначені для автоматичного безперервного контролю вмісту горючих газів і парів та їх сукупності, токсичних газів і кисню в повітрі робочої зони, контролю рівня води, видачі світлової та звукової сигналізації про перевищення встановлених рівнів вмісту вимірюваних компонентів і комутації зовнішніх електричних ланцюгів постійного і змінного струму.

Газосигналізатори ЩИТ-3-6, ЩИТ-3-12, ЩИТ-3-18, ЩИТ-3-24 призначені для автоматичного безперервного контролю вмісту метану і (або) сукупності пропану, бутану, газів вуглеводневих скраплених паливних, а також об'ємної частки окису вуглецю в повітрі робочої зони, видачі світлової та звукової сигналізації про перевищення значень довибухонебезпечних концентрацій.

Технічні характеристики датчиків сигналізатора ЩИТ-3[27].

Сигналізатори ЩИТ-3 є стационарними приладами, що складаються з вимірювальних перетворювачів (датчиків) і блоків живлення і сигналізації (БЖС).

Сигналізатори ЩИТ-3 можуть мати від одного до чотирьох каналів довільної конфігурації і комплектуються датчиками в довільному наборі в залежності від замовлення.

Блоки БЖС мають наступні виконання:

- БЖС -152 – одноканальний;
- БЖС -153 – двоканальний;

- БЖС -154 – трьохканальний;
- БЖС -155 – двоканальний.

Канали довільно комбінуються з числа таких:

- канал вимірювання довибухонебезпечних концентрацій метану і сукупності горючих газів і парів (далі - канал вимірювання  $\text{CH}_4$ ) з датчиком ДТХ-152-1;
- канал вимірювання довибухонебезпечних концентрацій бутану і сукупності горючих газів і парів (далі - канал вимірювання  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ) з датчиком ДТХ-152-2;
- канал вимірювання довибухонебезпечних концентрацій водню (далі - канал вимірювання  $\text{H}_2$ ) з датчиком ДТХ-152-3;
- канал вимірювання довибухонебезпечних концентрацій парів етилового спирту (далі - канал вимірювання  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) з датчиком ДТХ-152-4;
- канал вимірювання довибухонебезпечних концентрацій гексана і сукупності горючих газів і парів (далі - канал вимірювання  $\text{C}_6\text{H}_{14}$ ) з датчиком ДТХ-153;
- канал вимірювання об'ємної частки кисню (далі - канал вимірювання  $\text{O}_2$ ) з датчиком ДЕХ-1;
- канал вимірювання масової концентрації сірководню (далі - канал вимірювання  $\text{H}_2\text{S}$ ) - з датчиком ДЕХ-2;
- канал вимірювання масової концентрації оксиду вуглецю (далі - канал вимірювання  $\text{CO}$ ) з датчиком ДЕХ-3;
- канал вимірювання об'ємної частки двоокису вуглецю (далі - канал вимірювання  $\text{CO}_2$ ) з датчиком ДЕХ-4
- канал вимірювання масової концентрації аміаку (далі -  $\text{NH}_3$ ) з датчиками ДЕХ-5 і ДЕХ-6
- канал контролю рівня води з датчиком ДВЕ-1.

Канал контролю рівня води видає інформацію про наявність чи відсутність води на рівні, визначеному місцем установки датчика ДВЕ-1, що має дві пари контактів, розташованих по висоті на відстані 250 мм один від одного.

Датчики являють собою інтелектуальні вимірювальні перетворювачі з уніфікованим струмовим виходом 4...20 мА.

Датчики ДТХ-152-1, ДТХ-152-2, ДТХ-152-3, ДТХ-152-4, ДТХ-153, ДЕХ-1, ДЕХ-2, ДЕХ-3, ДЕХ-4, ДЕХ-5, ДЕХ-6, ДВЕ-1 можуть встановлюватися у вибухонебезпечних зонах.

Сигналізатори ЩИТ-3 мають по два пороги спрацювання сигналізації в кожному каналі.

При спрацюванні порогових пристроїв сигналізатори ЩИТ-3 забезпечують:

- видачу світлової та звукової сигналізації;

- комутацію зовнішніх електричних ланцюгів постійного струму з напругою до 30 В і змінного струму з напругою до 242 В;

- видачу імпульсів для спрацювання електромагнітних імпульсних клапанів.

Технічні характеристики.

Датчик ДТХ-152-3:

- діапазон вимірювань від 0 до 50% НКМП;

- пороги спрацювання 20 і 40% НКМП;

- час установлення показань не більше 20 с;

- час прогріву не більше 5 хв.

Датчик ДЕХ-3:

- діапазон вимірювань від 0 до 100 мг/м<sup>3</sup>;

- пороги спрацювання 20 і 50 мг/м<sup>3</sup>;

- час установлення показань не більше 50 с;

- час прогріву не більше 30 хв.

Основне електроживлення від мережі змінного струму напругою від 187 до 242 В, частотою (50 + 1) Гц.

Резервне електроживлення від зовнішнього джерела постійного струму напругою від 10,8 до 13,2 В.

Споживана потужність (для чотириканального виконання). - не більше 25 ВА.

Середнє напрацювання на відмову - не менше 30000 год.

Повний середній термін служби - не менше 10 років.

Розглянувши характеристики наведених приладів контролю концентрації газів, оберемо для вимірювання ГДК чадного газу стаціонарний промисловий сигналізатор ЩИТ-3 вибухозахищеному виконанні ЕхібПС, який сертифікований в Україні для використання, має необхідні технічні характеристики.

Можливість комбінувати декілька датчиків (до 5) в одному приладі дозволяє використати стаціонарний промисловий сигналізатор ЩИТ-3 для вимірювання НКМР водню. Це здешевить затрати на створення і експлуатацію системи.

Враховуючи наявність релейних виходів, можна не тільки сигналізувати про досягнення шкідливих або довибухових концентрацій газів в повітрі робочої зони, а й вмикати обладнання для попередження аварійних ситуацій.

## 5.2 Вибір регулюючих органів

5.2.1 Канал контролю і управління температурою груборегенованого розчину моноетаноламіну для зрошення нижньої секції абсорбера.

Оскільки технологічний процес має пожежовибухонебезпечний характер будемо використовувати вибухозахищені виконавчі механізми з метою зменшення ймовірності виникнення аварійної ситуації.

Управління температурою (охолодження) груборегенованого розчину моноетаноламіну для зрошення нижньої секції абсорбера здійснюється за допомогою теплообмінника типу повітря/рідина. Вентилятор, який продуває охолоджуюче повітря через теплообмінник обертається за допомогою двигуна, який вмикається/вимикається за допомогою вибухозахищеного магнітного пускача. Для цього застосуємо ССFE-1-ПУСК-D-xxT-3FECA1[28] -пускач вибухозахищений з тепловим реле, дистанційне керування, 3 кабельних вводи FECA1, діаметр кабелю , що обжимається 9-17мм.

Вибухозахищений пускач типу ССFE-X-ПУСК призначений для місцевого та/або дистанційного керування електродвигуном в мережах змінного струму електроустановок хімічної, газової, нафтової та інших галузей промисловості, в місцях з потенційно вибуховою атмосферою.

Для прямого вводу кабелів або дротів в Exd оболонку пускача застосовуються спеціально розроблені Exd вводи для прямого введення серії FEC, FECA, FETF, FETM, FETG і з компаундуванням серії FEC-CP. Згідно обов'язковим вимогам характеристика відображена в сертифікаті. Це дозволяє відмовитися від ввідної комутаційної коробки.

Вихідний струм комутації залежить від двигуна вентилятора.

5.2.2 Канал контролю і управління температурою глибокорегенованого розчину моноетаноламіну для зрошення верхньої секції абсорбера.

Управління температурою (охолодження) глибокорегенованого розчину моноетаноламіну для зрошення верхньої секції абсорбера здійснюється аналогічно каналу управління температурою груборегенованого розчину моноетаноламіну для зрошення нижньої секції абсорбера. Тому для цього також застосуємо ССFE-1-ПУСК-D-xxT-3FECA1 - пускач вибухозахищений з тепловим реле, дистанційне керування, 3-и кабельних вводи FECA1, діаметр кабелю , що обжимаються 9-17мм.

5.2.3 Канал контролю і управління витратою насиченого розчину моноетаноламіну з нижнього спуску абсорбера.

Випадкове займання атмосфери, що містить велику кількість вибухонебезпечного газу, пари, туман і/або пилу може призвести до вибуху. Для виключення таких ситуацій було

прийнято заходи, за результатами яких повинні бути виключені матеріальні збитки і втрата людських життів під час виробництва.. Дані вимоги в основному застосовуються для хімічної і нафтохімічної промисловості, де в результаті виробництва, переробки, транспортування та зберігання горючих продуктів може статися вибух. Вони так само охоплюють установки, де присутній горючий пил, який утворюється при обробці подрібненого зерна і продуктів подрібнення або просіювання.

Для управління витратою застосуємо на трубопроводі потоку насиченого розчину моноетаноламіну з нижнього спуску абсорбера регулюючий клапан із вибухозахищеним приводом.

Для цього можуть бути використані вибухозахищені регулюючі клапани з пневмоприводом і позиціонером, із вибухозахищеним електроприводом (однооборотним і багатооборотним) і вибухозахищеним електромагнітним (соленоїдним і електрогідравлічним) приводом.

Для потенційно небезпечної атмосфери, а в подальшому і вибуху необхідно постійна присутність 3-х чинників:

- вміст кисню в навколишньому середовищі;
- легкозаймисті речовини (газ, пил, пар);
- джерело запалювання: електрообладнання, установки, будь-яке джерело тепла.
- Слід пам'ятати, що відкрите полум'я або іскра не є єдиними джерелами займання навколишнього середовища. Збільшення температури поверхні електрообладнання так само може привести до вибуху, якщо вона перевищує температуру займання навколишнього газу або суміші речовин.

Пневматичні багатопружинні приводи ECOTROL® серії 812 [29] мають високу міцність і вбудований вибухозахист. Надійність ущільнення забезпечується коротким часом повного ходу клапана і оптимальним зусиллям.

Вибір і експлуатація клапанів з пневмоприводом залежить від таких параметрів:

- максимальний перепад тиску ( $\Delta P$ ) в клапані при закритому положенні;
- мінімальна керуючий тиск, необхідний для роботи клапана;
- відсутність можливості використовувати клапан з електроприводом;
- абразивне, корозійно-активне середовище, з високою в'язкістю.

Регулюючі клапани ECOTROL® можуть комплектуватися також електричними і електрогідравлічними приводом.

Застосування клапанів з гідропневмоприводом можливе в умовах з абразивними середовищами, підвищеною в'язкістю робочого середовища, речовинами, які можуть викликати корозію всередині електромагнітних і інших клапанів.

Електромагнітні клапани є найбільш використовуваними елементами для управління рідинами. Їх завданням є відключення, впуск/випуск, дозування, розподіл або змішування рідин. Вони зустрічаються у всіх областях промисловості. Електромагнітний клапан передбачає швидке і безпечно перемикання, високу надійність, тривалий термін служби, низьке енергоспоживання, зручне управління і компактний дизайн.

Обертаючий електропривод Bürkert, тип 3004 [30,31] являє собою компактну, потужну та вибухонебезпечну сервопривідну систему, що має тривалий термін служби. Матеріали і компоненти приводу дозволяють працювати без техобслуговування і сприяють низьким тепловим навантаженням. Модульна конструкція дозволяє реалізувати численні опції, в тому числі додаткові кінцеві вимикачі, потенціометри, варіант аварійного живлення, які можуть бути використані для розширення базового пристрою. У приводах можуть бути запрограмовані як вхідні (наприклад, 4-20 мА, 0-20 мА, 0-10 В), так і вихідні сигнали. У стандартний комплект обладнання входять нагрівальний резистор і обмежувач крутного моменту. Корпус виготовлений з вогнетривкого матеріалу за класифікацією UL 94 V0.

Особливості:

- установка безпосередньо на кульовий або поворотний клапан;
- аварійне ручне управління в стандартному виконанні;
- налаштовуються кінцеві вимикачі;
- може працювати при різній напрузі.

Вибухозахищений лінійний електропривід SCHISCHEK ExRun[32] призначений для установки на двоходові і триходові регулюючі клапани.. Область застосування: хімічне виробництво, електропостачання, опалення та теплопостачання, видобуток газу, водопостачання, пожежогасіння, кондиціонування та вентиляція, газопостачання, автоматизація та електрообладнання, харчова промисловість, металургійна промисловість, хімічна промисловість, нафтовидобувна і нафтопереробна промисловості, енергетична промисловість, нафтогазова промисловість.

- Бренд: Schischek.
- Виробник: Schischek GmbH.
- Серія: ExRun.

Технічні характеристики.

- Тип електроприводу лінійний.
- Напруга номінальне, В ~ 220/-24.
- Ступінь захисту IP IP66.
- Матеріал корпусу алюміній.
- Мінімальна температура навколишнього середовища, °С -20.

