

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота зосереджена на розробці та аналізі автоматизованої системи для процесу розділення повітря при виробництві азоту. Основною метою є створення нової системи управління, яка має бути більш точною та надійною, ніж та, що використовується наразі. В основі цього проекту - використання системи управління верхнього рівня, але з додаванням нового контролера для локального управління.

Для досягнення цієї мети було проведено докладне вивчення об'єкта автоматизації та існуючої системи. Також було виконано моделювання запропонованої системи, розроблено програмне забезпечення для обраного контролера та складено структурну та функціональну схеми системи.

Ця робота включає опис усіх етапів розробки та дослідження системи автоматичного керування для контролю процесу розділення повітря при виробництві азоту. Такий підхід дозволяє покращити ефективність та точність управління цим складним процесом.

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	6
	АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	7
1.1	Загальні відомості про процес розділення повітря.....	7
1.2	Області використання технічних газів.....	8
2	ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	12
2.1	Технологія отримання азоту.....	12
2.2	Процес і методи розділення повітря.....	15
2.2.1	Кріогенний метод.....	15
2.2.2	Мембранний метод.....	16
2.2.3	Адсорбційний метод.....	17
2.3	Обладнання для розподілу повітря адсорбційним методом.....	19
2.4	Аналіз процесу розподілу повітря як об'єкта управління.....	22
2.5	Вибір та обґрунтування контрольованих та регульованих параметрів процесу розподілу повітря.....	23
2.6	Вибір та обґрунтування приладів та засобів автоматизації для АСУ ТП розподілення повітря.....	24
3	КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	33
3.1	Обґрунтування структурної схеми автоматизації.....	33
3.2	Опис роботи функціональної схеми АСУ ТП.....	38
3.3	Вибір і обґрунтування регулятора.....	39
3.4	Визначення параметрів регулятора.....	41
3.5.	Розрахунок стійкості системи.....	43
3.6	Перевірка параметрів регулятора на оптимальність.....	47
4	НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	49
4.1	Ідентифікація об'єкта управління.....	49
4.2	Аналіз дослідження АСР на стійкість.....	56
5	СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	58
5.1	Вибір мікропроцесорного контролера для АСУ ТП розподілення повітря.....	58
5.2	Вибір ЕОМ для АСУ ТП розділення повітря.....	64
6	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	67
6.1	Заходи безпеки, які необхідні для обслуговування установки, що проектується.....	67
6.2	Заходи безпеки при вибухах газоповітряних сумішей.....	69
	ВИСНОВКИ.....	75
	БІБЛІОГРАФІЯ.....	76

ВСТУП

Комплексна автоматизація виробництва стала необхідністю для забезпечення високої продуктивності праці. У повністю автоматизованих виробництвах роль людини зводиться до керування та налагодження машин та механізмів. Автоматизація полягає у механізації управління виробничим процесом. В такому середовищі обслуговуючий персонал фокусується на налагодженні та ремонті механізмів та систем управління. Але також з'явилася нова сфера застосування праці інженерів на виробництві – розробка математичного забезпечення систем автоматичного управління.

Сучасне виробництво потребує постійного контролю технологічних параметрів, їх точного регулювання та підтримки у заданих межах. Ці завдання ефективно вирішуються за допомогою автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП). АСУТП дозволяє відстежувати параметри, втручатися в процес та забезпечувати оптимальну роботу системи безпосередньо в реальному часі, забезпечуючи ефективне функціонування виробничих процесів.

Основною метою автоматизації є створення повністю автоматизованих виробництв, де людина відіграє ключову роль у створенні програм та контролі за механізмами. Автоматизація сприяє полегшенню праці, покращенню умов праці та підвищенню якості життя. Це також призводить до покращення ефективності та якості продукції, зниження витрат на виробництво та підвищення продуктивності праці.

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Загальні відомості про процес розділення повітря

Обладнання для розділення повітря призначене для отримання з повітря технічних газів: кисню, азоту, аргону, а також, в рамках великих повітророзділювальних комплексів, фракцій рідких газів (криптон, ксенон, неон, гелій). Попередником для існуючих повітророзділювальних установок були ожижители повітря. Перші ожижители являли собою чотирискладну систему охолодження, з кількома контурами охолодження на основі аміаку, борного спирту та деяких фракцій природного газу (пропан, бутан, етан).

Першим, хто отримує кисень з повітря шляхом ректифікації, був Карл Лінде у 1895 році. Він створив кріогенний цикл, за яким працювала установка розділення, надалі її назвали установкою Лінде, а цикл розподілення повітря — цикл Лінде. У цьому циклі застосовувався ізотермічний дросель-ефект, який створювався за рахунок ізотермічного стиснення в компресорі та подальшого розширення через дросельний клапан. Лінде вперше створивши амміачну холодильну машину, яка у подальшому увійшла до циклу розподілу повітря (у 1902 році).

Процес отримання низькотемпературного кисню та рідкої флегми є складним і вимагає використання спеціальних установок. Розробка відбувалася в різний час та за різними методиками, проте одним з ранніх пристосувань було створення установки за циклом низького тиску, розробленого Капіцеєм у 1939 році.

Установки для розділення повітря на рідку та газоподібну фази (жигучу та розділову секції) використовують різні методи розділення компонентів повітря за різницею їх фізичних властивостей, таких як температура кипіння. В рідкій флегмі масова частка кисню може бути вищою, оскільки вона утворюється через підвищення температури кипіння, що сприяє переважанню кисню над іншими компонентами повітря.

Цей процес дозволяє отримувати рідку флегму, де концентрація кисню вища, що може бути корисним у деяких технологічних застосуваннях.

Ожижувальна секція, що включає блок комплексного очищення та осушення, компресор, теплообмінники, розширювач та резервуар для флегми, відіграє ключову роль у процесі отримання рідкого кисню. Основна мета цієї секції - охолодження та очищення стисненого повітря, щоб відділити кисень та інші компоненти повітря.

Теплообмінники використовуються для охолодження стисненого повітря та продуктів, таких як кисень, азот або рідка флегма, шляхом теплообміну з оточуючим середовищем або іншими речовинами. Це дозволяє контролювати температуру процесу для досягнення оптимальної конденсації та розділення компонентів повітря.

Розширювач (детандер або дросіль) використовується для зниження тиску повітря, що призводить до розширення його об'єму та охолодження, що сприяє конденсації кисню. Резервуар для скоплення флегми використовується для зберігання отриманої рідкої флегми.

У системі можуть бути встановлені кілька теплообмінників з різних цільових температур для досягнення необхідного охолодження та забезпечення ефективного розділення повітряних компонентів.

Розділювальна секція в процесі отримання азоту, кисню або аргону зазвичай включає в себе ректифікаційну колону, конденсатор-іспарителя та азото-кисневі теплообмінники. Кількість ректифікаційних колон може відрізнятися в залежності від виду газу, що виходить з установки.

При отриманні азоту установка може містити лише один теплообмінник і не мати конденсатора-випарника.

При отриманні кисню установка зазвичай містить два теплообмінника для забезпечення необхідних температурних умов.

При отриманні аргону в установці може бути третій теплообмінник, що допомагає у досягненні та підтримці необхідної температури для процесу розділення.

Кожен з цих елементів відіграє важливу роль у процесі розділення компонентів повітря, забезпечуючи необхідні умови для відокремлення азоту, кисню або аргону від повітряної суміші.

1.2 Області використання технічних газів

Кисень - це ключовий технічний газ, який використовується у багатьох сферах. У виробництві часто використовується для інтенсифікації горіння та окислення матеріалів. Ось деякі з його застосувань:

Металургія: Кисень використовується для виробництва сталі в конвертерах, де його вплив дозволяє швидко видаляти домішки з металу, знижуючи час процесу.

Машинобудування та металообробка: Використовується для плазмового різання та зварювання металу.

Скляна промисловість: У виробництві скла кисень використовується для зменшення вмісту неплавкого матеріалу та покращення якості.

Хімічна промисловість: Кисень - це важливий окислювач у багатьох хімічних процесах, зокрема у виробництві синтетичних речовин та відбілювачів.

Нафто- та газодобувна галузь: Використовується для підвищення ефективності згоряння при видобуванні та переробці нафти і природного газу.

Електроніка та приладобудування: У виробництві напівпровідників, де кисень використовується для процесу окислення кремнію.

Енергетика: Вугільні електростанції використовують кисень для очищення газів від забруднень.

Харчова промисловість: У пакуванні та зберіганні продуктів для збереження їх свіжості.

Медицина: Використовується у медичних процедурах, а також при виробництві лікарських препаратів.

Це лише декілька прикладів застосування кисню, які відображають його

широкий спектр використання в промисловості та науці.

Аргон та азот відіграють ключові ролі у промислових процесах завдяки своїм особливостям. Аргон, завдяки своїй інертності, часто використовується для захисту від окислення та у різних виданнях технології:

Машинобудування та будівництво: В процесах, де потрібно уникнути взаємодії матеріалів з атмосферою, аргон використовується у дуговому електрозварюванні, термічній обробці металів та складуванні сплавів.

Електроніка та приладобудування: Його використовують для наповнення ламп розжарювання, газорозрядних ламп та збирання чутливих приладів.

Виплавка та обробка металів: В процесах виробництва металів та сплавів аргон використовується для забезпечення захисту від окислення.

Азот, у свою чергу, має широке застосування як в якості активного учасника хімічних реакцій, так і як інертний газ у різних галузях:

Виробництво аміаку та азотних добрив: Азот використовується як основний компонент для виробництва аміаку та азотних добрив.

Технологічні процеси: Використовується для азотування металевих поверхонь, а також у стекольній промисловості для захисту від окислення.

Обидва гази відіграють важливу роль у забезпеченні безпечних та ефективних процесів у різних сферах промисловості.

Використання рідинного азоту в процесах металообробки та охолодження хімічних реакцій є ефективним та широко використовуваним методом.

- Металообробка: Рідинний азот використовується у процесах, таких як галтування. Основна його перевага полягає у наданні потрібної температури, яка може досягати низьких рівнів (приблизно 190 °C), для забезпечення оптимальних умов для обробки металу.
- Охолодження хімічних реакцій: Рідинний азот також застосовується для

охолодження хімічних реакцій. Використання рідинного азоту у якості джерела холоду дозволяє контролювати температуру та забезпечувати оптимальні умови для хімічних процесів.

Установка повітроділювальна Аж-0,6-3 є значущою виробничою одиницею для отримання високочистого азоту у рідкому стані згідно з встановленими стандартами. Зазначена установка забезпечує виробництво азоту з високими стандартами чистоти, що робить її важливим елементом в різних галузях промисловості.

Застосування цієї установки може бути різноманітним і включати:

Хімічну промисловість: Азот високої чистоти знайде застосування у хімічних процесах, де потрібна безперервна подача азоту високої якості для забезпечення оптимальних умов хімічних реакцій.

Електронна промисловість: У виробництві електроніки чистий азот грає важливу роль у процесах виробництва поліпшених електронних компонентів.

Машинобудування: Азот високої чистоти може застосовуватися у машинобудівних процесах для захисту та покращення властивостей металевих конструкцій.

Кольорова металургія: У виробництві кольорових металів (наприклад, алюмінію) чистий азот може бути використаний для покращення та контролю якості продукції.

Ця установка допомагає виробництву забезпечувати високу якість азоту, необхідного для різноманітних промислових процесів, що вимагають високого стандарту чистоти та якості продукту.

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

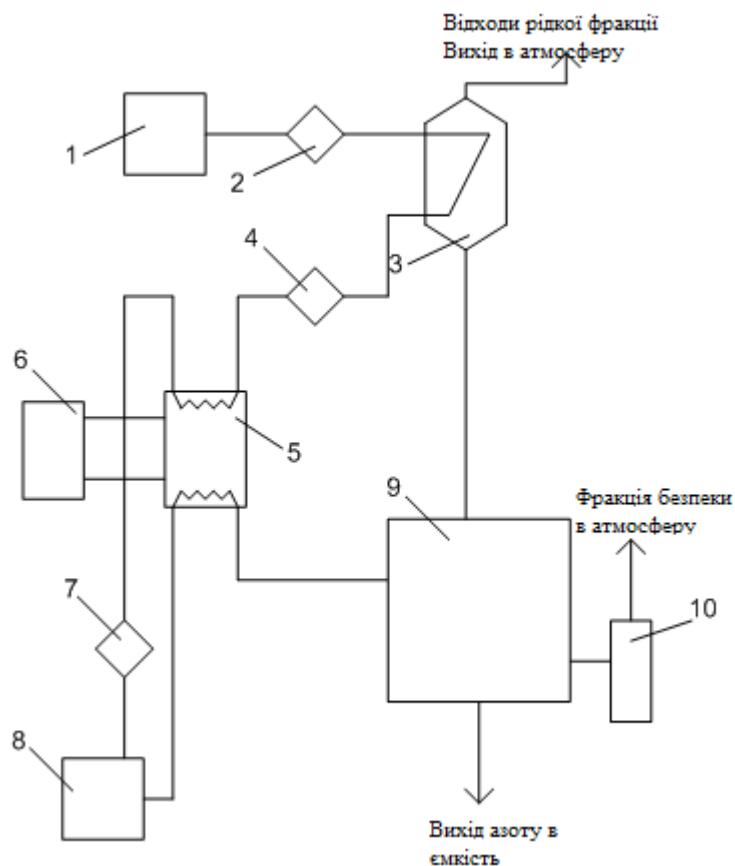
2.1 Технологія отримання азоту

Технологічна схема установки (рисунок 1.1) передбачає її експлуатацію в одному режимі: отримання азоту рідкої особливої чистоти [4].

Установка Аж-0,6-3 складається з наступних частин, наведених у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Складові частини установки повітророзподільної Аж-0,6-3

Найменування	Кількість
Блок поділу у зібраному вигляді повним комплектом	1
Установка очищення повітря повним комплектом	1
Теплообмінник	2
Теплообмінник	1
Теплообмінник	1
Випарник	1
Вологовідділювач	3
Агрегат турбодетандерний ДТ-2,8/0,36	1
Агрегат турбодетандерний ДТ-2,7/6	1
Машина холодильна МП20-12-0	1
Компресор повітряний 4РМІ0-50/7,1	1
Комплект КВП	1
Комплект монтажних елементів	1



1 – компресор, 2 – вологовідділювач, 3 – теплообмінник, 4 – вологовідділювач, 5 – теплообмінник, 6 – компресорно-конденсаторний агрегат, 7 – в вологовідділювач, 8 – блок очищення, 9 – блок поділу, 10 – випарник

Рис. 1.1 – Апаратно-технологічна схема процесу розділення повітря на азот та кисень

Цикл середнього тиску з використанням турбодетандерів для компенсації холодовтрат - ефективний підхід. Рекуперація холоду в трубчастих теплообмінниках і розділене повітря - це чудовий метод оптимізації енергоефективності процесу.

Осушення та очищення повітря від вуглекислоти та вуглеводнів - важливий крок для забезпечення якості та ефективності процесу. Охолодження повітря перед блоком очищення за рахунок холоду зворотного потоку - це також ефективний спосіб підвищення енергоефективності установки.

Відокремлення частини вологи з атмосферного повітря відбувається відокремлювачем, після чого процес продовжується у теплообміннику. Цей теплообмінник відповідає за зниження температури повітря від 40 °С до 17 °С за рахунок теплообміну з відходящим газом.

Цей процес складається з декількох кроків, де головною метою є охолодження повітря та води до певних температур. Водяна пара, яка відділяється у вологовідділювачі, допомагає додатково охолодити повітря. Потім повітря проходить через теплообмінник, де відбувається подальше охолодження за рахунок води до температури 4–6 °С.

У теплообміннику проводиться теплообмін між вологим та сухим повітрям, а також використання холоду з компресорно-конденсаторного агрегату та води, яка перебуває в міжтрубному просторі теплообмінника. Температура води утримується в інтервалі 5–8 °С за допомогою управління роботою компресорно-конденсаторного агрегату, який вмикається та вимикається для підтримки цієї температури.

У цій схемі процеси очищення повітря від вологи, вуглекислого газу і вуглеводнів відбуваються у блоку очищення, де використовуються шари силікагелю та цеоліту для відповідної очистки. Вихідне очищене та сухе повітря подається у теплообмінник для стабілізації температури перед блоком розподілу.

Після блоку поділу при температурі 5 °С вихідний газ проходить через теплообмінник, де нагрівається до 38 °С. Далі частина цього газу відбирається для регенерації та охолодження адсорберів блоку очищення, а решта скидається в атмосферу.

Крім того, для забезпечення вибухобезпечності конденсатора нижня частина колонний блоку розділення постійно зливає 0,25% рідкої відкидної фракції. Ця рідка фракція випаровується у випарнику та викидається в атмосферу для безпечного видалення.

2.2 Процес і методи розділення повітря

2.2.1 Кріогенний метод

Метод кріогенного розподілу основ на тепло-масообмінних процесах, зокрема низькотемпературної ректифікації, основою якої є різниця в процесі кипіння компонентів повітря та різні склади, що знаходяться в рівновазі рідинних та парових сумішей.

Процес розподілу повітря на кріогенних температурах включає масо- і теплообмін між рідкою і паровою фазами компонентів повітря. Парова фаза збагачується низькокиплячим компонентом, тоді як рідка - висококиплячим.

Очищення повітря починається з багатоступеневого компресора, після чого воно проходить через повітряний фільтр для видалення пилу. Далі, вологовідділювач відокремлює воду, яка утворюється при стисканні повітря, та водяний холодильник охолоджує та забирає тепло, що утворюється під час стиску. Для видалення вуглекислого газу використовується апарат – декарбонізатор, заповнений водним розчином їдкою натру. Повне видалення вологи та вуглекислого газу має важливе значення, оскільки їх наявність при низьких температурах може спричинити замерзання в трубопроводах, що може призвести до зупинки установки для їх відведення та очищення.

Цей процес важливий для забезпечення ефективності та безперебійності роботи установки при кріогенних умовах.

Процес розділення повітря на кріогенних температурах включає кілька етапів, починаючи з осушування стиснутого повітря у відокремлювачі, де воно розширюється і охолоджується, що призводить до утворення рідкого повітря. Це рідке повітря потім піддається перегонці в ректифікаційних колонах. Під час поступового іспарення рідкого повітря азот переважно випаровується спочатку, а залишкова рідина збагачується киснем. Цей процес повторюється кілька разів на ректифікаційних тарілках повітроділювальних колон, що дозволяє отримати рідкий кисень, азот та аргон потрібної чистоти.

Розділені гази потім накопичуються у спеціальних кріогенних ємностях. Ефективна ректифікація базується на значній різниці у температурі кипіння рідини азоту та кисню, що дозволяє відокремлювати їх у колонах за допомогою повторюваних процесів конденсації та випаровування. Ця методика дозволяє отримати чисті окремі компоненти повітря для подальшого використання у виробництві та промисловості.

2.2.2 Мембранний метод

Технологія мембранного розділу газу дійсно відіграє важливу роль у сучасній промисловості. Мембранні газороздільні установки засновані на використанні спеціальних мембран, які дозволяють відокремлювати різні компоненти газу на основі їх молекулярних розмірів та властивостей.

Однією з ключових переваг цієї технології є відсутність рухомих частин, що робить її дуже надійною. Це дозволяє уникнути багатьох механічних поломок та збільшує тривалість роботи установок. Така система має високу стійкість до впливу зовнішніх факторів і забезпечує стабільну та ефективну роботу протягом тривалого часу.

Технологія мембранного розділу газу широко використовується у виробництві палива, очищенні газів, водопостачанні та інших галузях, де необхідно ефективно розділяти різні компоненти газу або рідини з високою точністю.

Сучасні поволоконні мембрани, використовувані у газороздільних установках, представляють собою пористі полімерні волокна, які вкриті спеціальним газопроникним шаром на їх зовнішній поверхні. Ці мембрани дозволяють селективно пропускати різні компоненти газу на основі їхніх розмірів частинок та хімічних властивостей.

Газова суміш пропускається через ці мембрани під тиском, і компоненти газу проникають через мембрану залежно від їхньої розмірної пористості та

взаємодії з матеріалом мембрани. Це дозволяє відокремлювати компоненти газу з високою точністю та ефективністю.

Польоволоконні мембрани широко застосовуються у виробництві палива, очищенні газів, водопостачанні, хімічній промисловості та інших галузях, де необхідно високоефективне розділення газових сумішей. Їхня селективна проникність та стійкість роблять їх корисними для численних технологічних застосувань.

Процес розділення повітря через мембрани базується на селективній проникності різних компонентів повітря через полімерні мембрани. Коли повітря проходить через мембранний модуль під тиском, молекули кисню та аргону, які мають більшу проникність через мембрану, переходять через неї та видаляються, залишаючи більшу частину азоту у вихідному потоці.

Через кілька модулів чи стадій проходження через мембрани концентрація азоту збільшується, оскільки більш швидкі молекули кисню та аргону проникають через мембрану швидше, залишаючи позаду більшу частину азоту. Цей процес дозволяє отримувати азот з високим ступенем чистоти, зазвичай у вказаному діапазоні вмісту основної речовини від 93 до 99,5 відсотків.

2.2.3 Адсорбційний метод

Адсорбційний метод розділення повітря на основі вибіркового поглинання різних газів адсорбентами дійсно має чимало переваг, що пояснюють його широке використання:

- a) Висока роздільна здатність: Здатність розділяти газові компоненти залежить від обраного адсорбенту, що дає широкий вибір для певних застосувань.
- b) Швидкість пуску та установки: Порівняно з криогенними установками, адсорбційні установки ввімкнення та налаштування працюють швидше.
- c) Гнучкість установок: Зміна режимів, продуктивності та чистоти простіша

через можливість швидкої регуляції.