Вибухозахищеність приводів типів ExRun забезпечується видами вибухозахисту: вибухонепроникна оболонка по ГОСТ Р 30852.1-2002 (МЕК 60079- 1-98), іскробезпечне електричне коло і по ГОСТ Р 30852.10-2002 (МЕК 60079-11-99), захистом виду «е» по ГОСТ Р 30852.8-2002 і виконанням конструкції відповідно до вимог ГОСТ Р 30852.0-2002 (МЕК 60079-0-98).

Електропривід REGADA ST1-Ex, регулюючий, прямоходовий, вибухозахищений [33]. Є виконавчим механізмом управління запірними і запірно-регулюючими клапанами і забезпечують повне позиційне керування даними видами арматури в усьому діапазоні своїх параметрів. Привід оснащений ручним дублером, механічним покажчиком положення, кінцевими вимикачами і муфтою обмеження крутного моменту. Електропривід розрахований на роботу в повторно-короткочасному режимі S4 - 25% (в запірному режимі 6-90 циклів/год.; в регулюючому режимі 90-1200 циклів/год.).

Технічні характеристики.

Виконання: прямоходовий, який регулює, вибухозахищений.

Температура навколишнього середовища: -25 ... + 55 °С. За запитом -50 ... + 40 °С.

Напруга живлення: АС 220В.

Робочий хід штока: 10-50 мм (залежить від моделі приводу і умовного діаметра клапана DN).

Час робочого ходу: 15-188 сек (залежить від моделі приводу і умовного діаметра клапана DN).

Клас захисту: IP54.

Вибухозахищений клапан Schubert Salzer[34] з електроприводом серії 8037 підходить для управління вибухонебезпечними середовищами.

Номинальний розмір 1/2 "- 10".

Номинальний тиск PN 1,6 - 10,0 МПа.

Температура середовища Корпус з вуглецевої сталі -10 °С ... + 300 °С.

Корпус з нержавіючої сталі -60 °С ... + 350 °С.

Технічні характеристики приводу.

Живлення 24 ... 230 V АС/DC.

Зворотній зв'язок 4 - 20 mA або 0 - 10 V.

Вибухозахист (газ) II 2G Ex de [ia] IIC T6 / T5.

Захист від вибуху (пил) II 2D Ex tD [iaD] A21 IP66 T80 °С.

Клас захисту IP 66.

Температура навколишнього середовища -20 ... + 40 °С при T6/ -20 ... + 50 °С при T5.

Режим роботи S3/50% ED (Макс. 600 перемикань циклу/год.).



Гістерезис  $\pm 1,5\%$ .

При наявності надійних електричних і електромагнітних вибухозахищених приводів використання пневмоприводів з позиціонерами не має сенсу, оскільки вибухобезпека забезпечується указаними приводами і немає необхідності монтувати і підтримувати систему забезпечення «КВП-повітрям».

Для регулювання витрати насиченого розчину моноетаноламіну застосуємо вибухозахищений обертаючий електропривід Bürkert, тип 3004 з вибухозахищеним регулюючим клапаном, як одного з лідерів в цьому сегменті продукції.

4.2.4 Канали контролю і управління витратою насиченого розчину моноетаноламіну на верхню тарілку регенератора, на середню частину регенератора, на нижню частину регенератора, каналу контролю і управління рівнем барботажного шару в адсорбері є ідентичними відносно виконавчих механізмів і виконавчих органів за будовою і умовами; відрізняються лише чисельними значеннями витрати. Ці значення є досить близькими. Тому для регулювання застосуємо такий же вибухозахищений обертаючий електропривід Bürkert, тип 3004 з вибухозахищеним регулюючим клапаном, що дозволить зменшити фінансові затрати на придбання і експлуатацію цих приладів.

5.2.5 Канал контролю і управління температурою в смоловідділячі.

Оскільки температуру у смоловідділячі будемо регулювати шляхом зміни пропускної спроможності трубопроводу за допомогою регулюючого клапана на трубопроводі пари, то, зважаючи на умови функціонування, в цьому каналі можна також застосувати вибухозахищений обертаючий електропривід Bürkert, тип 3004 з регулюючим клапаном загальнопромислового виконання.

5.2.6 Канал контролю, сигналізації і управління концентрацією водню у повітрі робочої зони.

Концентрація не повинна перебільшувати допустимого значення НКМП. Для цього необхідно збільшити повітрообмін в робочій зоні виробництва за рахунок вмикання додаткової (аварійної) вентиляції. Вентилятор, який видуває повітря з робочої зони виробництва може бути розміщений поза вибухонебезпечною зоною, тому до магнітного пускача, який вмикає/вимикає двигун вентилятора, немає необхідності пред'являти вимоги підвищеної вибухозахищеності.. Тому для вмикання/вимикання і захисту цього двигуна застосуємо пускач типу ПМА - X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7 [35] - нереверсивний, закритий, з тепловим реле, дистанційне керування, з електричним блокуванням, захист IP54.

Буквенно-цифрові позначення типу пускача.

X1 - цифра, що позначає виконання пускача по номінальному струму:

0 - 6,3 А;

3 - 40 А;

4 - 63 А;

5 - 100 А;

6 - 160 А.

X2 - цифра, яка вказує виконання пускача за призначенням і наявності теплового реле:

1 - без реле, нереверсивні;

2 - з реле, нереверсивні;

3 - без реле, реверсивні з електричним блокуванням;

4 - з реле, реверсивні з електричним блокуванням;

5 - без реле, реверсивні з електричним і механічним блокуваннями;

6 - з реле, реверсивні з електричним і механічним блокуваннями.

X3 - цифра, що позначає виконання пускача за ступенем захисту по ГОСТ 14254-80:

0 - IP00;

1 - IP40;

2 - IP54.

X4 - цифра, яка вказує виконання пускача по роду струму ланцюга управління, напрузі головного ланцюга:

0 - змінний, 380 В;

1 - постійний, 380 В;

2 - змінний, 660 В;

3 - постійний, 660В.

X5 - букви, що позначають кліматичне виконання по ГОСТ 15150-69.

X6 - цифра, що позначає категорію розміщення по ГОСТ 15150-69.

X7 - буква, що позначає клас зносостійкості пускача: А, Б або В, дистанційне керування.

Виконання пускача по номінальному струму, по роду струму ланцюга управління, напрузі головного ланцюга, кліматичне виконання, категорія розміщення, клас зносостійкості пускача визначаються виходячи із типу і потужності двигуна, режиму роботи вентилятора, кліматичної зони.

### **5.3 вибір сигналізуючих пристроїв**

5.3.1 Канал контролю, сигналізації і управління концентрацією чадного газу у повітрі робочої зони.

Для світлової і звукової сигналізації, сповіщення персоналу необхідно вибрати відповідний пристрій. Він повинен розміщуватися в робочій зоні виробництва, тому для нього також актуальною є вимога вибухозахищеного виконання.

На ринку України пропонують декілька таких пристроїв.

Вибухозахищений світлозвуковий оповіщувач EV-4050-hooter [36] є вибухобезпечним комбінованим пристроєм, що включає в себе функції звукового та світлового сигналізатора. П'єзосирена забезпечує стійкий гучний сигнал, а сигнальний маяк - синхронізований світловий сигнал. Пристрій дозволяє підключення до мережі для одночасної роботи сирени і маяка, а також окреме підключення для незалежної роботи. Комбіновані пристрої призначені для установки у вибухонебезпечних зонах промислових підприємств і будівельних об'єктів з присутністю в атмосфері горючих газів і пилу. При замовленні можна вибрати один з 5 варіантів сигналів сирени (тип п'єзоелемента M-Q2). Варіанти звукового сигналу за погодженням із замовником. Максимальний рівень звукового тиску 102 дБ. Ксенонова лампа маяка має енергію імпульсу 0,5 Дж. Обмежена потужність не завдає шкоди органам слуху і зору при роботі в безпосередній близькості від EV-4050-hooter. Пристрій призначений для установки в зоні роботи обслуговуючого персоналу.

Оповіщувачі пожежні світлозвукові вибухозахищені ФІЛІН-1 і ФІЛІН-2 [37] відповідають ТУ 4371-129-12150638-2006 і призначені для безперервної цілодобової роботи (забезпечення можливості видачі світлових та звукових сигналів тривожної сигналізації) в системах пожежної сигналізації та пожежогасіння при спільній роботі з приймально-контрольними пристроями. Оповіщувачі можуть бути застосовані у вибухонебезпечних зонах 1 і 2 класів по ГОСТ Р 51330.9-99 і ГОСТ Р 51330.13-99. Вид і рівень вибухозахисту 1ExsdПВТ6 Х.

Пристрій візуального сигналу Ex-Proof Strobe Beacon dHF [38] з потужною ксеноною трубкою для використання в вибухонебезпечній зоні 1 і 2:

- модульна система - синтетичний корпус із армованого скловолокном поліестеру темно-сірий RAL 7024, мала вага та міцна та нержавіюча конструкція;
- вогнезахисна камера „d“ - камера підключення клем в клас захисту підвищена безпека „e“;
- для безперервної роботи;
- моделі з енергією стробоскопа 5 або 15 Дж;
- 4 кольори лінз, лінза полікарбонат (макролон), колір лінзи бурштиновий, червоний, синій, зелений (внутрішня лінза);
- робота безперервна;
- клас ізоляції II - не потрібне зрівнювання потенціалу.

Схвалення РТВ 03 АТЕХ 1098.

Пристрій візуального сигналу Ex-Proof Strobe Beacon dSF:

- корпус, кольоровий алюміній, з поверхневим покриттям або з порошковим покриттям (жовтий / синій);

- лінзове зміцнене боросилікатне скло, колір лінзи бурштиновий, червоний, прозорий, синій, зелений;

- робота безперервна;

- клас ізоляції I - еквіпотенціальне зчеплення: гвинтове з'єднання із захисним дротом.

Схвалення РТВ 03 АТЕХ 1230.

Типове застосування в хімічній / нафтохімічній промисловості, нафтопереробні заводи, суднова / авіаційна промисловість, склади боєприпасів, вилкові підйомники тощо; компактні розміри - також підходить для вбудовування (видно лише лінзу).

Оповіщувач звуковий електродинамічний вибухозащищений АВРАЛ -1В-Вн [39] відповідає ТУ 4371-133-12150638-2006.

Несуча частота звукового сигналу оповіщувача (звуковий сигнал, промодульований по частоті) знаходиться в діапазоні частот від 1200 до 2000 Гц.

Максимальне значення рівня звукового передавання  $s$  (звукового сигналу, промодульованого за амплітудою) за окружністю на відстані  $(1,00 \pm 0,05)$  м від його осі при номінальній напрузі електроживлення становить не менше 105дБ.

Діаграма направленості сирен - кругова.

Оповіщувач поставляються з перервним (1) або постійним (2) звучанням.

Оповіщувач працює від джерела постійного або - змінного струму напругою 24 і 220 В, схема підключення - двопровідна.

Час роботи в режимі подачі тривожної сигналізації - не більше 10 хвилин.

Вид и уровень вибухозахисту- 1ExdIICT6 по ГОСТ Р 51330.1-99.

Ступінь захисту звукогенеруючої частини оболонок оповіщувача (крильчатка, резонатор) - IP 2X, оболонки захищаючого електродвигуна та схема управління IP 54 за ГОСТ 14254-96.

Споживана потужність  $50 \div 200$  ВА.

Із розглянутих пристроїв найбільш підходить до застосування в указаних умовах вибухозащищений світлозвуковий оповіщувач EV-4050-hooter, який є комбінованим звукова і світлова сигналізація), може бути розміщений в робочій зоні, має достатній клас захисту.