- d) Автоматичне та дистанційне управління: Можливість автоматичного регулювання робочих параметрів та управління здалеку полегшує експлуатацію.
- e) Енергоефективність: Адсорбційні установки споживають менше енергії порівняно з криогенними системами.
- f) Простота та низькі витрати на обслуговування: Звільнення від складних процесів та менше необхідних ремонтів зменшують витрати на утримання.
- g) Низька вартість установок: У порівнянні з криогенними технологіями, адсорбційні установки мають менші витрати на початкове обладнання.

Всі ці переваги роблять адсорбційний метод привабливим для використання в різних галузях промисловості та виробництва.

Адсорбційний метод, який використовується для отримання азоту та кисню, дійсно є досить ефективним і має свої переваги. Цей процес базується на вибірковій адсорбції азоту та кисню різними адсорбентами.

Для отримання кисню з повітря використовують факт, що азот адсорбується алюмосилікатними молекулярними ситами швидше, ніж кисень. Це дозволяє відділяти кисень від азоту через адсорбер, що виходить на вихід відносно чистим киснем.

Проте, отриманий кисень має певний рівень забруднення, головним чином аргоном. Чистота кисню за цією технологією становить близько 95%. Регенерація адсорбенту проводиться при атмосферному тиску або вакуумі, щоб відновити його робочі властивості.

Цей метод дозволяє виробляти кисень з заданими параметрами чистоти та ефективно відділяти його від азоту, що має важливе значення в промислових та медичних застосуваннях.

Метод отримання азоту за допомогою адсорбції, як вказано в описаній технології, дійсно є ефективним. Принцип полягає в використанні вуглеродних молекулярних сит як адсорбента, який при підвищеному тиску та

температурі здатний поглинати кисень з поданого повітря, залишаючи азот.

Важливою частиною цього процесу є регенерація адсорбента, яка потрібна для відновлення його робочих властивостей. Це зазвичай здійснюється шляхом скидання тиску, щоб видалити з адсорбента поглинені компоненти. Такий короткий цикл адсорбції з регенерацією через скидання тиску забезпечує отримання азоту високої чистоти.

Установки, як у згаданому випадку Аж-0,6-3, призначені саме для виробництва високочистого азоту, що відповідає стандартам особливої чистоти за ГОСТ 9293-74, використовуючи адсорбційний метод з вуглеродними молекулярними ситами. Чистота азоту, отриманого таким методом, може сягати 99,999%.

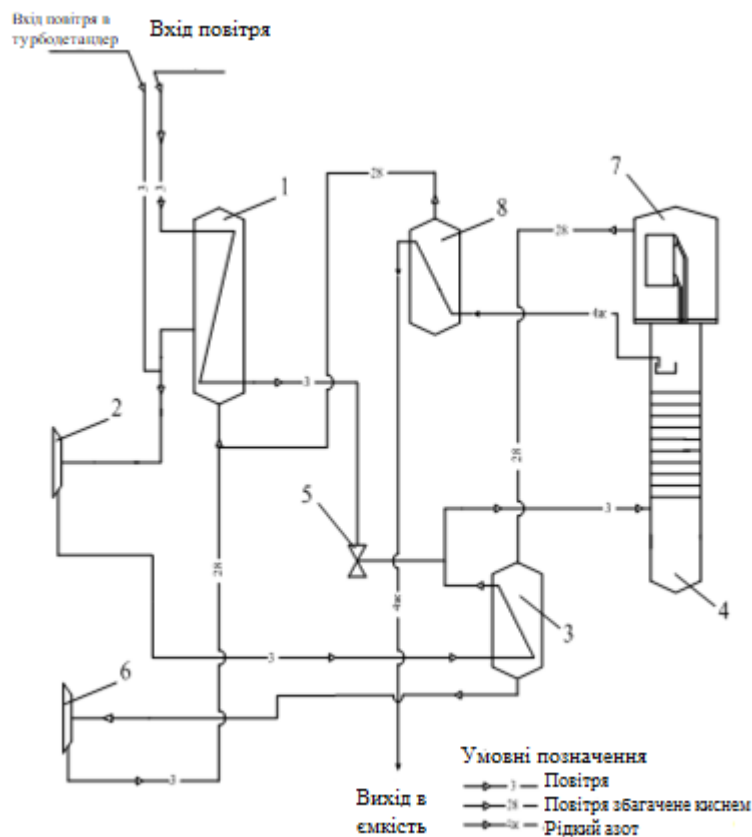
2.3 Обладнання для розподілу повітря адсорбційним методом

Блок розділення установки повітродоздільної Аж-0,6-3 має важливе призначення – здійснювати глибоке охолодження і розділення повітря на потрібні компоненти за допомогою низькотемпературної ректифікації. Цей блок складається з різних елементів, таких як теплообмінна апаратура, випрямні колони, турбодетандер, насос стисненого газу, запірні і регульована арматура, контрольно-вимірювальні прилади.

Матеріали, використані для виготовлення обладнання розділеного блоку, включають нержавіючу сталь, мідь, мідні сплави та алюмінієві сплави. Це важливо для забезпечення стійкості до низьких температур і корозії в умовах роботи цього процесу.

Обладнання розділеного блоку виготовлене в формі єдиної шкіри, внутрішній простір якої заповнено ізоляційним матеріалом, таким як пісок перлітовий марок 75 або 100. Це допомагає забезпечити ефективну теплоізоляцію і підтримувати стабільні умови роботи обладнання при низьких температурах.

Принципова схема блоку розподільної установки повітророзподільної Аж-0,6-3 наведено на рисунку 1.2.



1 – теплообмінник, 2 – турбодетандер, 3 – теплообмінник, 4 – куб випрямної колони, 5 – клапан, 6 – турбодетандер, 7 – конденсатор колони, 8 – теплообмінник.

Рисунок 1.2 Схема блоку поділу

Основний теплообмінник 1 блоку розподілу відіграє ключову роль у роботі. Повітря, яке виходить з теплообмінника, має середню температуру 7 °С. При цьому частина повітря (74%) при надзвичайно низькій температурі мінус 58 °С відбирається і подається до турбодетандера 2.

У турбодетандері 2 це повітря розширюється до тиску 0,62 МПа, що призводить до його охолодження. Потім цей охолоджений газ проходить через теплообмінник 3, де відбувається охолодження за рахунок зворотного потоку вихідного газу до надзвичайно низької температури мінус 167 °С перед тим,

як надходить до колони для подальшого розділення.

Частина повітря, яка йде через нижню частину теплообмінника 1, спочатку охолоджується до мінус 165 °С. Потім через клапан 5 вона дроселюється до тиску 0,57 МПа і змішується з іншим потоком повітря з турбодетандера, щоб потім увійти у ректифікаційну колону.

У цій колоні відбувається розділення повітря на кубову рідину, яка містить 27% кисню, та азотний флегм з крапелькою кисню лише 0,0001%.

Кубова рідина з колони 4 потрапляє до клапана 5, де дроселюється до тиску 0,27 МПа, а потім входить у конденсатор колони 7, де знову розширюється у турбодетандері 6 до тиску 0,04 МПа.

Отриманий рідкий азот з кишені колони спочатку охолоджується в теплообміннику промислового азоту 8 до температури мінус 191 °С. Це охолодження відбувається за рахунок кипіння частини азотної флегми, яка дроселюється до тиску 0,04 МПа. Отриманий рідкий азот, кількість якого складає 600 кг/рік, зливається в ємність.

Потік дросельного азоту з теплообмінника 8 додається до потоку вихідного газу, який розширюється в турбодетандері 6. Потім цей змішаний потік направляється до міжтрубного простору теплообмінника 1 для охолодження прямого потоку повітря.

2.4 Аналіз процесу розподілу повітря як об'єкта управління

Розділення повітря дійсно відіграє важливу роль у промислових процесах. Блок розподілу повітродоздільної установки Аж-0,6-3 є ключовим обладнанням для цього процесу. Він забезпечує розділення повітря на його основні компоненти, такі як кисень, азот і інші, за допомогою різних технологічних етапів, таких як низькотемпературна ректифікація, адсорбція, теплообмін і турбодетандери. Це дозволяє отримувати високочистий кисень і азот для використання у різних галузях промисловості, включаючи хімічну, електронну, машинобудівну та інші галузі.

Схема поділу, як об'єкт управління, з вхідними, вихідними параметрами та керуючими впливами представлено на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Процес розподілу повітря як об'єкт автоматизації

Аналіз вхідних та вихідних параметрів у блоці поділу дозволяє краще розуміти процеси, що протікають, та їхні впливи на виробництво. Збудливі впливи, такі як температура охолоджувальної води, тиск стисненого повітря і число обертів турбодетандера, можуть значно впливати на ефективність процесу і якість виробленого рідкого азоту.

Керуючі впливи, які включають витрату стисненого повітря, води та адсорбера, є ключовими параметрами, які можна контролювати для оптимізації процесу. Їхній точний контроль дозволяє досягати бажаної витрати рідкого азоту та потрібної концентрації кисню у виробленому продукті.

Цей аналіз допомагає зорієнтувати управління процесом розділення повітря, дозволяючи уточнити параметри, які слід контролювати для досягнення бажаних вихідних показників продукції.

2.5 Вибір та обґрунтування контрольованих та регульованих параметрів процесу розподілу повітря

Контроль параметрів у процесі розділення повітря важливий для забезпечення оптимальної ефективності і якості виробленого азоту. При виборі параметрів для контролю слід керуватися необхідністю отримання повної інформації про процес, мінімізуючи кількість контрольованих величин для забезпечення ефективності моніторингу.

Важливість кожного параметру може варіюватись залежно від специфіки процесу, але загалом контролюють параметри, що безпосередньо впливають на розділення повітря і якість виробленого азоту. Це може включати температуру, тиск, витрату стисненого повітря та води, а також концентрацію кисню у виробленому азоті.

Ведення моніторингу та контролю за цими параметрами допоможе підтримувати стабільність процесу і забезпечить високу якість виробленої продукції.

Аналізуючи перелік контрольованих та регульованих параметрів у технологічному процесі розділення повітря. Контрольні параметри дозволяють відслідковувати стан системи та контролювати ключові фактори в процесі. Регульовані параметри, з іншого боку, є тими, що можуть бути активно налаштовані чи змінені для досягнення певних цілей або оптимізації

процесу.

У цьому контексті, контроль тиску та температури перед та після турбодетандерів, а також рівні рідини у кубі колони та теплообміннику, важливі для забезпечення оптимального протікання процесу. Регулювання тиску стисненого повітря дозволяє керувати основним фактором, що впливає на процес розділення повітря.

Ці параметри мають ключове значення для контролю та оптимізації процесу розділення повітря і можуть бути використані для підтримання стабільності та високої якості виробленої продукції.

Отже, ці параметри не лише дозволяють стежити за оптимальними умовами роботи системи, а й відверто впливають на її безперебійність та ефективність.