## 5.4 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. 5.4.

Таблиця 5.4\_ Вхідні сигнали управляючої системи

№ п.п.	Параметр управління	Сигнал	Величина
1	Тиск	Аналоговий	0...20 мА
2	Температура	Аналоговий	0...20 мА
3	Рівень	Аналоговий	4...20 мА/HART
4	Температура	Аналоговий	0...20 мА
5	Температура	Аналоговий	0...20 мА
6	Витрата	Аналоговий/Дискретний	4...20 мА/HART, FOUNDATION fieldbus
7	Витрата	Аналоговий/Дискретний	4...20 мА/HART, FOUNDATION fieldbus
8	Витрата	Аналоговий/Дискретний	4...20 мА/HART, FOUNDATION fieldbus
9	Витрата	Аналоговий/Дискретний	4...20 мА/HART, FOUNDATION fieldbus
10	Температура	Аналоговий	0...20 мА
11	Температура	Аналоговий	0...20 мА
12	Тиск	Аналоговий	0...20 мА
13	Концентрація	Аналоговий/Дискретний	4 ... 20 мА, RS 485
14	Концентрація	Аналоговий/Дискретний	4 ... 20 мА, RS 485
15	Концентрація	Аналоговий/Дискретний	4 ... 20 мА, RS 485

Дані про вихідні сигнали наведені в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5\_ Вихідні сигнали управляючої системи

№ п.п.	Параметр впливу	Сигнал
1	Вмикання/вимикання двигуна	Дискретний
2	Вмикання/вимикання двигуна	Дискретний
3	Витрата	Аналоговий
4	Витрата	Аналоговий
5	Витрата	Аналоговий
6	Витрата	Аналоговий
7	Витрата	Аналоговий
8	Витрата	Аналоговий
9	Вмикання/вимикання двигуна	Дискретний
10	Вмикання/вимикання клапана	Дискретний

На підставі даних таблиць 5.4 і 5.5 можна скласти вимоги до контролера і вибрати його на функціональному рівні. Вимоги за кількістю вхідних і вихідних сигналів наведені в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6\_ Вхідні і вихідні сигнали управляючої системи

Сигнал	Вид	Кількість
Вхідний	Аналоговий	8
Вхідний	Аналоговий/Дискретний	7
Вихідний	Аналоговий	6
Вихідний	Дискретний	4

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, серед інших, використання мікропроцесорних програмованих контролерів, як Melsec фірми Mitsubishi Electric, контролери фірми Мікрол, програмовані логічні контролери ОВЕН ПЛК, програмовані контролери SIMATIC фірми SIEMENS, контролери фірми Atmel, Ремиконт, Ломіконт і ін. вибравши два найбільш підходящих порівняємо їх технічні характеристики.

Сучасні програмовані логічні контролери серії MELSEC iQ-R фірми Mitsubishi Electric і ОВЕН ПЛК63-М із вбудованими засобами людино-машинного інтерфейсу розроблені для створення локальних систем автоматизації.

а) Контролер Mitsubishi FX1N-14MR-DS [40] - недорогий, компактний контролер.

Це модуль серії Melsec FX, що має 14 входів/виходів. У цій серії ПЛК FX1N дозволяє використовувати контролери з 14-60 точками входу/виходу. Попередньо переглянуті варіанти як різного типу вихідного сигналу (реле або транзистор), так і на різній напрузі (100..240 В змінного струму або 24 В постійного струму). За бажанням замовлення модулі можуть бути виготовлені за стандартом UL.

Особливості модуля FX1N-14MR-DS.

Високошвидкісні лічильники імпульсів сигналів частотою до 60 кГц.

Енергонезалежна пам'ять типу EEPROM.

Об'єм пам'яті 8000 операцій.

Вбудований таймер із можливістю відображення годин реального часу.

Відображення стану входів/виходів за допомогою світлодіодів.

Можливість підключення модулів розширення входів/виходів зі збільшенням точок до 128.

Зручна оболонка для програмування контролерів.

Зменшений час виконання операцій.

Для управління сервомоторами та кроковими двигунами в модулях FX1N передбачені імпульсні виходи з вихідною частотою сигналів до 100 кГц.

Технічні характеристики FX1N-14MR-DS.

Кількість входів/виходів: 14.

Напруга живлення: 12..24 В постійного струму.

Кількість входів 8.

Кількість виходів 6.

Тип вихідного сигналу - реле.

Споживана потужність 13 Вт.

Об'єм пам'яті 8000 операцій.

Швидкість обробки команд: 0,55-0,7 мс/операція.

Температура навколишнього середовища: 0-55 °С.

Відносна вологість 35-85%.

Клас захисту IP20.

Базові блоки контролера MELSEC сімейства FX об'єднують блок електроживлення, центральний процесор і цифрові входи-виходи в одному компактному модулі. З огляду на можливість їх розширення цифровими і аналоговими входами і виходами, функцією позиціонування, безліч прикладних задач, для яких колись автоматизація була недоступна, тепер можна легко вирішити, скориставшись перевагами, наданими цими контролерами.

Базовий блок програмованого контролера, який об'єднує в собі блок електроживлення, центральний процесор і входи-виходи. У число вбудованих функцій входять високошвидкісний лічильник і виходи для позиціонування.

Базові блоки контролера FX3GE, FX3S, FX3U відрізняються кількістю і типом вбудованих входів-виходів, видами живлення (всього, в залежності від типу модуля, від 14 до 60 входів і виходів, в тому числі від 8 до 24 входів і від 6 до 16 виходів).

Блок живлення 100–240 В змінного струму, 24 В постійного струму.

Модулі розширення входів і виходів обох типів (з вбудованим блоком живлення мережі і без нього) пропонуються з різною кількістю входів і виходів і в різних конфігураціях (всього, в залежності від типу модуля, від 8 до 48 входів і виходів, в тому числі від 4 до 24 входів і від 4 до 24 виходів). Є модулі для прийому або виведення аналогових сигналів, прийому сигналів температури і регулювання температури з різною кількістю входів і їх призначенням в різних модифікаціях.

Вбудовані високошвидкісні лічильники можна доповнити модулями лічильників більш високої ємності або з більш високими показниками (16-и, 32-ох розрядні, 1-о та 2-фазні з частотою рахунку від 50 до 200 кГц.

Є модулі для виведення швидких вихідних імпульсів і модуль для підключення до комунікаційної мережі позиціонування SSCNETIII одно-двопозиційні 8 пов'язаних точок з вихідною частотою від 2 до 5000000 імпульси/с.

Модулі розширення мережевої комунікації дозволяють підключити контролер до мережі CC-Link або Ethernet або надають користувачеві послідовний інтерфейс RS-232C або RS-485 в режимі «віддалена станція» з 32-ма точками зв'язку на 8 регістрів з 8-ма пов'язаними точками вводу-виводу.

б) Програмований логічний контролер ПЛК63-М [41] - повноцінний програмований контролер для простих завдань автоматизації. Основні області застосування ОВЕН ПЛК63 - ЖКГ, ЦТП, ІТП, котельні, невеликі верстати. Є зручною базою для створення закінчених приладів.

Контролер призначений для створення систем автоматизованого управління технологічним обладнанням в енергетиці, на транспорті, у т.ч. залізничному, в різних галузях промисловості, житлово-комунального та сільського господарства. Функціональна схема ПЛК63 наведена на рис. 5.1.

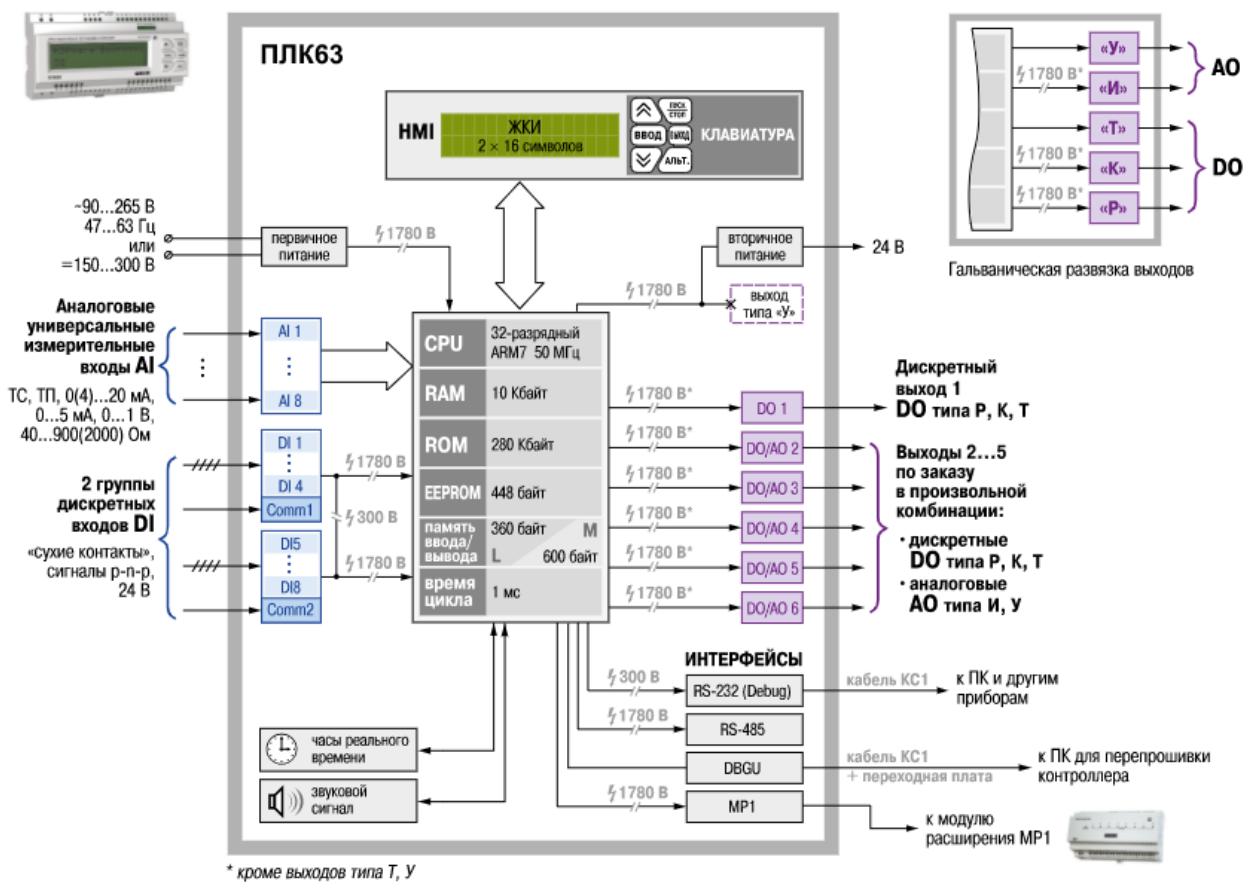


Рисунок 5.1 - Функціональна схема ПЛК63



Основні функціональні можливості:

Надійне середовище програмування CODESYS поставляється безкоштовно, CD з дистрибутивом входить в комплект поставки;

Дворядковий знаковинтезуючий дисплей;

Збільшення кількості дискретних виходів шляхом підключення модуля ОВЕН МР1;

Вбудовані інтерфейси RS-485, RS-232;

Вбудований годинник реального часу;

Підтримка протоколів ОВЕН, Modbus RTU, Modbus ASCII, GateWay.

Безкоштовна бібліотека функціональних блоків:- розробки ОВЕН: ПІД-регулятор з автонастроюванням, блок управління 3-х позиційними засувками і ін.;

- стандартні бібліотеки CODESYS.

Можливість розширення шляхом підключення модулів введення/виведення.

Загальні відомості.

Центральний процесор 32-розрядний RISC процесор 50 МГц на базі ядра ARM7.

Об'єм оперативної пам'яті для зберігання змінних програм 10 кб.

Обсяг пам'яті зберігання програм 280 кб.

Обсяг пам'яті введення-виведення 600 байт.

Обсяг енергонезалежної пам'яті 448 кбайт (Flash-пам'ять).

Час роботи годинника реального часу після зникнення живлення не менше 3 місяців.

Ступінь захисту корпусу (з боку лицьовій панелі) по ГОСТ14254-96 IP20.

Напруга живлення постійного струму від 150 до 300 В (номінальне 220 В), змінного струму (47 ... 63 Гц) від 90 до 264 В (номінальне 110/220 В).

Споживана потужність для постійного струму не більше 12 Вт, для змінного струму не більше 18 Вт.

Параметри вбудованого вторинного джерела живлення:

- вихідна напруга  $24 \pm 3$  В;

- струм не більше 180 мА.

Елементи людино-машинного інтерфейсу.

Тип дисплея текстовий монохромний РКІ з підсвічуванням.

Кількість знакоміць (символів) 2 x 16.

Плівкова клавіатура 6 кнопок: "Пуск / стоп", "Вихід", "Альт", "Введення", "Вгору", "Вниз".

Світлодіоди на лицьовій панелі відсутні.

Інтерфейси зв'язку: інтерфейси RS-485, DEBUG RS-232 (RJ-11).

Протоколи ОВЕН, Modbus RTU / ASCII, GateWay (протокол CODESYS).

Кількість універсальних аналогових входів 8.

Типи датчиків, що підключаються і сигналів: термоопори, термомпари, сигнали струму, напруги, опору.

Кількість дискретних входів 8.

Наявність гальванічної ізоляції дискретних входів групова.

Максимальна частота сигналу, що подається на дискретний вхід 50 Гц (при шпаруватості 2).

Кількість вихідних елементів 6.

Тип вихідного елемента 1 е/м реле 4 А 220 В.

Можливі типи вихідних елементів 2 ... 6 Р - е/м реле 4 А 220 В; І - ЦАП 4 ... 20 мА; У - ЦАП 0 ... 10 В (активний).

Розширення кількості дискретних виходів до 8 (модуль MP1 по внутрішній шині).

Підтримувані інтерфейси і протоколи.

Протокол ОВЕН інтерфейс RS-232 для підтримки модулів ОВЕН Мх110, RS-485 для роботи в мережах ОВЕН спільно з ТРМ2хх.

Протокол Modbus RTU, Modbus ASCII інтерфейси RS-232, RS-485 для підтримки модулів введення/виведення і операторських панелей (наприклад, ОВЕН СП3хх), для зв'язку з SCADA-системами.

Протокол GateWay (протокол CODESYS) інтерфейс RS-232 для програмування контролера, налагодження користувальницької програми. Робота з OPC-сервером CODESYS.

Інтерфейс MP1 - вхід для підключення модуля MP1.

Порівнявши характеристики контролера Mitsubishi FX1N-14MR-DS і контролера ОВЕН ПЛК63-М, можна зробити висновок, що вони обидва задовольняють вимогам для використання в системі. Існує дещо вища швидкодія контролера Mitsubishi FX1N-14MR-DS, що не впливає на вибір, оскільки технологічний процес не настільки швидкоплинний. В той же час вартість контролера Mitsubishi FX1N-14MR-DS майже в 2 рази більша. В Україні існує широка мережа представництв і дилерських партнерів компанії Овен. Виходячи з цього, застосуємо при побудові системи в якості універсального регулятора програмований логічний контролер ОВЕН ПЛК63-М.

Також є вбудований годинник реального часу, вбудоване акумуляторне джерело резервного живлення. Існує можливість збільшення кількості сигналів введення і виведення за допомогою підключення модулів введення/виведення.

Для забезпечення виведення всіх необхідних дискретних каналів застосуємо вісьмиканальний модуль розширення елементів MP1[42], що випускається в корпусі типу Д9 для кріплення на DIN-рейку і виконує такі основні функції:

- збільшення кількості вихідних елементів ПЛК63;
- використання в якості блоку силових вихідних елементів для приладів, що мають на виході транзисторні ключі n-p-n-типу.

8 дискретних вихідних елементів у різних комбінаціях:

- е/м реле 4 А 220 В (Р);
- транзисторні оптопари 400 мА 60 В (К);
- симісторні оптопари 0,5 А 250 В (С);
- для управління твердотілим реле 4 ... 6 В 50 мА (Т).

Загальні технічні характеристики.

Напруга живлення 90 ... 264 В змінного струму частотою 47 ... 63 Гц.

Споживана потужність не більше 12 ВА.

Кількість вихідних елементів 8.

Тип корпусу на DIN-рейку Д9.

Ступінь захисту корпусу IP20.

Таблиця 5.7\_Характеристики вихідних елементів

Познач.	Тип вихідного елемента (ВЕ)	Електричні характеристики
Р	електромагнітне реле	4 А при 220 В 50 Гц, $\cos \varphi > 0,4$
К	транзисторна оптопара структури n-p-n типу	400 мА при 60 В
С	Симісторна оптопара для управління однофазним навантаженням	50 мА при 250 В (пост. Відкр. симістор) або 1 А (симістор вкл. з частотою не більше 100 Гц і $t_{\text{імп.}} = 5 \text{ мс}$ )
Т	Вихід для управління твердотілим реле	вихідна напруга 4 ... 6 В максимальний вихідний струм 50 мА

Умови експлуатації.

Температура оточуючого повітря +1 ... + 50 °С.

Атмосферний тиск 86 ... 106,7 кПа.

Відносна вологість повітря (при +25 ° С і нижче без конденсації вологи) не більше 80%.

Вибравши канали для автоматизації контролю і управління технологічних параметрів і технічні засоби управління, розробили функціональну схему автоматизації (додаток А).

## 6 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 6.1 Побудова математичної моделі системи управління

Для розрахунку виберемо управління підтримкою рівня барботажного шару в адсорбері, оскільки він має значний вплив на процес очищення конвертованого газу.

Технологічна схема системи управління рівнем барботажного шару наведена на рис. 6.1.

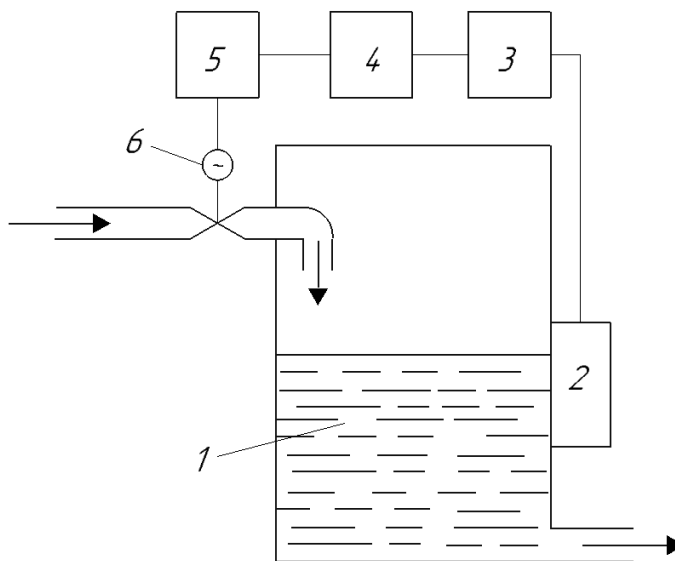


Рисунок 7.1 – Технологічна схема об'єкта регулювання.

Система регулювання рівня барботажного шару в адсорбері включає в себе об'єкт регулювання 1, датчик рівня 2, регулятор 3, попередній підсилювач напруги 4, підсилювач потужності 5, виконавчий механізм 6.

Система автоматичного регулювання забезпечує підтримку рівня в заданих межах при дії збурюючих впливів.

Вихідним параметром об'єкта управління є рівень барботажного шару в адсорбері. Керуючим впливом є витрата моноетаноламіну, що проходить через виконавчий механізм.

Це класична система управління зі зворотним зв'язком. Для забезпечення роботи такої системи необхідно вимірювати регульований параметр, порівняти його із заданим значенням, визначити величину помилки і її знак; розрахувати за обраним алгоритмом управління керуючий вплив; подати керуючий вплив через виконавчий механізм на об'єкт управління [5, 7].

#### 7.1.1 Отримання передатної функції об'єкта управління

Щоб отримати криву розгону в нормованому вигляді потрібно всі значення вихідної змінної розділити на сталі значення ( $L_{уст} = 1,5$  м).

В результаті отримуємо криву розгону, представлену в нормованому вигляді, яка зображена на рисунку 7.2 Для спрощення розрахунків крива розгону нормується, а саме значення вихідної змінної наближують до діапазону 0..1, котре відповідає одиничному вхідному впливу.

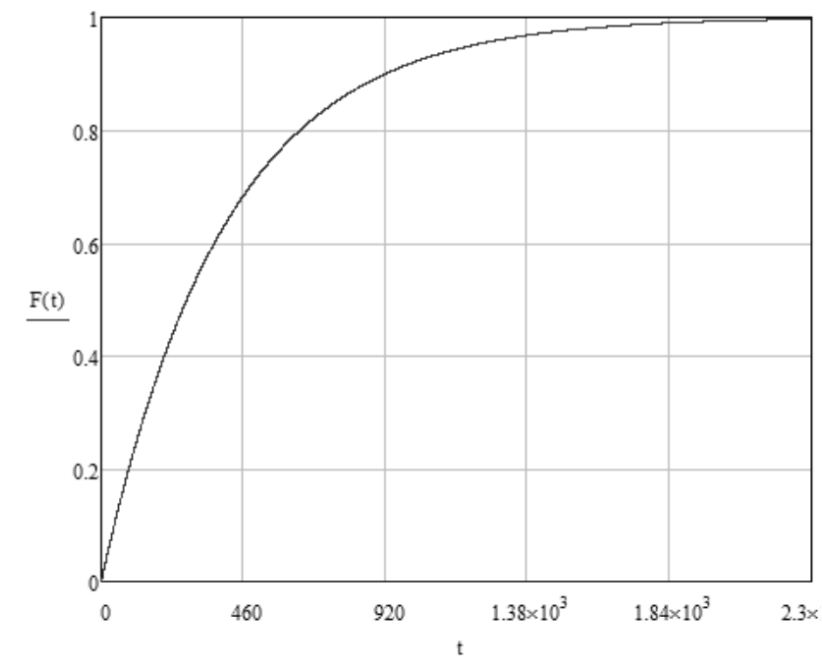


Рисунок 6.2 – Крива розгону в нормованому вигляді

Для визначення передатної функції використаємо метод Орманса[45]. Використовуючи цей метод, можна визначити дві постійні об'єкта управління. Відносно до кривої розгону:

$$W(p) = \frac{Ke^{-\tau p}}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}$$

Передатну функцію визначимо так:

- із отриманої нормованої кривої знаходимо час, який відповідає значенню  $h(t) = 0,7$  та позначимо його  $t_7$ . Відповідно до графіка цей час дорівнює 483 секунди;
- отриману величину інтервалу розділимо на три рівні частини. Для визначення величини  $h_{N4}$  ставимо перпендикуляр до кривої розгону. У відповідності з отриманим графіком  $h_{N4} = 0,33$ .  
Всі виконані побудови показані на рисунку 7.3;
- Аналітично доведено, що зв'язок між отриманими точками кривої розгону і постійними часу даної моделі, відповідно  $t_7 = 1,2 (T_1 + T_2)$ .

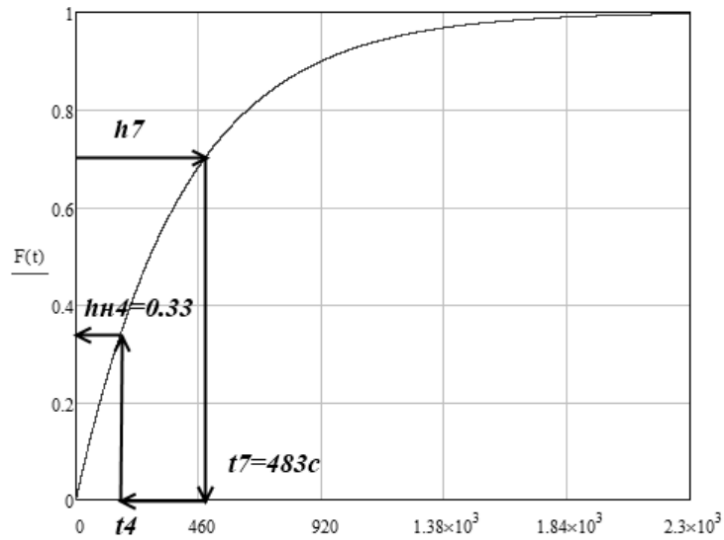


Рисунок 6.3 – Крива розгону з виконаними побудовами

4) Для розрахунку постійних часу ОУ застосовується допоміжний параметр  $Z^2$ , який знаходимо за номограмою рисунок 6.4.

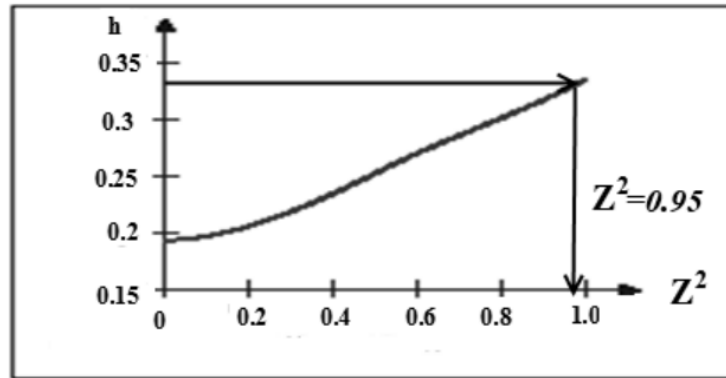


Рисунок 6.4 - Номограма для визначення величини  $Z^2$

5) Для розрахунку постійних часу ОУ  $T_1$  та  $T_2$  використаємо такі вирази:

$$T_1 = \frac{t_7}{2.4}(1+z) \quad T_2 = \frac{t_7}{2.4}(1-z)$$

$$T_1 = \frac{483}{2.4}(1 + 0.975) = 397 \text{ c}$$

$$T_2 = \frac{483}{2.4}(1 - 0.975) = 5 \text{ c}$$

Оскільки  $T_1 \gg T_2$ , то можна перейти до моделі першого порядку:

$$W(p) = \frac{K e^{-\tau p}}{T p + 1}$$

Коефіцієнт  $k$  передатної функції отримаємо діленням рівня  $L=1,5$  м на витрату  $L = 0,5 \text{ м}^3/\text{год}$ .

$$k = \frac{1,5\text{м}}{0,5 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}} = 3 \text{ год./м}^2$$

І отримаємо результуючу передатну функцію без впливу зовнішніх чинників на неї.

$$W(p) = \frac{0,1e^{-2p}}{397p + 1}$$

З урахуванням отриманої передатної функції побудуємо перехідну характеристику і порівняємо її з вихідною кривою розгону.