Температура повітря важлива для уникнення пікових навантажень у процесі переключення адсорберів, що може призвести до непередбачуваних коливань у процесі.

Тиск стиснутого повітря має значення для забезпечення стабільності гідродинамічного режиму та уникнення нестійких режимів у колоні.

Контроль рівня рідини важливий, оскільки недостатній чи занадто великий рівень може спричинити перелив рідини, що може вплинути на безперебійність процесу.

Загалом, ці параметри ідеально показують, як важливо відстежувати та регулювати ключові фактори в технологічних процесах, щоб уникнути аварій та забезпечити ефективну роботу системи.

2.6 Вибір та обґрунтування приладів та засобів автоматизації для АСУ ТП розподілення повітря

Для реалізації розробленої АСУ ТП розділення повітря необхідно зробити вибірку технічних засобів автоматизації: датчиків, виконавчих механізмів, регуляторів засобів.

Вибір давачів для системи автоматичного контролю та регулювання визначається:

- межами та заданою точністю;
- робочими умовами (запиленістю, наявністю агресивних засобів тощо);
- номенклатурою випускаються прилади.

Вибір виконавчого механізму залежить від:

- Від принципу роботи регулятора;
- величини зусиль, необхідних для переміщення регулюючого органу (РВ);

- потрібного швидкого дії;
- умови експлуатації, температури, вологості, запилення, хімічної агресивності доквілля, вибухонебезпечності.

Ці критерії є ключовими при виборі регулюючих органів в технологічних системах. Параметри регульованої середовища, такі як тиск і температура, визначають оптимальний тип та характеристики регулюючих клапанів або інших пристроїв для забезпечення найефективнішого контролю за процесом.

Величина регульованої витрати та її діапазон зміни також є критичними факторами. Вони визначають тип регулятора, який потрібно вибрати, і його можливості у підтримці потрібного рівня витрати при різних умовах.

Умови монтажу та експлуатації важливі для вибору регулюючих органів з урахуванням їхньої надійності, довговічності та можливості легкої установки та обслуговування. Це включає в себе простоту налаштування, доступність для обслуговування та сумісність зі звичайними умовами роботи.

Загалом, врахування цих факторів допомагає підібрати оптимальні регулюючі органи для забезпечення ефективності та безперебійної роботи технологічної системи.

Розглянемо опис інтелектуального давача тиску Метран-150 ТГ, який використовується для перетворення значень тиску на стандартні вихідні сигнали. Заснований на принципі вимірювання деформації чутливого

елемента під дією тиску, що спричиняє зміну електричного опору тензорезисторів у тензомодулі на кремнієвій підкладці.

Важливим аспектом є використання таких датчиків у системах автоматизації та управління технологічними процесами (АСУТП), де вони забезпечують стандартизований вихідний сигнал без потреби в додаткових перетворювачах. Це знижує складність системи та сприяє більш точному контролю технологічних параметрів.

Застосування технологій з плівковими тензорезисторами та АЦП для вимірювання тиску відображає поєднання точності вимірювання та спрощення у використанні цих датчиків у вимірювальних системах.

Розглянемо особливості характеристик обраного давача:

- a) Діапазон вимірювань: Від 0 до 60 МПа - це широкий діапазон, що охоплює значну кількість можливих вимірювань тиску в різних умовах.
- b) Погрішність: Дуже точна основна наведена погрішність до $\pm 0,075\%$ та температурна погрішність до $\pm 0,05 \%/10 \text{ }^\circ\text{C}$ - це вражає своєю точністю вимірювань.
- c) Діапазон температур довкілля: Від -40 до $80 \text{ }^\circ\text{C}$ - це широкий діапазон температур, що вказує на високу стійкість при різних умовах експлуатації.
- d) Діапазон переналаштувань: 50:1 - це великий діапазон, який дозволяє адаптуватися до різних умов та обсягів вимірювання.
- e) Стабільність характеристик: Це важливо для забезпечення надійності вимірювань в тривалий період часу.
- f) Безпека та захист: Вибухозахищене виконання та захист від перехідних процесів - це критичні аспекти для застосування в умовах з підвищеним ризиком.
- g) Самодіагностика: Функція, яка дозволяє виявляти можливі проблеми або несправності в датчику та вчасно їх виправляти.
- h) Перевантажувальна здатність: Це означає, що датчик може витримати значні перевантаження без пошкоджень або втрати точності.

З таким широким спектром функцій та високою точністю цей датчик може забезпечувати надійні та точні вимірювання тиску у великому діапазоні умов.

Давач Метран-150 ТГ приведено на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд давача тиску Метран-150 ТГ

Радарні рівнеміри, як Rosemount 5400, здатні безконтактно вимірювати рівень рідин, що володіють різними характеристиками, від температурних варіацій до різних тисків. Їхні новаторські технології дозволяють точно визначати рівень рідини навіть у складних середовищах, таких як парогазові суміші.

Зазвичай, при вимірюванні рівня рідини в кубі колони або теплообміннику, радарні рівнеміри використовуються для точного визначення рівня продукту в умовах змішання газів і рідин, які можуть бути високотемпературними чи високотисними.

Рівнеміри Rosemount 5400 володіють спеціальними функціями, які забезпечують точне вимірювання рівня рідини у складних середовищах, де можуть бути значні температурні та тискові коливання. Їхні унікальні можливості обробки сигналів дозволяють надійно визначати рівень рідини, що робить їх рекомендованими для застосування в таких умовах, де інші методи вимірювання можуть бути менш ефективними.

Технічні характеристики рівнемірів Rosemount 5400:

а) Вимірювальні середовища: Різноманітні рідини, включаючи

нафтопродукти, луги, кислоти, розчинники, водні розчини, пульпи, суспензії.

- b) Діапазон температур процесу: Від мінус 40 до 150 °С.
- c) Діапазон температур навколишнього повітря: Від мінус 40 до 70 °С.
- d) Вихідний сигнал: 4 - 20 мА з цифровим на базі протоколу HART.
- e) Ступінь захисту від впливу пилу та води: IP 67.

Особливості рівнемірів Rosemount 5400:

- a) Висока здатність слягання за поверхнею: Дозволяє точно вимірювати рівень рідини навіть у складних умовах.
- b) Технологія підвійного порту: Забезпечує високу точність та стійкість вимірювань.
- c) Кругова поляризація: Дозволяє отримувати точні вимірювання в умовах змішаних середовищ.
- d) Динамічна оптимізація діапазону: Автоматично підлаштовується для оптимального вимірювання у різних умовах роботи.

Ці особливості забезпечують високу точність, надійність та ефективність вимірювань рівня рідини в різних середовищах та умовах роботи.

Rosemount 5400 приведено на рис. 2.3.



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд рівнеміра Rosemount 5400

Сигналізатор рівня рідин Rosemount 2110 використовує принцип роботи на основі використання вібраційної вилки з п'єзоелектричним кристалом. Цей пристрій призначений для контролю рівня рідини. Коли вилка знаходиться у

рідині, вона переходить у "мокрый контакт", що призводить до зниження частоти коливань. Це змінює стан контактів у сигналізаторі, сповіщаючи систему управління про зміну стану рівня рідини.

Навпаки, коли рівень рідини зменшується, вилка переходить у "сухий контакт", що збільшує частоту коливань. Це також призводить до зміни стану контактів у сигналізаторі, що відправляє відповідний сигнал системі управління.

Отримані сигнали про зміну стану контактів використовуються для подальшого управління виконавчими механізмами або системами, що контролюють рівень рідини в системах або промислових процесах.

Сигналізатор рівня рідин Rosemount 2110 має вражаючі технічні характеристики та переваги:

- Його можна використовувати для вимірювання рівня рідин з широким спектром властивостей, таких як щільність та в'язкість, при різних температурах та тисках, що робить його універсальним і ефективним в різних умовах. Такі переваги, як стійкість до турбулентності процесу, наявність бульбашок, піни, вібрації, а також вплив твердих речовин, дозволяють надійно працювати навіть у вимогливих умовах.
- Легка установка та різноманітність типів приєднань роблять цей сигналізатор зручним у використанні. Також, його захист від короткого замикання та нечутливість до зміни полярності живлення гарантують надійну та безпечну роботу.
- Важливими перевагами є відсутність рухомих частин, що практично не потребує обслуговування, і наявність функції самоперевірки та світлодіоду для візуального відображення інформації про стан. Регульована затримка перемикачів та магнітна контрольна точка для тестування полегшують експлуатацію цього сигналізатора в різних умовах.
- Малі розміри та маса, а також відсутність необхідності у калібровці, роблять його популярним в різних галузях, де важливо точне та надійне вимірювання рівня рідини.

Rosemount 2110 показано на (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд сигналізатора рівня рідин Rosemount 2110

Вимірювальні перетворювачі Rosemount 3144 Р є надійними засобами для вимірювання температури в різних середовищах. Вони забезпечують універсальність та точність вимірювань завдяки своїм технічним характеристикам та функціональності.

Технічні особливості перетворювачів 3144 Р можуть включати:

- Широкий діапазон вимірювання температур у різних середовищах.
- Висока точність та стабільність показників вимірювання.
- Уніфікований вихідний сигнал, що спрощує інтеграцію в систему управління та контролю.
- Здатність працювати в різних умовах, включаючи широкий діапазон температур і тиску в середовищі.

Ці перетворювачі забезпечують надійну та точну інформацію про температуру, що є критично важливою для контролю та регулювання процесу в турбодетандерах. Їх універсальність та надійність роблять їх популярними для застосування в різних галузях промисловості.

Особливо важливим є широкий діапазон вимірювань від мінус 200 до 300 °С та висока точність показників, що дозволяє використовувати його в різноманітних умовах та для різних додаткових функцій.

Особливості, такі як дистанційне управління та діагностика, можливість вимірювання середньої температури та різності температур, а також підвищена стійкість до електромагнітних полів та радіочастотних помішок,

роблять його універсальним та надійним засобом вимірювання температури для різноманітних застосувань.

Rosemount 3144 P показано (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 Зовнішній вигляд давача Rosemount 3144 P

Давач тиску Метран-150 С G з уніфікованим вихідним сигналом 4-20мА, 0-5мА виявляється універсальним рішенням для вимірювання тиску в різних середовищах. Важливою особливістю є його можливість працювати з нейтральними та агресивними середовищами, що робить його використання більш універсальним та гнучким.

Функціональні можливості, подібні до Метран-150 TG, дозволяють уникнути використання додаткових нормованих перетворювачів, що спрощує систему та робить її більш ефективною і менш витратною в управлінні та обслуговуванні.

Цей датчик тиску досить вражаючий з точки зору своїх технічних можливостей та особливостей. Основні характеристики, такі як великий діапазон вимірювань тиску, мала погрішність вимірювань, а також широкий діапазон температур, роблять його високопродуктивним та надійним для роботи в різноманітних умовах.