Нормовані графіки перехідних характеристик зображені на рисунку 6.5. Крива розгону, що отримали експериментально, позначена як  $F(t)$ , а перехідна характеристика, яку отримали аналітичним способом -  $h(t)$ .

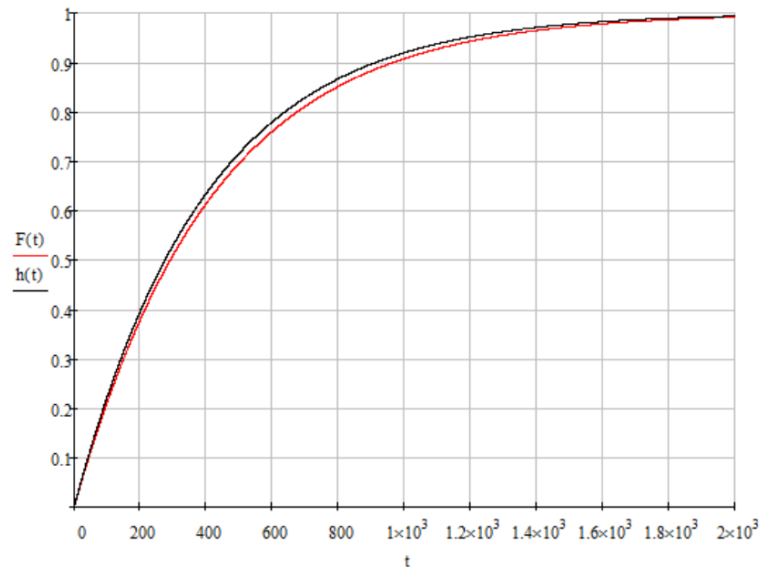


Рисунок 6.5 – Порівняння перехідних характеристик.

### 6.1.2 Перевірка адекватності отриманої моделі

Щоб перевірити відповідність перехідних характеристик використаємо метод Фішера. У відповідності з даним методом потрібно увесь інтервал часу розділити на 10 рівних частин, а потім визначити  $Y_{i \text{ екс}}$  і  $Y_{i \text{ мод}}$ . Отримані значення занесли до таблиці 6.1.

Таблиця 6.1\_ Значення, отримані з перехідних характеристик

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Y_{i \text{ екс}}$	0,37	0,61	0,75	0,85	0,9	0,94	0,96	0,97	0,99	1
$Y_{i \text{ мод}}$	0,39	0,63	0,77	0,86	0,92	0,95	0,97	0,98	0,99	1

Оцінку дисперсії розрахуємо за такою формулою:

$$S_{\text{экс, мод}} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{10} (Y_i - \bar{Y})^2$$

Всі розрахунки проведемо в математичному пакеті MathCad.

$$Y_1 := 0.37 \quad Y_2 := 0.61 \quad Y_3 := 0.75 \quad Y_4 := 0.85 \quad Y_5 := 0.9 \quad Y_6 := 0.94 \quad Y_7 := 0.96 \quad Y_8 := 0.97$$

$$Y_9 := 0.99 \quad Y_{10} := 1$$

$$S_{\text{экс}} := \frac{1}{9} \cdot \sum_{i=1}^{10} (Y_i - 0.834)^2$$

$$S_{\text{экс}} = 0.042$$

$$Y_1 := 0.39 \quad Y_2 := 0.63 \quad Y_3 := 0.77 \quad Y_4 := 0.86 \quad Y_5 := 0.92 \quad Y_6 := 0.95 \quad Y_7 := 0.97 \quad Y_8 := 0.98$$

$$Y_9 := 0.99 \quad Y_{10} := 1$$

$$S_{\text{мод}} := \frac{1}{9} \cdot \sum_{i=1}^{10} (Y_i - 0.8346)^2$$

$$S_{\text{мод}} = 0.04$$

За формулою

$$K = \frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{min}}}$$

отримуємо значення критерію K:

$$K = \frac{0.042}{0.04} = 1.05$$

Відповідно до таблиці для  $f_1 = 10$ ,  $f_2 = 10$  знаходимо критерій Фішера. Для даних значень він дорівнює 2,98. Враховуючи, що знайдений критерій менше від критерія по таблиці Фішера ( $1,05 < 2,98$ ), модель можна вважати адекватною об'єкту.



## 6.2 Синтез системи управління методом логарифмічних амплітудних характеристик

Синтез проведемо за [45].

### 6.2.1 Побудова асимптотичної ЛАЧХ незмінної частини системи $L_n(\omega)$

Для передавотної функції ОУ  $W_o(p)$  потрібно побудувати асимптотичну ЛАЧХ.

Фіксація низькочастотної асимптоти ЛАЧХ проводиться на частоті  $\omega = 1$  Гц на рівні, отриманому з виразу  $L_n(1) = 20 \lg(k) = 20 \lg(45.8) = 33,217 \text{ дБ}$ . Розрахуємо сполучені частоти та розмістимо їх в порядку зростання. За допомогою математичного пакета MathCad побудуємо асимптотичну ЛАЧХ, рисунок 6.6

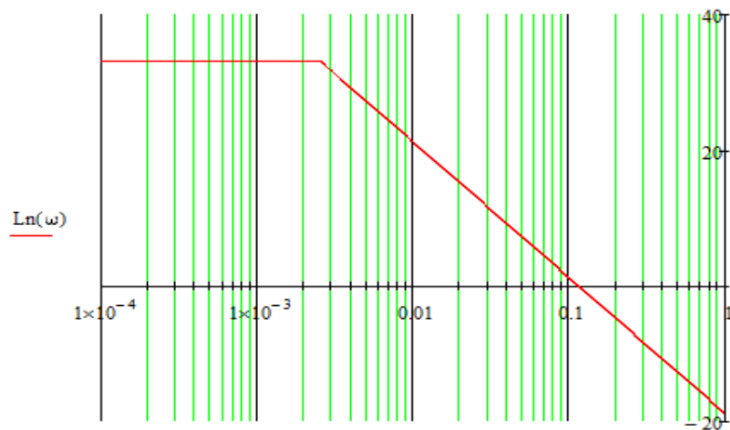


Рисунок 6.6 - Графік асимптотичної ЛАЧХ незмінної частини системи  $L_n(\omega)$

### 6.2.2 Побудова бажаної ЛАЧХ по В.В. Солодовникову

Спочатку побудуємо низькочастотну частину бажаної асимптотичної ЛАЧХ.

Нахил і положення низькочастотної асимптоти бажаної ЛАЧХ залежить від вимог до статичної точності проектованої системи:

а) відповідно до завдання існує додаткова вимога до статичної точності, то та не роблячи зміну нахилу низькочастотної асимптоти, зафіксуємо її нове розташування відповідно до осі абсцис на рівні  $L_n(1) = 20 \cdot \log(k_y)$ .

Побудова середньочастотної частини бажаної асимптотичної ЛАЧХ та її сполучення з низькочастотною частиною є важливим етапом, так як вони визначають динамічні властивості системи, стійкість, запас стійкості і якість перехідного процесу.

б) Визначення частоти зрізу  $\omega_c$  бажаної ЛАЧХ.

Для визначення мінімального допустимого значення частоти зрізу  $\omega_c$  ЛАЧХ бажаної системи використовуємо номограми В.В. Солодовникова. Відповідно до заданого значення  $\sigma = 20\%$  та кривої  $\sigma(P_{max})$  номограми знаходимо необхідне значення  $P_{max} = 1,4$ . Використовуючи криву  $t_p(P_{max})$  знаходимо значення часу регулювання  $t_p$ , яке виражається через частоту зрізу  $\omega_c$  співвідношенням  $3.3\pi/\omega_c$ . Відповідно до виразу  $t_p = 3.3\pi/\omega_c$  знаходимо частоту зрізу, зображену на рисунку 6.7.

$$\omega_c = \frac{3,3\pi}{t_p} = 0,009 \text{ с}^{-1}$$

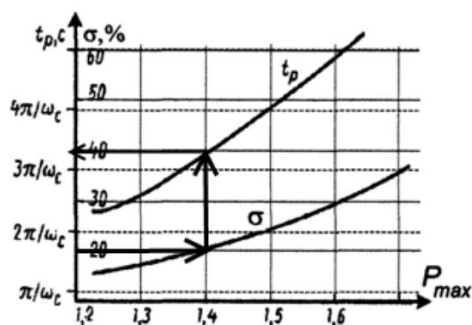


Рисунок 6.7- Номограма Солодовникова для статичних систем

Далі побудуємо середньочастотну асимптоту з нахилом  $-20$  дБ/дек через точку  $\omega_c$ , яка розташована на осі абсцис (рисунок 6.9).

в) На наступному етапі визначаємо діапазон частот середньо частотної частини ЛАЧХ у відповідності з номограмою (рисунок 6.8) та попередньо знайденому значенню  $P_{max} = 1,4$  знайдемо необхідний запас по фазі  $\gamma_{min} = 35$  нульової ординати середньочастотної ЛАЧХ  $L_y = \pm 11$  дБ, які відповідають цьому значенню.

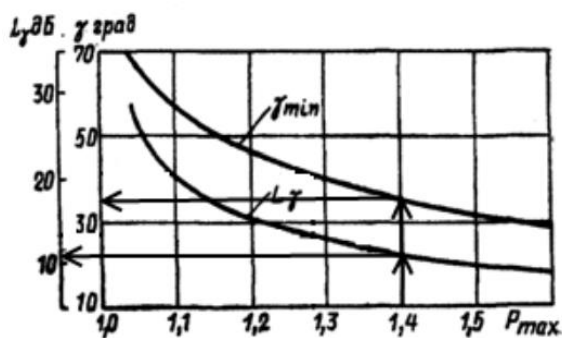


Рисунок 6.8 - Графік для визначення ординат  $\pm L_y$  контрольних точок і необхідного запасу по фазі  $\gamma_{min}$

Лінії, паралельні осі частот, проведені на рівні  $L_y = \pm 11$  дБ, в точках перетину частоти сполучення середньої частоти з низькочастотною  $\omega_1 = 0,02 \text{ с}^{-1}$  і високочастотною  $\omega_2 = 0,025 \text{ с}^{-1}$  асимптотами.

г) Через точку  $\omega_1=0,02 \text{ c}^{-1}$  середньочастотної області проводимо асимптоту з нахилом - 40 дБ/дек і в точці перетину низькочастотної асимптоти із середньочастотною маємо частоту сполучення низькочастотної асимптоти бажаної ЛАЧХ  $\omega_{н1}=0,001 \text{ c}^{-1}$ .

Бажану ЛАЧХ височастотної області будуємо так, щоб її вигляд мав найменші відмінності з виглядом незмінної ЛАЧХ: у точці  $\omega_2=0,025 \text{ c}^{-1}$  проводимо асимптоту -20 дБ/дек і сполучаємо асимптоти височастотної і низькочастотної області з середньочастотною.

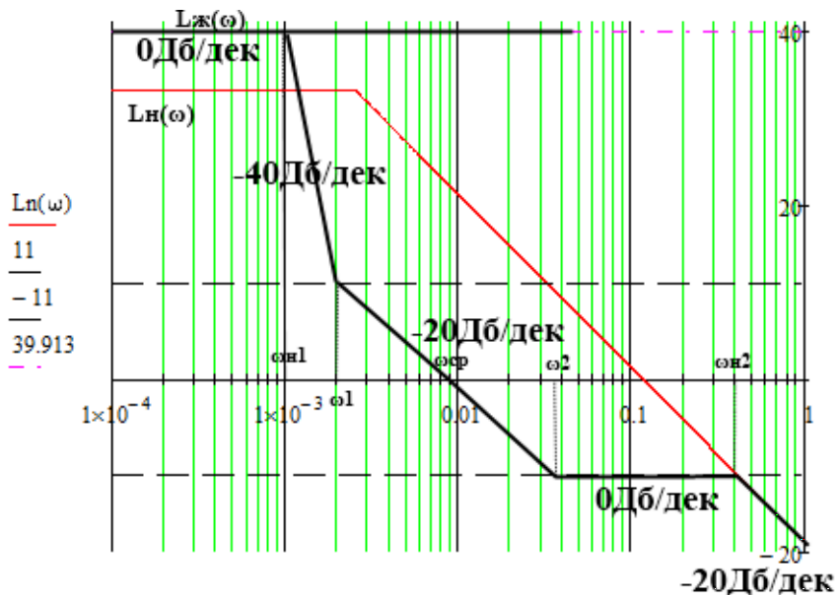


Рисунок 6.9 - Асимптотична ЛАЧХ незмінної частини системи  $L_n(\omega)$  і бажана асимптотична ЛАЧХ  $L_z(\omega)$

### 6.2.3 Отримання передатної функції розімкнутого кола бажаної системи

Для отримання передатної функції розімкнутого кола бажаної системи  $W_z(s)$  відповідно до вигляду асимптотичної ЛАЧХ  $L_z(s)$  використаємо методику яка відповідає методиці побудови асимптотичної ЛАЧХ за виглядом передатної функції: Визначимо сполучені частоти отриманої бажаної ЛАЧХ  $L_z(s)$  та розмістимо їх в порядку зростання:

$$\omega_{н1} = 0,001 \text{ c}^{-1}, \omega_1 = 0,002 \text{ c}^{-1}, \omega_2 = 0,025 \text{ c}^{-1}, \omega_{н2} = 0,04 \text{ c}^{-1}.$$

Отримуємо значення виразу для співмножників чисельника та знаменника передавальної функції розімкнутої системи, провівши аналіз поведінки асимптотичної ЛАЧХ:

- після частоти сполучення  $\omega_{н1} = 0,001 \text{ c}^{-1}$  нахил асимптоти збільшується на 40 дБ/дек – це означає наявність у знаменнику передатної функції співмножника  $1/0,001s+1 = (1000s+1)^2$ ;
- після частоти сполучення  $\omega_2 = 0,002 \text{ c}^{-1}$  асимптота піднімається на 20 дБ/дек – це означає наявність у чисельнику передатної функції співмножника  $1/0,002s+1 = 500s+1$ ;

- після частоти сполучення  $\omega_1 = 0,025\text{с}^{-1}$  асимптота знову піднімається на 20 дБ/дек – це означає наявність у чисельнику передатної функції співмножника  $1/0,025s+1 = 40s+1$ ;
- після частоти сполучення  $\omega_2 = 0,04\text{с}^{-1}$  нахил асимптоти збільшується на 20 дБ/дек – це означає наявність у знаменнику передатної функції співмножника  $1/0,04s+1 = 25s+1$ .

Порядок астатизму і коефіцієнт посилення розімкнутої системи після корекції не змінюються і складають:  $\nu = 1$  і  $k = 39.913$ , оскільки низькочастотна область бажаної ЛАЧХ не змінилася.

Передатна функція бажаної розімкнутої системи після проведеного аналізу має такий вигляд:

$$W_{\text{ж}}(s) = \frac{39,91(40s + 1)(500s + 1)}{(1000s + 1)^2(25s + 1)}$$

#### 6.2.4 Аналіз якості перехідних процесів

Побудуємо перехідні характеристики у математичному пакеті MathCad:

$$W_{\text{zel}}(s) := \frac{39.913 \cdot (40s + 1) \cdot (500s + 1)}{(25s + 1) \cdot (1000s + 1)^2}$$

$$W_{\text{zam}}(s) := \frac{W_{\text{zel}}(s)}{1 + W_{\text{zel}}(s)}$$

$$\frac{W_{\text{zam}}(s)}{s} \begin{cases} \text{invlaplace} \\ \text{float, 3} \rightarrow -0.597 \cdot e^{-0.0137 \cdot t} + -0.41 \cdot e^{-0.0582 \cdot t} + 0.0311 \cdot e^{-0.00206 \cdot t} + 0.975 \\ \text{simplify} \end{cases}$$

$$h(t) := -0.597 \cdot e^{-0.0137 \cdot t} + -0.41 \cdot e^{-0.0582 \cdot t} + 0.0311 \cdot e^{-0.00206 \cdot t} + 0.975$$

$$t := 0, 1.. 600$$

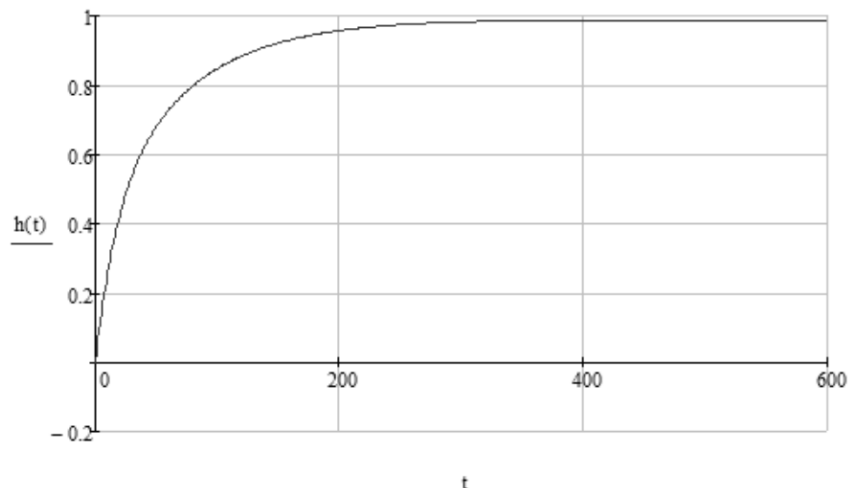


Рисунок 6.10 – Графік перехідної характеристики бажаної системи

Виконавши аналіз перехідного процесу, маємо такі показники якості:[27]

- час перехідного процесу  $t_p = 200$  с;
- перерегулювання  $\sigma = 0\%$ .

Указані показники якості задовільняють умови завдання.

### 6.2.5 Розрахунок коригувального пристрою

Для визначення передатної функції коригуючого пристрою необхідно поділити передатну функцію бажаної  $W_{ж}(s)$  системи на передатну функцію незмінної системи  $W_n(s)$ .

$$W_1(s) := \frac{45.8}{397s + 1} \quad W_{zel}(s) := \frac{39.913 \cdot (40s + 1) \cdot (500s + 1)}{(25s + 1) \cdot (1000s + 1)^2}$$

$$W_k(s) := \frac{W_{zel}(s)}{W_1(s)}$$

$$W_k(s) \text{ float,3} \rightarrow \frac{(8.67 \cdot s + 0.0218) \cdot (1596.0 \cdot s + 39.9) \cdot (500.0 \cdot s + 1.0)}{(25.0 \cdot s + 1.0) \cdot (1000.0 \cdot s + 1.0)^2}$$

Оскільки система управління буде реалізовуватись за допомогою мікроконтролера, то необхідно знайти рівняння у кінцевих різницях. Дискретна передатна функція для синтезованого регулятора визначається так:

$$W_k(s) = \frac{(1596s + 39,9)(500s + 1)(8.67s + 0.0218)}{(25s + 1)(1000s + 1)^2}$$

Щоб визначити дискретну передатну функцію скористаємось перетворенням Ейлера, виконавши заміну  $s=(z^{-1})/T_0$ , де  $T_0$  - період квантування, с. Відповідно, маємо такий розрахунок:

$$T_0 := 0.001$$

$$\frac{(8.67 \cdot s + 0.0218) \cdot (1596.0 \cdot s + 39.9) \cdot (500.0 \cdot s + 1.0)}{(25.0 \cdot s + 1.0) \cdot (1000.0 \cdot s + 1.0)^2} \left| \begin{array}{l} \text{substitute, } s = \frac{z - 1}{T_0} \\ \text{float,3} \end{array} \right. \rightarrow \frac{-6921.0 \cdot z + 3459.0 \cdot z^2 + 3459.0}{-25000.0 \cdot z + 12500.0 \cdot z^2 + 12500.0}$$

$$W_k(z) := \frac{-6921.0 \cdot z + 3459.0 \cdot z^2 + 3459.0}{-25000.0 \cdot z + 12500.0 \cdot z^2 + 12500.0}$$

### 7.2.6 Моделювання системи управління у пакеті MatLab

У пакеті MatLab була зібрана модель системи управління, представлена на рисунку 6.11.

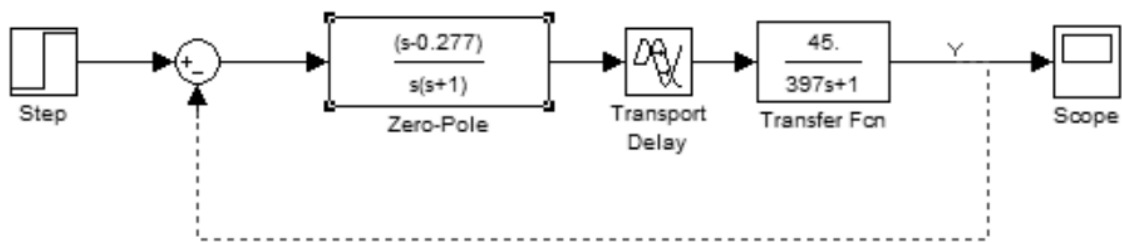


Рисунок 6.11 – Модель системи управління у пакеті MatLab

В результаті моделювання була отримана перехідна характеристика, зображена на рисунку 6.12

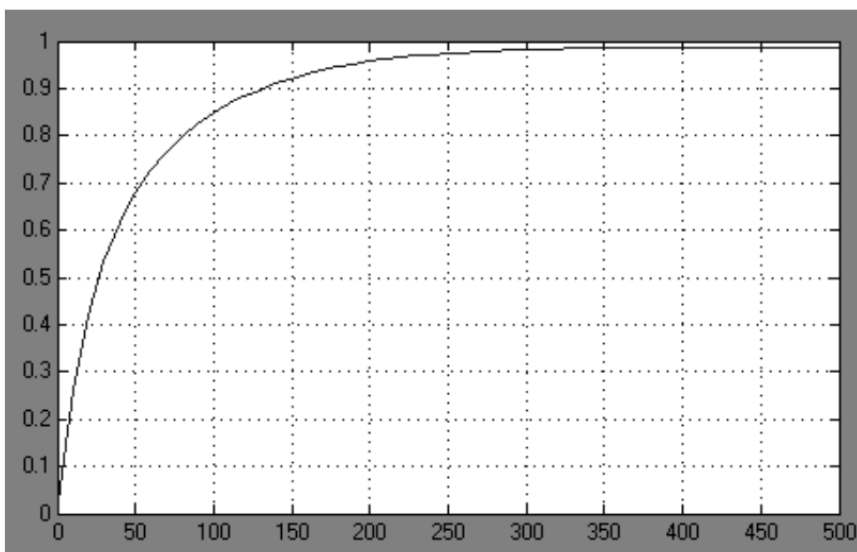


Рисунок 6.12 - Перехідна характеристика системи управління

Виконавши аналіз перехідного процесу отримуємо наступні показники якості:[27]

- час перехідного процесу  $t_n = 200\text{s}$ ;
- перерегулювання  $\sigma = 0\%$ .

Отримані показники якості задовільняють умови, які були задані.

За допомогою пакету MatLab зібрали цифрову модель системи управління, яка зображена на рисунку 6.13

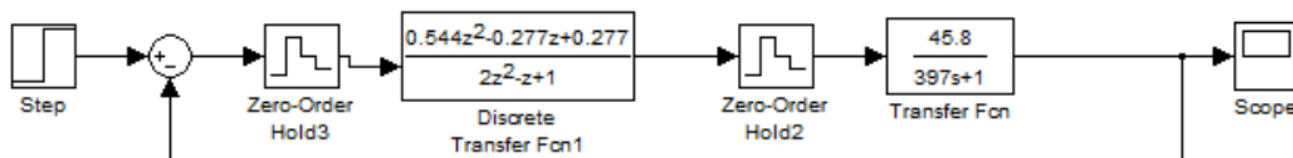


Рисунок 6.13 - Модель цифрової системи управління у пакеті MatLab

Перехідна характеристика системи управління з цифровим регулятором подана на рис. 6.14.

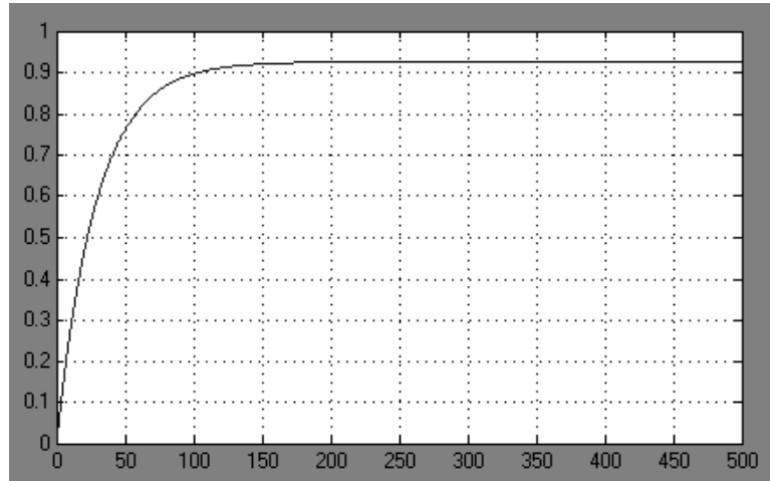


Рисунок 6.14 - Перехідна характеристика системи управління

Виконавши аналіз перехідного процесу отримуємо наступні показники якості:[27]

- час перехідного процесу  $t_n = 150$  с;
- перерегулювання  $\sigma = 0\%$ .

Отримані показники якості задовільняють умови, які були задані.

## 7 АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Алгоритм управління технологічним процесом очищення конвертованого газу моноетаноламіном дає уявлення про послідовності реалізованих дій. Технологічний процес очищення конвертованого газу моноетаноламіном є безперервним від початку його запуску до вимикання оператором в разі відсутності технологічних збоїв і аварійних ситуацій.