Його вибухозахищене виконання і покращений дизайн є ключовими функціями для застосування в небезпечних або вибухонебезпечних умовах. Неперервна самодіагностика та захист від перехідних процесів є важливими аспектами для забезпечення надійності та тривалої роботи датчика.

Висока перевантажувальна здатність вказує на те, що датчик може працювати під високим тиском без ризику пошкодження. Це важливо для

забезпечення безпеки та довговічності обладнання, де він використовується.

Давач Метран-150 G показано (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 Зовнішній вигляд давача тиску Метран-150 С G

ST 0-4500 являється виконавчим механізмом з великим зусиллям на штоку, що може бути корисним для багатьох завдань. Його обмеження за температурою, вологістю та атмосферним тиском важливі для забезпечення його ефективної роботи у відповідних умовах.

Щодо безконтактного пускача реверсивного типу ПБР–2МН, його простота, надійність та дешевизна – це важливі фактори при виборі пускача. Напруга живлення, максимальний комутований струм і вхідний опір – це ключові параметри, які потрібно врахувати при виборі пускача для певного обладнання.

Вибір вентиля грає ключову роль у регулюванні робочого середовища. Здатність вентиля працювати в таких широких діапазонах температур свідчить про його універсальність та можливість використання в різних умовах експлуатації.

Також, передача даних про контроль та регулювання на ЕОМ (електронну обчислювальну машину) вказує на використання сучасних технологій для моніторингу та управління процесами. Це дозволяє проводити більш точний та ефективний контроль за робочими параметрами.

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

У конструкторській частині необхідно виконати розрахунок автоматичної системи регулювання (АСР) тиску стисненого повітря на вході до блоку розподільної установки повітророзподільної АЖ-0,6-3. Розрахунок АСР полягає у виборі закону регулювання та визначення настроєних параметрів промислових регуляторів, що забезпечують оптимальний рівень стійкості та якості процесу регулювання.

3.1 Обґрунтування структурної схеми автоматизації

Система управління робочим блоком була розроблена з метою автоматизації процесу, зниження необхідності вручній роботі персоналу та підвищення продуктивності установки. Вона забезпечує оператора достовірною інформацією про хід технологічного процесу та стан обладнання. Це дозволяє підтримувати стійкий технологічний режим та зменшувати час, протягом якого технічне обладнання працює в менш ефективних режимах.

Комплекс технічних засобів системи управління має дворівневу структуру:

На нижньому рівні система управління виконує важливі завдання:

Збір даних про хід технологічного процесу: від контролерів до датчиків і виконавчих механізмів.

Аналіз цієї інформації для прийняття рішень: система обробляє зібрані дані, враховує різноманітні параметри та створює базу для прийняття рішень наступними рівнями.

Розробка логіки технологічного процесу, яка враховує найсучасніші вимоги: це включає в себе розробку програми, яка керує пристроями та регулює їх роботу з урахуванням вимог процесу.

Видача відповідних керуючих впливів на виконавчі пристрої: система надсилає команди для зміни режимів роботи пристроїв та механізмів

відповідно до зібраної інформації та прийнятих рішень.

На верхньому рівні системи управління реалізуються інші важливі функції:

Візуалізація параметрів: Це означає перетворення зібраної інформації у зручну для сприйняття форму, зазвичай на екрані монітора, щоб оператор міг відслідковувати різні параметри технологічного процесу.

Архівування параметрів: Система зберігає та організовує історичні дані про параметри процесу. Це корисно для аналізу, відстеження тенденцій та виявлення аномалій у процесі.

Видача команд: Це надання команд на вплив на регулюючі органи та виконавчі механізми, базуючись на зібраній та обробленій інформації, а також на рішеннях, що приймаються оператором або автоматичною системою.

Зміна параметрів зовнішніх дій: Це може включати коригування параметрів, які впливають на роботу технологічного процесу, зміни налаштувань, що контролюються системою управління.

Робочий, ручний та налагоджувальний режими визначають функціональність та рівень управління системою:

- **Робочий режим:** В цьому режимі обладнання працює під керуванням контролера, виконуючи заздалегідь задані процеси. Оператор може бути активний для спостереження та контролю, але в основному система працює в автоматичному режимі.
- **Ручний режим:** Цей режим надає можливість оператору чи системі керування вручну керувати пристроями чи обладнанням, зазвичай за допомогою автоматизованих робочих місць (АРМ). Використовується для запуску, зупинки та досліджень нових технологічних режимів.
- **Налагоджувальний режим:** Цей режим призначений для налагодження та налаштування системи. У цьому режимі може здійснюватися блокування роботи обладнання, щоб забезпечити безпеку під час проведення налагоджень та вдосконалення системи управління.

Структурна схема АСУ ТП представлена малюнку 3.1.



Малюнок 3.1 – Структурна схема АСУ ТП розподілення повітря

Це доволі розгалужена система з великою кількістю датчиків та пристроїв для вимірювання та контролю параметрів.

Розберемо позначення:

Датчик тиску стисненого повітря (інтелектуальний датчик тиску Метран-150 ТГ) - вимірює тиск стисненого повітря.

Пускач безконтактний реверсивний ПБР-2М - призначений для пуску та зупинки виконавчих механізмів.

Виконавчий механізм ST 0-4500 - механізм для виконання конкретних дій у системі.

Датчик температури повітря перед турбодетандером 1 (перетворювач вимірювальний Rosemount 3144 P) - вимірює температуру повітря перед першим турбодетандером.

Датчик тиску повітря, що надходить у турбодетандер 1 (інтелектуальний датчик тиску Метран-150 ТГ) - вимірює тиск повітря, що подається у перший турбодетандер.

Датчик температури повітря після турбодетандера 1 (перетворювач

вимірювальний Rosemount 3144 P) - вимірює температуру повітря після першого турбодетандера.

Датчик температури повітря після турбодетандера 2 (перетворювач вимірювальний Rosemount 3144 P) - вимірює температуру повітря після другого турбодетандера.

Датчик тиску повітря, що надходить у турбодетандер 2 (інтелектуальний датчик тиску Метран-150 T G) - вимірює тиск повітря, що подається у другий турбодетандер.

Датчик тиску повітря після турбодетандера 2 (інтелектуальний датчик тиску Метран-150 T G) - вимірює тиск повітря після другого турбодетандера.

Сигналізатор рівня рідини у кубі колони (сигналізатор рівня Rosemount 2100) - визначає рівень рідини у кубі колони.

Датчик рівня рідини у кубі колони (радарний рівнямер Rosemount 5400) - вимірює рівень рідини у кубі колони.

Сигналізатор рівня рідини у теплообміннику (сигналізатор рівня Rosemount 2100) - визначає рівень рідини у теплообміннику.

Датчик рівня рідини у теплообміннику (Rosemount 2100) - вимірює рівень рідини у теплообміннику.

Кожен з цих приладів та датчиків відповідає за вимірювання конкретного параметру або контроль певного елемента системи.

Система використовує різні програмні продукти та технології для вирішення завдань на нижньому та верхньому рівнях управління технологічним процесом.

ISaGRAF: Це програмний продукт, що використовується для вирішення завдань нижнього рівня. Він реалізує мови програмування, передбачені стандартом МЕК 1131-1, що дозволяє програмувати промислові контролери.

Genesis-32: Цей програмний комплекс використовується для розробки, налаштування та запуску систем управління технологічними процесами на верхньому рівні. Він призначений для роботи в реальному часі.

Profibus: Це загальноприйнятий протокол зв'язку, який

використовується для сполучення нижнього та верхнього рівнів системи.

OPC-сервер: Це програмне середовище для зв'язку між верхнім і нижнім рівнями системи. OPC (OLE for Process Control) використовується для обміну даними між різними пристроями у системі в реальному часі.

Simatic S7-300: Це контролер фірми Siemens, що використовується як контролерний компонент. Він дозволяє побудову економічних систем управління та відповідає сучасним вимогам.

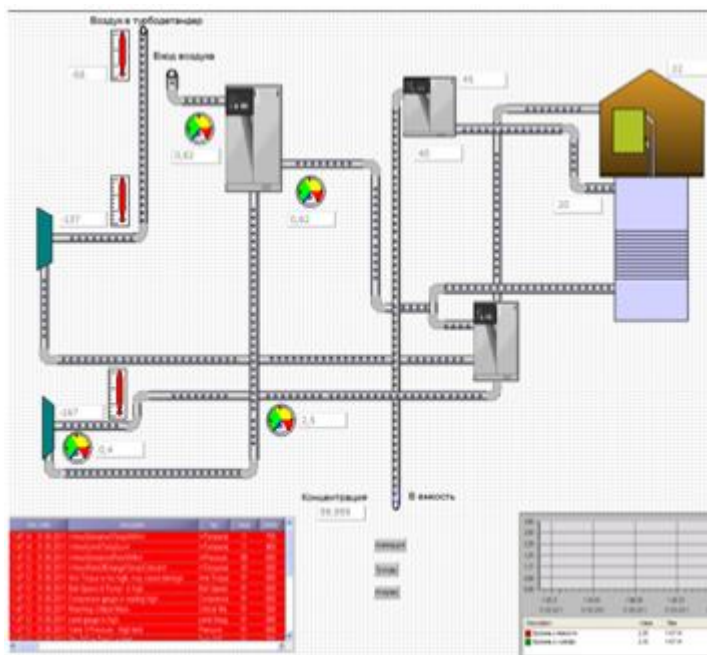
Ці компоненти та програмні продукти використовуються для забезпечення високої ефективності управління технологічними процесами та забезпечення спільної роботи різних частин системи.

На малюнку 3.2 представлена мнемосхема процесу розподілу повітря, виконана в Genesis-32.

SCADA-системи дійсно виконують широкий спектр завдань, пов'язаних із збором, аналізом та керуванням даними з великої кількості віддалених об'єктів або різних розподілених систем.

- Обмін даними з УСО: SCADA-системи взаємодіють з пристроями зв'язку (УСО - устройство сигнализации охранной) для отримання даних з контрольованих об'єктів.
- Обробка інформації за алгоритмами: Отримані дані проходять обробку відповідно до заданих алгоритмів для аналізу, контролю та виконання певних дій.
- Відображення інформації на екрані монітора: Важлива функція SCADA - відображення даних у зручній для користувача формі, що дозволяє операторам моніторити стан системи та приймати управляючі рішення.
- База даних з технологічною інформацією: SCADA зберігає дані про стан об'єктів, їх параметри, зміни в системі, що дозволяє аналізувати цю інформацію та планувати дії.
- Аварійна сигналізація та управління тривожними повідомленнями: SCADA відслідковує надзвичайні ситуації, надсилає сповіщення та дозволяє операторам вживати відповідні заходи.

Ці функції сприяють ефективному контролю за об'єктами та системами, їхній оптимізації та швидкому реагуванню на будь-які події або проблеми, що виникають.