Система працює за алгоритмом, представленим на рисунку 7.1. Основна програма включає в себе підпрограми: запуск, очищення, регенерація, останов.

Перед запуском процесу проводиться перевірка готовності до роботи всіх пристроїв, працездатність і справність двигунів і виконавчих механізмів. Проводиться опитування всіх датчиків і установка параметрів регулювання.

В разі виявлення несправності, система сигналізує про цю несправність і переходить в режим очікування дій оператора.

Якщо перевірка закінчилась вдало, система виходить із тестового режиму і переходить в основну програму і далі проводить ініціалізацію пристроїв і переходить в режим очікування команди «старт». При надходженні команди «старт» вмикається програма запуску. Як тільки програма зробить повний пуск системи, система виконує перехід на основну програму, відповідно до якої буде продовжувати роботу.

На першому етапі проводиться очищення конвертованого газу моноетаноламіном; на другому етапі проводиться регенерація насиченого розчину моноетаноламіну з виділенням з нього двоокису вуглецю. Кожний етап є окремою підпрограмою.

Підпрограма очищення конвертованого газу моноетаноламіном. Спочатку проводиться відкриття клапану подачі моноетаноламіну в абсорбер для створення барботажного шару. Потім проводиться опитування датчиків рівня, тиску, температури, витрати, концентрації, після чого отримані дані обробляються. 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. У разі виходу *i*-того параметра за встановлені межі система видає керуючий вплив, що полягає у вмиканні відповідного виконавчого механізму.

Потім відкривається клапан подачі конвертованого газу в абсорбер. Проводиться опитування датчиків тиску і температури. Якщо тиск і температура конвертованого газу на вході абсорбера в нормі, то протягом 60 хвилин відбувається продувка газу через барботажний шар і, відповідно, очищення газу. Інакше система переходить на виконання підпрограми «Технологічний збій», що заключається закриванні клапана подачі моноетаноламіну на вхід



абсорбера і вмиканні сигналізації «Технологічний збій». Після приведення параметрів тиску і температури до норми описані дії повторюються знову. Далі система переходить до виконання підпрограми наступного етапу.

Після 60 хвилин очищення насичений розчин моноетанол аміну через нижній спуск абсорбера виводиться на регенерацію. Для цього відкривається клапан на нижньому спуску і відкриваються клапани подачі насиченого розчину моноетаноламіну через теплообмінники з необхідною витратою на верхню тарілку, середню частину і верхню частину регенератора. В регенераторі з насиченого розчину моноетаноламіну вивільняється двоокис вуглецю і у вигляді парогазової суміші виходить через верх регенератора на холодильник і далі на сепаратор, з якого двоокис вуглецю стравлюється в атмосферу, а конденсат насосом перекачується знову у верхню частину регенератора. З нижньої частини регенератора розчин моноетаноламіну відбирається в смолвідділяч, де за допомогою гострого пару відділяються смоли і моноетаноламін повертається у нижню частину регенератора. Кубовий залишок вивантажується з смолвідділяча.

Відібрані з регенератора груборегенований і глибокорегенований розчин моноетаноламіну через теплообмінники, повітряні холодильники і відкриті клапани насосами перекачуються, відповідно, на тарілки нижньої і верхньої частини абсорбера.

Опитування датчика рівня. Проводиться запис показання датчика. Потім порівнюється отримане значення з заданим. Якщо показання датчика не відповідають нормі, то виконується ПІ-регулювання і видається необхідна керуючий вплив. При регулюванні відбувається стабілізація параметра на заданому рівні.

Підпрограма ПІ-регулювання. 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.

У разі виникнення аварійної ситуації система закриває клапани подачі моноетаноламіну, конвертованого газу, вмикає аварійну вентиляцію, зупиняє насоси і вмикає аварійну сигналізацію.

Блок-схеми алгоритмів роботи наведені в додатку Б.

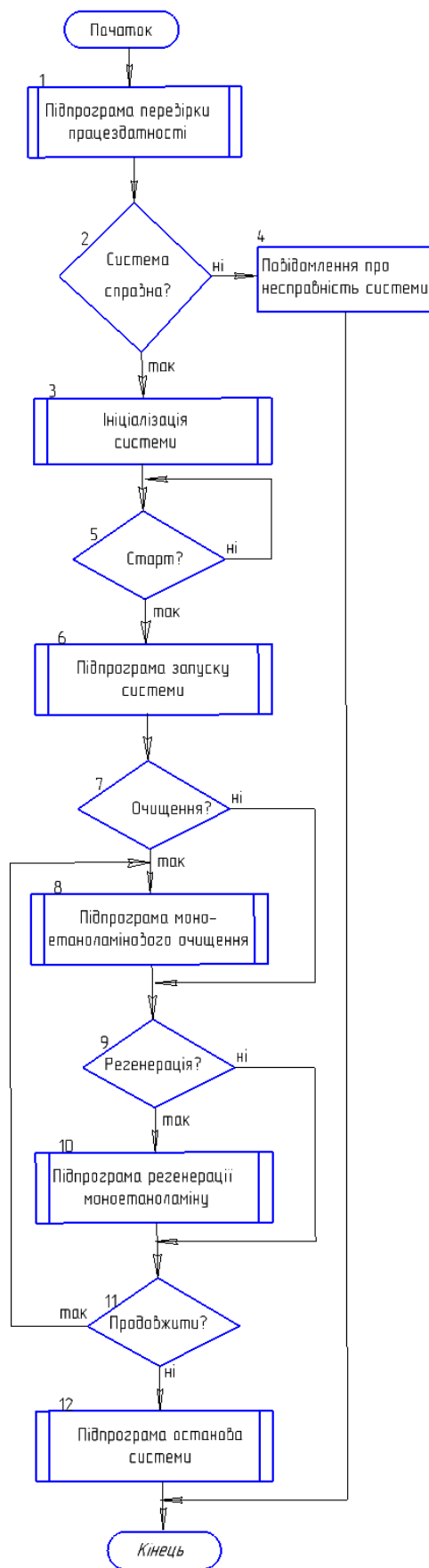


Рисунок 7.1- Блок-схема алгоритму основної програми

## ВИСНОВОК

В роботі виконана розробка системи управління технологічним процесом моноетаноламінового очищення конвертованого газу від діоксиду вуглецю. Виконано 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 схема зовнішніх з'єднань і алгоритм роботи системи, модель об'єкта управління – барботажного шару в абсорбері, отримана його передатна функція.

Проведені розрахунки контуру управління рівнем барботажного шару. Обраний закон регулювання та визначені параметри регулятора.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Моноэтаноламин [Электронный ресурс]. – Режим доступа:<https://neftegaz.ru/tech-library/neftekhimiya/142167-monoetanolamin/>
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 [Электронный ресурс]. – Режим доступа:[https://www.ispatguru.com/process-control-of-technological-processes/?utm\\_source=rss&utm\\_medium=rss&utm\\_campaign=process-control-of-technological-processes](https://www.ispatguru.com/process-control-of-technological-processes/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=process-control-of-technological-processes)
4. Deciding Upon Control-System Technology [Электронный ресурс]. – Режим доступа:<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. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справ пос. / А.С. Ключев Б.В. Глазов, А.Х. Дубровский, А.А. Ключев; под ред. А.С. Ключева – М.: Энергоатомиздат, 1990.-464 с.
8. A Guide to the Automation Body of Knowledge (2nd Edition) Trevathan, Vernon L. (2006) [Электронный ресурс]. – Режим доступа:[https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpAGABKE07/viewerType:toc//root\\_slug:guide-automation-body?b-cat-name=Process%20Design%2C%20Control%20%26%20Automation&b-cat-slug=process-design-control-automation&b-cat-id=197&b-order-by=name&b-sort-by=ascending&b-filter-by=all-content](https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpAGABKE07/viewerType:toc//root_slug:guide-automation-body?b-cat-name=Process%20Design%2C%20Control%20%26%20Automation&b-cat-slug=process-design-control-automation&b-cat-id=197&b-order-by=name&b-sort-by=ascending&b-filter-by=all-content)
9. Автоматизація виробничих процесів: Підручник. / І.В. Ельперін, О.М. Пулена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. — К.: Видавництво Ліра-К, 2015— 340 с.
10. ДАТЧИКИ ДАВЛЕНИЯ. ТИПЫ, ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОСОБЕННОСТИ, ПОДБОР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kontech-system.com.ua/articles/datchiki-davlenija-tipy-harakteristiki-osobennosti-podbor/>
11. Преобразователи абсолютного, избыточного давления, датчики давления NIPRESS D [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nivelco.com.ua/nipress-d.html>

12. Преобразователи давления SITRANS P [Электронный документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступу: [https://www.siemens-pro.ru/docs/kip/Pressure/Sitrans\\_P\\_RUS.pdf](https://www.siemens-pro.ru/docs/kip/Pressure/Sitrans_P_RUS.pdf).
13. ПД100И-111/171/181. Датчики давления общепромышленные [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <https://owen.ua/ru/datchiki/pd100i-111-171-181-datchiki-davlenija-obschepromyshlennye>
14. Термопреобразователи сопротивления взрывозащищенные ТСМУ 014 [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <http://energomashcom.com/ros/komplektaciya/neftegazopromyshlennoe-oborudovanie/pribory-kontrolya-i-analiza-nefteproduktov/termopreobrazovатели-soprotivleniya-vzryvozashhishhennye-tsmu-014-tsmu-015-tspu-014-tspu-015/>
15. Термоопори ОВЕН ДТСхх4 з кабельним виводом ЕХІА [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <https://owen.ua/ru/datchiki/dtsxx4-termosoprotivlenija-s-kabelnym-vyvodom>.
16. Термопреобразователь с унифицированным выходным сигналом ТСМУ-0289 медный термометр сопротивления [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrgazavt.com.ua/products/termopreobrazovatel-s-unificirovannym-vyходnym-signalom-tsmu-0289-mednyj-termometr-soprotivleniya/>
17. Технологии измерения уровня. [Электронный документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступу: <https://www.emerson.com/documents/automation/%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%B8%D0%B8%D0%B7%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F%D1%83%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D1%8F%D0%BF%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B3%D0%B0%D1%8E%D1%82%D1%83%D1%81%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%88%D0%B5%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81-%D0%B2-%D1%85%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B9%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%8B%D1%88%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8-ru-ru-5379244.pdf>
18. Датчики уровня жидкости [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <http://www.sensorica.ru/s3.shtml>.

19. Датчики уровня жидкости [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://rusautomation.ru/datchiki\\_urovnya/datchiki-urovnya-zhidkosti](https://rusautomation.ru/datchiki_urovnya/datchiki-urovnya-zhidkosti).
20. Измерение уровня. Методы, способы измерения уровня. Выбор уровнемера [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://eti.su/articles/izmeritelnaya-tehnika/izmeritelnaya-tehnika\\_1520.html](https://eti.su/articles/izmeritelnaya-tehnika/izmeritelnaya-tehnika_1520.html).
21. Преобразователь гидростатического давления (уровня) Rosemount 3051L [Электронный документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступа: <https://rashodometry.pro/upload/iblock/786/7869c8ca1c914251433e88558d0c4f12.pdf>
22. Расходомеры 3051SFC [Электронный документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступа: <https://www.emerson.com/documents/automation/%D1%80%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE-%D0%BF%D0%BE-%D1%8D%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%BB%D1%83%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8-%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%85%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%80%D1%8B-3051-sfc-ru-ru-89612.pdf>.
23. Расходомеры электромагнитные «ЭМИС-МАГ 270» / [https://emis-kip.ru/upload/iblock/ed6/pasport\\_rashodomer\\_emis\\_mag\\_270.pdf](https://emis-kip.ru/upload/iblock/ed6/pasport_rashodomer_emis_mag_270.pdf).
24. Вихревой расходомер DVH [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kobold.com/%D0%92%D0%B8%D1%85%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%B9-%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%85%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%80-DVH>.
25. Сигнализатор горючих и токсичных газов СТГ-1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gazanalizator.ru/gazoanalizatory/signalizator-stg-1/>
26. Сигнализаторы-анализаторы газов, горючих газов и паров горючих жидкостей "ДОЗОР-С" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.orion.com.ua/index.php/ru/>.
27. ЩИТ-3 сигнализатор многофункциональный стационарный [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gazoanalizators.ru/SHIT-3.html>.
28. ССFE-X-ПУСК Взрывозащищенный пускатель [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aksprom.biz/Catalog/KortemGorelteh/31905/CCFE-X-PUSK-Vzryvozashhishhennyji-puskatel>.