Малюнок 3.2 – Мнемосхема процесу розділення повітря

3.2 Опис роботи функціональної схеми АСУ ТП

Функціональна схема дозволяє відстежувати та регулювати тиск стисненого повітря в системі. Використання інтелектуальних датчиків тиску, таких як Метран-150 ТГ, дозволяє отримувати інформацію про тиск у вигляді струмового сигналу. Цей сигнал перетворюється мікроконтролером SIMATIC S7-300 з аналогової форми у дискретний сигнал, який в подальшому використовується для керування виконавчим механізмом ST 0-4500 та регулюючим органом (вентилем 25 с 997нж).

Така система дозволяє контролювати та підтримувати необхідний тиск повітря в системі розподілу, реагуючи на зміни тиску за допомогою регулюючих механізмів. Такі автоматичні системи контролю дозволяють оптимізувати процес та забезпечувати необхідні умови для правильної роботи обладнання.

Процес вимірювання температури за допомогою перетворювача Rosemount 3144 P дозволяє контролювати температуру повітря до і після турбодетандерів 1 і 2. Дані про температуру виходять у вигляді струмового сигналу 4-20 мА, який передається на аналоговий вхід контролера SIMATIC S7-300 та комп'ютера для подальшого аналізу.

Це дозволяє системі автоматизації отримувати та відстежувати температурні показники для кожного турбодетандера, дозволяючи забезпечувати необхідні умови для роботи та оптимізації процесу. Такий контроль є важливим для підтримання оптимальних умов в системі та попередження можливих перегрівів або недостатньої температури для обробки.

Контроль тиску повітря, що надходить у турбодетандер 2, а також вихідного турбодетандера 2, проводиться однаковими датчиками. Для вимірювання тиску застосовується інтелектуальний давач тиску Метран-150 CG. Результати вимірювань проходять у вигляді струмового сигналу 4-20 мА на аналоговому вході SIMATIC S 7-300 і на ПК.

Контроль рівня рідини у кубі колони і теплообміннику проводиться однотипними давачами. Для контролю рівня рідини застосовується електричний датчик сигналізації рівня Rosemount 2100 (поз. 8-1, 10-1) та радарний рівень Rosemount 5402 (поз. 9-1, 9-2, 11-1, 11-2). Сигнал з електричним датчиком сигналізації рівня Rosemount 2100 подається на дискретний вхід SIMATIC S 7-300 і на ЕОМ. Сигнал 4-20 мА з радарного рівня Rosemont 5402 бути схожим на аналоговий вхід SIMATIC S 7-300 і на ПК. Передбачено світлову сигналізацію нижнього рівня в кубі колони і також у теплообміннику (HL 1, HL 2).

3.3 Вибір і обґрунтування регулятора

Вихідними даними для визначення параметрів параметрів регулятора є

об'єкт управління $K_{про} = 17,72 \frac{\text{кПа}}{\%XPO}$, $\tau_{об} = 1 \text{ с}$, $T_{про} = 4,374 \text{ с}$ і задані показники якості процесу регулювання.

Передатна функція об'єкта має вигляд

$$W(p) = \frac{17,72}{4,374p + 1} e^{-p}$$

Тип регулятора вибирається за відношенням $\tau_{об}/T_{про}$ [12, таблиця 2.1]. Так як $\tau_{об}/T_{об} = 1/4,374 = 0,229 < 1$, то вибирається регулятор неперервної дії.

Для забезпечення заданих значень ΔP , t_r і $\Delta P_{ст}$ необхідно вибрати закон регулювання, для цього розраховується динамічний коефіцієнт регулювання за формулою (9):

$$R_d = \frac{\Delta P_1}{K_{об} \Delta x_{вх.макс.}}$$

$$R_d = \frac{40}{17,72 \cdot 5} = 0,451$$

За графіком [12, малюнок 2.3, б] вибираємо закон регулювання, що забезпечує значення R_d нижче за розрахунковий. Для $R_d = 0,4$ при перерегулюванні ПД-закон забезпечує значення R_d нижче за розрахований.

Далі необхідно провести перевірку, забезпечити чи обраний регулятор допустиму годину регулювання [12, малюнок 2.4, б]. Для ПД-закону регулювання відносини $t_p/\tau_{об} = 9$, звідки знаходимо час регулювання

$$t_p = 9 \cdot \tau_{об}$$

$$t_p = 9 \cdot 1 = 9 \text{ с,}$$

що не вище за допустиму годину регулювання $t_p = 15 \text{ с}$, тому залишково

вибираємо ПІД-регулятор з передаточною функцією

$$W_p(p) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i p} + T_d p\right),$$

де K_p – коефіцієнт посилення регулятора,

T_i – година ізодром,

T_d – година попередження.

Вибраний закон управління гарантує відсутність статичних помилок, тобто. $\Delta P_{ст} = 0$.

3.4 Визначення параметрів регулятора

Розрахунок параметрів регулятора K_p , T_i , T_d зазвичай виконується одним із наступних способів:

- графоаналітичним на основі АФГ об'єкта;
- за розширеними амплітудно-фазовими характеристиками;
- за наближеними формулами;
- за допомогою математичного моделювання.

На практиці налаштування регуляторів визначаються за наближеними формулами

$$K_p = \frac{1,2 \cdot T_{об}}{K_{об} \cdot \tau_{об}}$$

$$T_i = 2 \cdot \tau_{об}$$

$$T_d = 0,4 \cdot \tau_{об}$$

а потім виробляють їх уточнення [12, таблиця 2.2].

Налаштування ПІД-регулятора за наближеними формулами мають наступні значення:

$$K_p = \frac{1,2 \cdot 4,374}{17,72 \cdot 1} = 0,296,$$

$$T_n = 2 \cdot 1 = 2 \text{ с},$$

$$T_n = 0,4 \cdot 1 = 0,4 \text{ с}.$$

Уточнення параметрів проводитиметься за допомогою математичного моделювання. Для цього створено модель системи автоматичного регулювання у середі VisSim . Робоче вікно програми представлено малюнку 3.6.

Для оптимізації необхідні початкові значення інтегральної та диференціальної складової ПІД-регулятора

$$K_p = K_p,$$

$$K_i = K_p / T_i$$

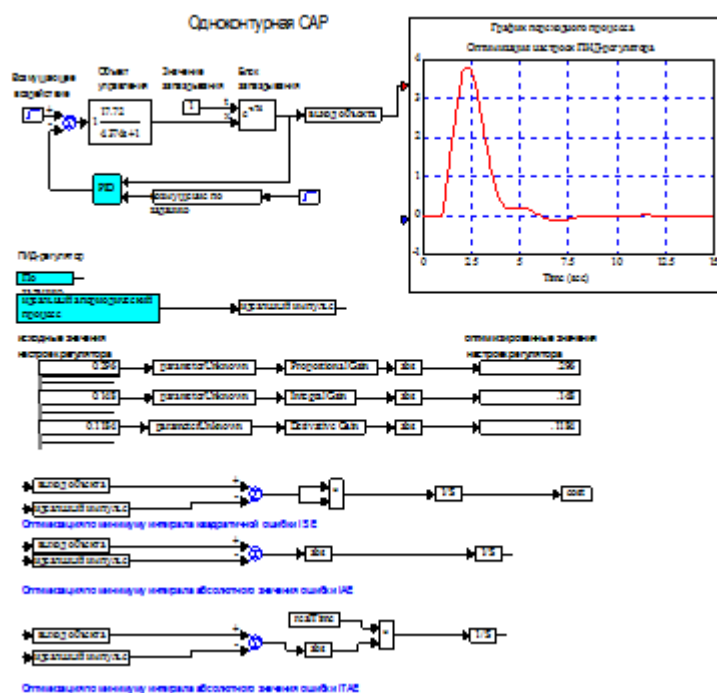
$$K_d = K_p \cdot T_n.$$

Отримуємо

$$D_o p = 0,296,$$

$$D_o i = 0,148,$$

$$D_o d = 0,1184.$$



Малюнок 3.7 – Діаграма моделі одноконтурної АСР

Розраховані значення коефіцієнтів задаємо у відповідні блоки діаграми та проводимо оптимізацію за мінімальним інтегралом абсолютного значення помилки. Результати моделювання зображень на рисунку 3.8.

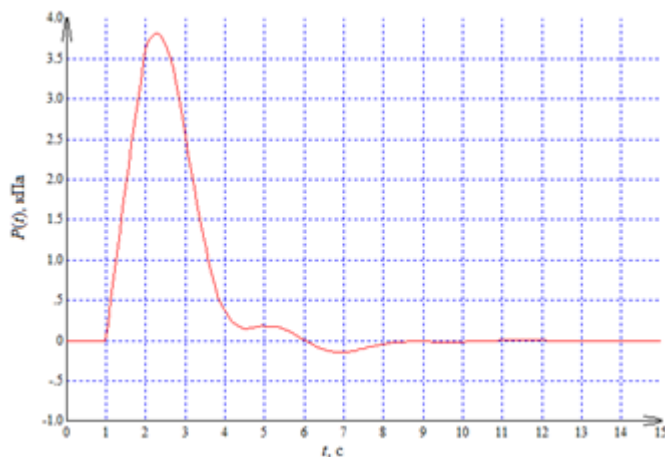


Рисунок 3.8 – Перехідний процес при оптимальних налаштуваннях регулятора

В результаті оптимізації отримані наступні налаштування ПІД-регулятора:

- коефіцієнт посилення регулятора $K_p = K_{p, \text{опт}} = 0,296$;
- годину ізодрому $T_i = K_{p, \text{опт}} / K_{v, \text{опт}} = 0,296 / 0,148 = 2$ с;
- година передварення $T_p = K_{d, \text{опт}} / K_{p, \text{опт}} = 0,1184 / 0,296 = 0,4$ с.

3.5. Розрахунок стійкості системи

Після визначення параметрів регулятора необхідно дослідити стійкість АСР, а також визначити запас стійкості системи за модулем та за фазою, використовуючи частотний критерій Найквіста. Для цього спочатку розраховується амплітудно-фазова характеристика (АФГ) об'єкта. Її одержують підстановкою $p = j\omega$ передавальну функцію розімкнутої системи:

$$W(j\omega) = \frac{17,72 \cdot e^{-j\omega}}{4,374j\omega + 1}$$

АФХ об'єкта без урахування збереження:

$$W(j\omega) = \frac{17,72}{4,374j\omega + 1}$$

У вираженні $W(j\omega)$ необхідно виділити речовинну і уявну частини. Для цього чисельник і знаменник $W(j\omega)$ домножується на спряжене знаменник вираженні:

$$W(j\omega) = \frac{17,72}{1 + 4,374j\omega} \cdot \frac{1 - 4,374j\omega}{1 - 4,374j\omega} = \frac{17,72 - 77,51j\omega}{19,13\omega^2 + 1}$$

Виявлення для речовинної та мнімої частини, відповідно, рівні:

$$P(\omega) = \frac{17,72}{19,13\omega^2 + 1},$$

$$Q(\omega) = \frac{-77,51\omega}{19,13\omega^2 + 1}.$$

Врахуємо заощадження у системі:

$$W_3(j\omega) = e^{-j\omega} = \cos(\omega) - j \cdot \sin(\omega) = P_3(\omega) + j \cdot Q_3(\omega).$$

Тоді АФХ об'єкта буде

$$\begin{aligned} W(j\omega) &= W(j\omega) \cdot W_3(j\omega) = [P(\omega) + j \cdot Q(\omega)] \cdot [P_3(\omega) + j \cdot Q_3(\omega)] = \\ &= [P(\omega) \cdot P_3(\omega) - Q(\omega) \cdot Q_3(\omega)] + j \cdot [Q(\omega) \cdot P_3(\omega) + P(\omega) \cdot Q_3(\omega)]. \end{aligned}$$

Підставивши вираз $P(\omega)$, $Q(\omega)$, $P_3(\omega)$, $Q_3(\omega)$, отримаємо:

$$P(\omega) = \frac{17,72 \cdot \cos(\omega) - 77,51\omega \cdot \sin(\omega)}{19,13\omega^2 + 1},$$

$$Q(\omega) = \frac{-17,72 \cdot \sin(\omega) - 77,51\omega \cdot \cos(\omega)}{19,13\omega^2 + 1}.$$

Знайдемо АФХ регулятора за формулою (18):

$$W_p(j\omega) = K_p \left[1 + \frac{1}{T_n j\omega} + T_n j\omega \right]$$

$$W_p(j\omega) = 0,296 \left[1 + \frac{1}{2j\omega} + 0,4j\omega \right].$$

Розділів $W(j\omega)$ на реальну і уявну частини, одержуємо:

$$P_p(\omega) = K_p,$$

$$Q_p(\omega) = K_p \cdot \left(T_n \omega - \frac{1}{T_n \omega} \right)$$

$$P_p(\omega) = 0,296,$$

$$Q_p(\omega) = 0,296 \cdot \left(0,4\omega - \frac{1}{2\omega} \right)$$

При оптимальних налаштуваннях величини регулятора $P_p(\omega)$ і $Q_p(\omega)$ мають значення, наведені у таблиці 3.5.

АФХ разомкнutoї системи виходить як твори АФХ об'єкта і АФХ регулятора:

$$W_{\text{раз}}(j\omega) = W(j\omega) \cdot W_p(j\omega) = [P(\omega) + jQ(\omega)] \cdot [P_p(\omega) + jQ_p(\omega)].$$

Розділів $W_{\text{раз}}(j\omega)$ на речовинну і мниму частини, одержимо:

$$P_{\text{раз}}(\omega) = P(\omega) P_p(\omega) - Q(\omega) Q_p(\omega),$$

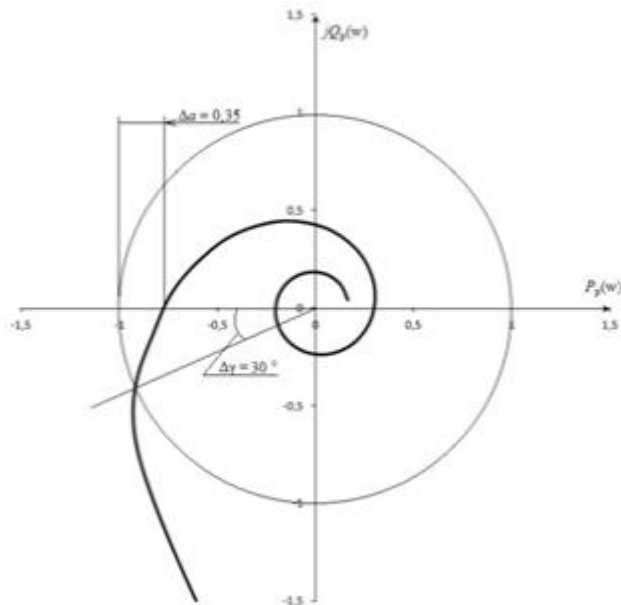
$$Q_{\text{раз}}(\omega) = Q(\omega) P_p(\omega) + P(\omega) Q_p(\omega).$$

Значення $P_{\text{раз}}(\omega)$ і $Q_{\text{раз}}(\omega)$ наведені у таблиці 3.5. АФХ розімкнutoї системи будується на комплексній площині (рисунок 3.8) та виконується аналіз стійкості та якості.

Таблиця 3.5 – Значення АФХ об'єкта, регулятора та розімкнutoї АСР

ш, рад/с	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
P(w)	17,72	14,15	8,09	3,69	1,04	-0,52
Q(w)	0	-7,95	-10,60	-10,08	-8,73	-7,35
Pp(w)	0,296	0,296	0,296	0,296	0,296	0,296
Qp(w)	0	-0,0029	-0,0059	-0,0088	-0,0118	-0,0148
Pраз(w)	5,245	4,165	2,332	1,004	0,206	-0,263
Qраз(w)	0	-2 397	-3,185	-3,018	-2 596	-2,168
ш, рад/с	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
P(w)	-2,76	-2,60	-1,91	-1,07	-0,29	0,33
Q(w)	-2,82	-0,58	0,62	1,19	1,31	1,10
Pp(w)	0,296	0,296	0,296	0,296	0,296	0,296
Qp(w)	-0,0296	-0,0444	-0,0592	-0,0740	-0,0888	-0,1036
Pраз(w)	-0,901	-0,797	-0,529	-0,230	0,030	0,213
Qраз(w)	-0,753	-0,058	0,298	0,435	0,415	0,292
ш, рад/с	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

P(w)	0,72	0,86	0,78	0,54	0,21	-0,11	
Q(w)	0,70	0,23	-0,19	-0,49	-0,64	-0,61	
Pp(w)	0,296	0,296	0,296	0,296	0,296	0,296	
Qp(w)	-0,1184	-0,1332	-0,1480	-0,1628	-0,1776	-0,1924	
Pраз(w)	0,298	0,288	0,203	0,078	-0,050	-0,151	
Qраз(w)	0,122	-0,046	-0,173	-0,235	-0,227	-0,159	
ш, рад/с	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
P(w)	-0,36	-0,50	-0,50	-0,38	-0,19	0,02	0,21
Q(w)	-0,44	-0,20	0,05	0,27	0,40	0,42	0,34
Pp(w)	0,296	0,296	0,296	0,296	0,296	0,296	0,296
Qp(w)	-0,2072	-0,2220	-0,2368	-0,2516	-0,2664	-0,2812	- 0,2960
Pраз(w)	-0,201	-0,193	-0,134	-0,045	0,049	0,126	0,164
Qраз(w)	-0,056	0,0511	0,136	0,179	0,172	0,1199	0,039

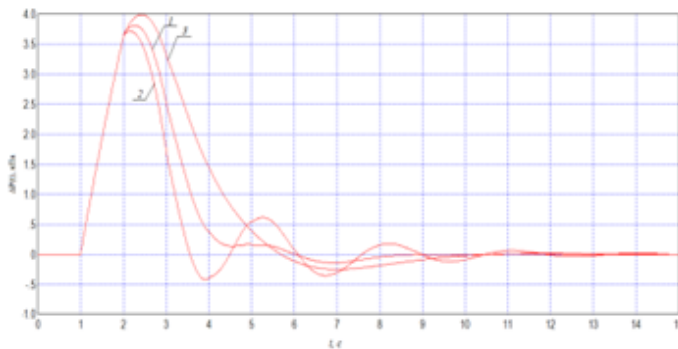


Малюнок 3.8 – АФХ розімкнутої системи

Годограф Найквіста не охоплює точку $(-1; j\omega)$ на комплексній площині, тому система в замкнутому стані стійка і має значний показник запасу стійкості по амплітуді $\Delta a = 0,35$ і по фазі $\Delta \gamma = 30^\circ$, що задовольняє вимогам якості [13].

3.6 Перевірка параметрів регулятора на оптимальність

Необхідно перевірити правильність розрахунку та оптимізацію налаштувань регулятора. Для цього зміни параметрів на 20 % у більшу сторону ($K_p = 0,3552 \frac{\text{кПа}}{\%XPO}$, $K_i = 0,1776 \text{ с}$, $K_d = 0,14208 \text{ с}$) і в меншу сторону ($K_p = 0,2368 \frac{\text{кПа}}{\%XPO}$, $K_i = 0,1184 \text{ с}$, $K_d = 0,09472 \text{ с}$) і одержуємо графіки перехідних процесів зі зміненими параметрами (рисунок 3.9).



1 – перехідний процес з оптимальними налаштуваннями регулятора, 2 – процес із збільшеними налаштуваннями, 3 – процес зі зменшеними налаштуваннями

Рисунок 3.9 – Перевірка параметрів регулятора на оптимальність

Визначимо показники якості отриманих процесів, для зручності сприйняття отримані дані наведено у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Порівняльний аналіз показників якості перехідних процесів

Показники якості	Перехідний процес		
	з оптимальними налаштуваннями ПД-регулятора	зі збільшеними на 20% налаштуваннями ПД-регулятора	зі зменшеними на 20% налаштуваннями ПД-регулятора
Статична помилка $\Delta P_{ст}$, %	0	0	0
Час регулювання t_p , з	9,0	13,3	10,0
Розмір перерегулювання η , %	5,10	10,50	6,25

Аналіз: перехідний процес з оптимальними налаштуваннями кращий, ніж зі збільшеними та зменшеними налаштуваннями, оскільки покращуються показники якості, а саме, збільшується час регулювання, збільшується перерегулювання.

4. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

4.1 Ідентифікація об'єкта управління

Розрахунок ведеться за максимального зовнішнього ступеня збурюючої дії амплітуди $\Delta X_{вх} = 5\%$ ходу регулюючого органу та стрибкоподібного збурюючого дії, при якому знімається перехідна характеристика $A = 1\% \text{ХРО}$;

Показники якості регулювання, що визначаються технологічним процесом:

- Година регулювання $t_p \leq 15$ с;
- статична помилка $\Delta P_{ст.} = 0$;
- динамічне відхилення $\Delta P_1 \leq 40$ кПа;
- перехідний процес з 20 % перерегулюванням.

Експериментальні дані наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Ординати експериментального кривого розгону при $\Delta X_{вх} = 1\% \text{ХРО}$

$\Delta P, \text{кПа}$	0	0	20,0	40,0	60,0	70,0	80,0	86,0	88,0	88,5	88,6
$t, \text{з}$	0	1	2	4	6	8	12	16	20	24	28

Використовуючи дані з таблиці 4.1, будемо перехідну характеристику об'єкта, яка наведена на рисунку 4.1.