29. Technical Data Sheet ECOTROL® Control Valve [Электронный документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступу: [https://www.arca-valve.com/download/2/TD\\_8C\\_gb.pdf](https://www.arca-valve.com/download/2/TD_8C_gb.pdf).
30. Тип 3004 - Взрывозащищенный вращающий электропривод для отсечных (вкл/выкл) и регулирующих клапанов [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <https://www.burkert.com.ru/ru/type/3004/>
31. Отсечные и регулирующие клапаны BURKERT [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <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>.
32. Электроприводы SCHISCHEK EXRUN. [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <https://translate.google.com.ua/?hl=ru&tab=rT&sl=uk&tl=ru&text=%D0%AD%D0%9B%D0%95%D0%9A%D0%A2%D0%A0%D0%9E%D0%9F%D0%A0%D0%98%D0%92%D0%9E%D0%94%D0%AB%20SCHISCHEK%20EXRUN&op=translate>
33. Электропривод прямоходный во взрывозащите REGADA ST 1-Ex [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ktto.com.ua/water/pre/99>
34. КЛАПАНЫ РЕГУЛИРУЮЩИЕ SCHUBERT & SALZER. [Электронный ресурс]. – Режим доступу: [https://adl.ru/truboprovodnaya-armatura/klapany-reguliruyushchie/filter/brend-schubert\\_salzer](https://adl.ru/truboprovodnaya-armatura/klapany-reguliruyushchie/filter/brend-schubert_salzer)
35. Пускатель электромагнитный ПМА [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <https://www.electrotochka.com.ua/pma-0100-din-380v>.
36. EV-4050-HOOTER-122 Взрывозащищенный светозвуковой оповещатель [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <http://www.aksprom.biz/Catalog/KortemGorelteh/31927/EV-4050-HOOTER-122-Vzryvozashhishhennyjj-svetozvukovojj-opoveshhatel>.
37. Оповещатели светозвуковые взрывозащищенные ФИЛИН–1 и ФИЛИН–2. [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <https://harkov.flagma.ua/uk/opoveshchateli-svetozvukovye-vzryvozashchishchennye-o923937.html>.
38. Ex-Proof Strobe Beacon dHF. Ex-Proof Strobe Beacon dSF [Электронный документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступу: [http://interautomatic.com.ua/wp-content/uploads/2018/07/dHF\\_dSF.pdf](http://interautomatic.com.ua/wp-content/uploads/2018/07/dHF_dSF.pdf).

39. Оповещатель взрывозащищенный Аврал-1В [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://harkov.flagma.ua/uk/prodam-opoveshchatel-vzryvozhchishchenny-avral-1v-o923957.html>.
40. Контроллер Mitsubishi FX1N-14MR-DS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://trade-control.com.ua/products/mitsubishi-fx1n-14mr-ds>.
41. Контроллер программируемый логический ПЛК63/ руководство по эксплуатации [Электронный документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступа: [https://www.owen.ru/uploads/re\\_plc63\\_1414.pdf](https://www.owen.ru/uploads/re_plc63_1414.pdf).
42. МР1. Модуль расширения выходных элементов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://owen.ua/ru/moduli-vvoda-vyvoda/modul-rasshirenija-vyhodnyh-jelementov-oven-mr1>.
43. 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.
44. Зарубин В.С. Математическое моделирование в технике. Учеб. для вузов / Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. - 2-е изд., стереотип. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. - 496 с. - (Сер. Математика в техническом университете; Вып. XXI, заключительный). - ISBN 5-7038-1435-9 (Вып. XXI, заключительный), ISBN 5-7038-1270-4.
45. Худолей Г.М. Конспект лекцій і практик з ТАУ, 2015.
46. Advanced PID Control Åström, Karl J.; Hägglund, Tore (2006) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [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-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-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)
47. Методические указания по оформлению курсовых и дипломных проектов. Инструктивные материалы. Для студентов специальности 6.091401 "Компьютеризованные системы управления и автоматика". - Сумы.: СумГУ, 1998. – 77 с.
48. 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.

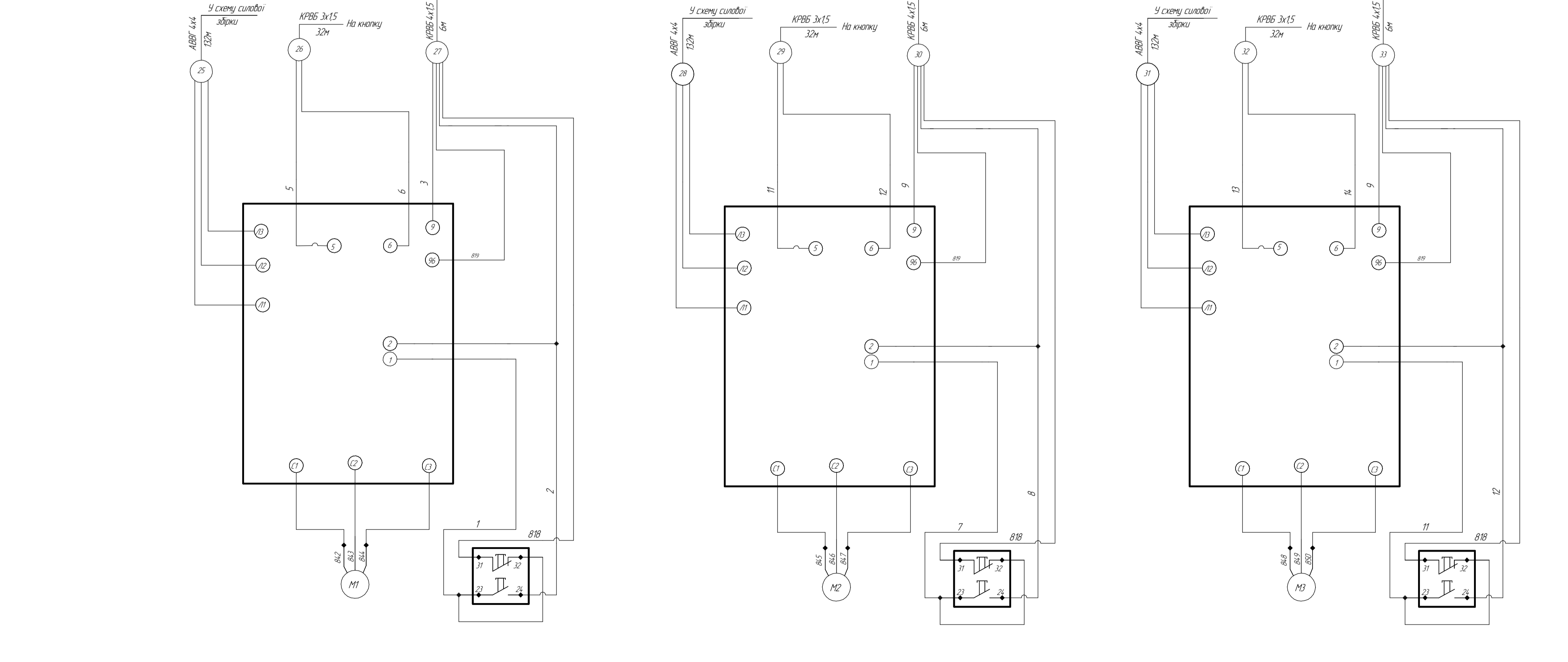
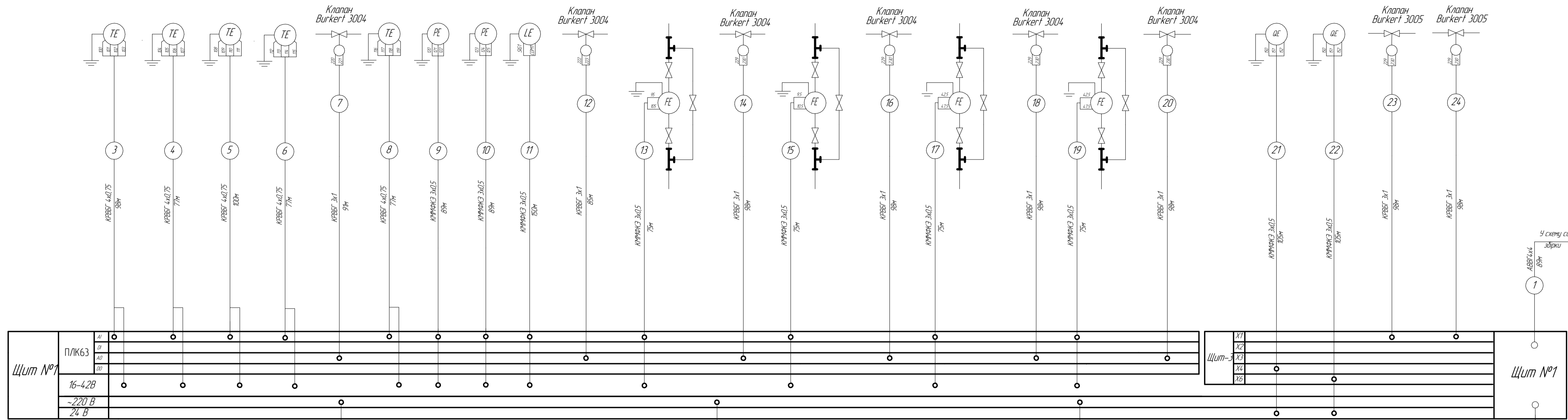


49. ДСТУ Б А.2.4-3:2009 Національний стандарт України. Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів.



Найменування параметра і місце відбору імпульсу	Температура					Тиск		Рівень		Витрата								
	Конвертаційного газу на виході абсорбера	Розрину конденсатоприемного газу з розрину нижньої секції абсорбера	Розрину конденсатоприемного газу з розрину верхньої секції абсорбера	У стеновідвіленні	Клапан на трубопроводі пари	Парозахолоди суміш на виході регенератора	Конвертаційного газу на виході абсорбера	Парозахолоди суміш на виході регенератора	Варудаточного газу в абсорбері	Клапан на трубопроводі свіжого розрину конденсатоприемного	Насиченого розрину конденсатоприемного з нижньої ступінь абсорбера	Клапан на трубопроводі насиченого розрину конденсатоприемного	Насиченого розрину конденсатоприемного на верхню ларунку регенератора	Клапан на трубопроводі насиченого розрину конденсатоприемного	Насиченого розрину конденсатоприемного на середню частину регенератора	Клапан на трубопроводі насиченого розрину конденсатоприемного	Насиченого розрину конденсатоприемного на нижню частину регенератора	Клапан на трубопроводі насиченого розрину конденсатоприемного
Позиція	2а	4а	5а	10а	10г	11а	1а	12а	3а	3г	6а	6г	7а	7г	8а	8г	9а	9г

Концентрація			
Оксид вуглець CO	Водень H2	Клапан відсічки конвертаційного газу	Клапан відсічки насиченого розрину конденсатоприемного з нижньої ступінь абсорбера
13а	13б	13в	13г



Позиція	КМ1	КМ2	КМ3
Найменування параметра і місце відбору імпульсу	Вмикання/вимикання об'єднаного вентилятора підтримуючого холодильника 1	Вмикання/вимикання об'єднаного вентилятора підтримуючого холодильника 2	Вмикання/вимикання об'єднаного вентилятора

Позначення	Найменування	Кол.	Примітка
27,30,33	Кабель контрольний броньований сталевими стрічками	12м	
	4 мідні жили перетином 1,5 мм <sup>2</sup> , ізоляція жил - гумава, ГОСТ 1508-78		
26,29,32	Кабель контрольний броньований сталевими стрічками	64м	
	3 мідні жили перетином 1,5 мм <sup>2</sup> , ізоляція жил - гумава, ГОСТ 1508-78		
3,4,5,6,8	Кабель контрольний броньований сталевими стрічками	569м	
	4 мідні жили перетином 0,75 мм <sup>2</sup> , ізоляція жил - гумава, ГОСТ 1508-78		
7,12,14,16	Кабель контрольний броньований сталевими стрічками	510м	
18,20,23,24	4 мідні жили перетином 1 мм <sup>2</sup> , ізоляція жил - гумава, ГОСТ 1508-78		
1,25,28,31	Кабель силовий; 4 алюмінієві жили перетином 4 мм <sup>2</sup> ГОСТ 16442-80, ТУ 16.705.4.26-86	400м	
	Земляючий тросик перетином 6мм <sup>2</sup>	100м	
9,10,11,13,15,17	Кабель сигнальний мідний екранований 3-провідний	104м	
19,21,22	перетином 0,5мм <sup>2</sup> ізоляція із склошпаклі і фторопласту		

ІЗМ Лист				№ докум.				Підп.				Дата				С-У-71Ш.6.15103С5			
Система управління технологічним процесом очищення конденсатного газу від діоксиду вуглецю				Щит				Масштаб				Лист							
Разроб. Журиний К. О.				у								1							
Проб. Серяков А. Г.				Лист				Листов				1							
І.контр.				Щит				СхемДЧ				гр. С-У-71Ш							
Н.контр. Хижолей Г. М.				Формат А1															

Лист № 1 з 1  
 Вид № 1  
 Дата  
 Стор. № 1 з 1  
 Пер. доробч.