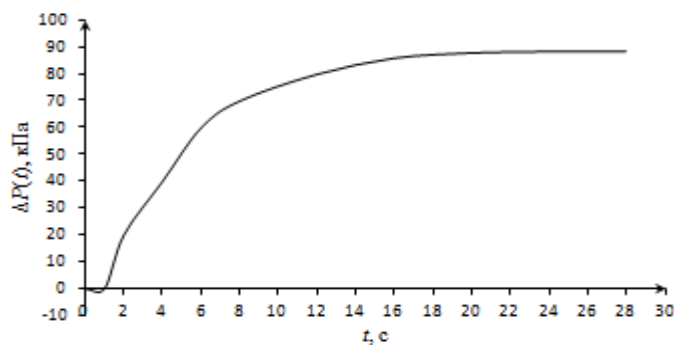


Рисунок 4.1 – Крива розгону об'єкта, знята при стрибкоподібному впливі, що обурює. $A = 1\% \text{ХРО}$

Знайдемо єдину та нормовану перехідні функції.

$$\Delta P_0(t) = \Delta P(t)/A;$$

$$\Delta P_H(t) = \Delta P_0(t)/\Delta P_0(t_H)$$

де $\Delta P_0(t_H)$ – встановлене значення єдиної перехідної характеристики;

A – стрибкоподібне збурююче вплив, при якому знімається перехідна характеристика.

Розрахункові дані для побудови єдиної та нормованої перехідної характеристики наведені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Розрахункові дані для побудови єдиної та нормованої перехідної характеристики

τ, з	0	1	2	4	6	8	12	16	20	24	28
ΔP, кПа	0	0	20,0	40,0	60,0	70,0	80,0	86,0	88,0	88,5	88,6
ΔP ^o (t), кПа	0	0	20,0	40,0	60,0	70,0	80,0	86,0	88,0	88,5	88,6
ΔP _H (t), кПа	0	0	0,23	0,45	0,68	0,79	0,90	0,97	0,99	1,00	1,00

Одинична та нормована перехідні характеристики наведені на малюнку 4.2 та малюнку 4.3.

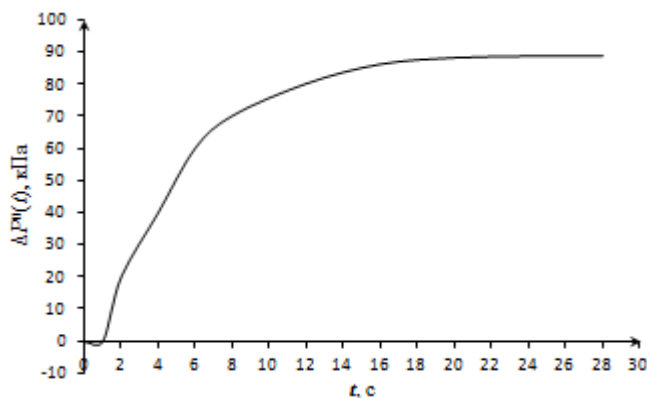


Рисунок 4.2 – Єдина перехідна характеристика

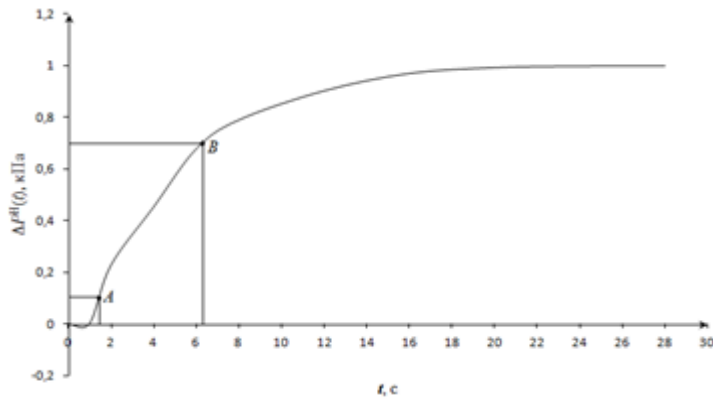


Рисунок 4.3 – Нормована перехідна характеристика

Від залежності $\Delta P^0(t)$ знаходимо величину коефіцієнта посилення об'єкта $K_{об}$ і збереження τ

$$K_{об} = \Delta P^0(t_y),$$

$$K_{об} = 17,72 \frac{\text{кПа}}{\%XPO},$$

$$\tau = 1 \text{ с.}$$

При апроксимації об'єкта послідовним з'єднанням аперіодичної ланки та ланки чистого запам'ятовування визначаємо його динамічні характеристики, для цього відмітимо на графіку нормованої перехідної характеристики (рисунок 4.3) точки А і В, такі, що

$$\Delta P^H(t_A) = 0,1,$$

$$\Delta P^H(t_B) = 0,7,$$

одержимо

$$t_A = 1,4 - 1 = 0,4 \text{ с},$$

$$t_B = 6,4 - 1 = 5,4 \text{ с}.$$

Знайдемо:

- додаткове запізнення

$$\tau_D = \frac{t_{\delta} \cdot \ln(1 - \Delta P_a^H) - t_a \cdot \ln(1 - \Delta P_{\delta}^H)}{\ln(1 - \Delta P_a^H) - \ln(1 - \Delta P_{\delta}^H)} ;$$

$$\tau_D = 0 \text{ c},$$

- загальне запізнення

$$\tau_{об} = \tau + \tau_D$$

$$\tau_{об} = 1 + 0 = 1 \text{ c}$$

- постійний час

$$T_{об} = -\frac{t_a - \tau_{\delta}}{\ln(1 - \Delta P_a^H)},$$

$$T_{об} = -\frac{0,4}{\ln(1 - 0,1)} = 3,81.$$

Таким чином, апроксимуюча передаточна функція має вигляд:

$$W(p) = \frac{K_{об}}{T_{об}p + 1} e^{-p\tau_{об}}$$

$$W(p) = \frac{17,72}{3,81p + 1} e^{-p}.$$

Для визначення точності апроксимації експериментальної перехідної функції рішенням диференціального рівня першого порядку із запізнюючим аргументом розраховуємо ординати апроксимуючої кривої за вираженням (1):

$$\Delta P_{a1}^H(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } 0 \leq t \leq 1; \\ 1 - e^{-\frac{t-1}{T_{об}}} = 1 - e^{-\frac{t-1}{17,72}}, & \text{при } t > 1. \end{cases}$$

Для визначення середньоквадратичних помилок апроксимації обчислимо відношення da_1 за формулою 2.

$$d_{a1} = \left\{ \frac{\Delta P^H(t) - \Delta P_{a1}^H(t)}{\Delta P^H(T_y)} \right\}^2$$

Результати розрахунків наведені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Ординати перехідних функцій

τ, з	0	1	2	4	6	8	12	16
ΔP _н (t), кПа	0	0	0,23	0,45	0,68	0,79	0,90	0,97
ΔP _{на1} (t), кПа	0	0	0,05	0,16	0,25	0,33	0,46	0,57
da ₁	0	0	0,03	0,09	0,19	0,22	0,19	0,16
τ, з	20	24	28					
ΔP _н (t), кПа	0,99	0,99	1,00					
ΔP _{на1} (t), кПа	0,66	0,73	0,78					
da ₁	0,11	0,07	0,05					

Знайдемо середньоквадратичну помилку апроксимації за формулою (3):

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^K [\Delta P^H(t) - \Delta P_{a1}^H(t)]^2}{K}} \cdot 100\%$$

де K – число точок нормованої та апроксимуючої кривої, $K=11$.

$$\delta = 31,7\%$$

Якщо помилка апроксимації більшого допустимого значення 3 %, створюється апроксимація об'єкта послідовним з'єднанням двох аперіодичних зв'язок і ланки запізнювання (рішенням диференціального рівняння іншого порядку із заставним аргументом). Передатна функція матиме вигляд:

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

де T_1 і T_2 – постійні години об'єкта.

Визначення параметрів передаткової функції, виконаних за нормованою перехідною характеристикою (таблиця 3.2, рисунок 3.3).

Знаходимо відносну годину за формулою 5.

$$t_{17}^* = \frac{t_1}{t_7}$$

$$t_{17}^* = \frac{0,4}{5,4} = 0,074$$

Приймаючи $n = 2$, за графіком залежності відносних значень постійної години передаточні функції від відносної години t_{17}^* [10, малюнок 6.2] визначаємо відносні значення постійної години (T_1 , T_2):

$$T_1^* = 0 \text{ с}; T_2^* = 0,81 \text{ с.}$$

Дійсні значення постійної години визначаються за формулами 6, 7:

$$T_1 = T_1^* \cdot t_7$$

$$T_2 = T_2^* \cdot t_7,$$

$$T_1 = 0,$$

$$T_2 = 0,81 \cdot 5,4 = 4,374.$$

Передатна функція об'єкта матиме вигляд:

$$W(p) = \frac{17,72}{4,374p + 1} e^{-p}$$

Знайдемо координати наближеної нормованої кривої за формулою 8.

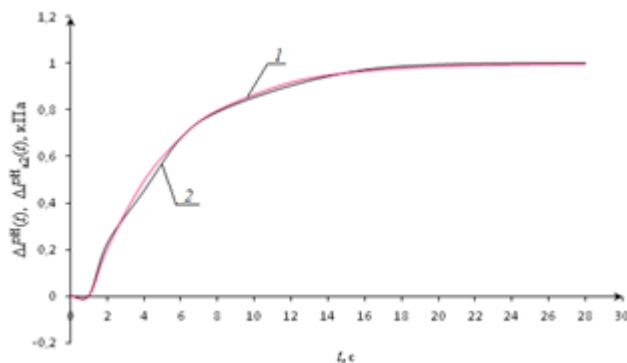
$$\Delta P_{\text{ан2}}^{\text{н}} = \begin{cases} 1 - \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t-\tau}{T_1}} + \frac{T_2}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t-\tau}{T_2}}, & \text{при } t > \tau \\ 0, & \text{при } 0 \leq t \leq \tau \end{cases}$$

$$\Delta P_{\text{ан2}}^{\text{н}} = \begin{cases} 1 - e^{-\frac{t-1}{4,374}}, & \text{при } t > 1, \\ 0, & \text{при } 0 \leq t \leq 1 \end{cases}$$

Результати розрахунків наведені у таблиці 4.4, приближена крива показана на малюнку 4.4.

Таблиця 4.4 – Ординати перехідних функцій

τ, з	0	1	2	4	6	8	12
ΔP _н (t), кПа	0	0	0,23	0,45	0,68	0,79	0,90
ΔP _{на2} (t), кПа	0	0	0,200	0,500	0,680	0,800	0,920
da ₂	0	0	0,0005	0,0020	0,0106	0,0438	0,0002
τ, з	16	20	24	28			
ΔP _н (t), кПа	0,97	0,99	0,99	1,00			
ΔP _{на2} (t), кПа	0,990	0,994	0,997	0,987			
da ₂	0,0260	0,0110	0,0100	0,0260			



1 – нормована; 2 – при апроксимації рішенням диференціального рівня іншого порядку

Рисунок 4.4 – Графіки перехідних функцій Δ P_н (t) і Δ P_{на 2} (t)

За даними таблиці 4.4 розраховується середньоквадратична помилка апроксимації

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^K [\Delta G^H(t) - \Delta G_{an2}^H(t)]^2}{K}};$$

$$\delta = 1,62 \%$$

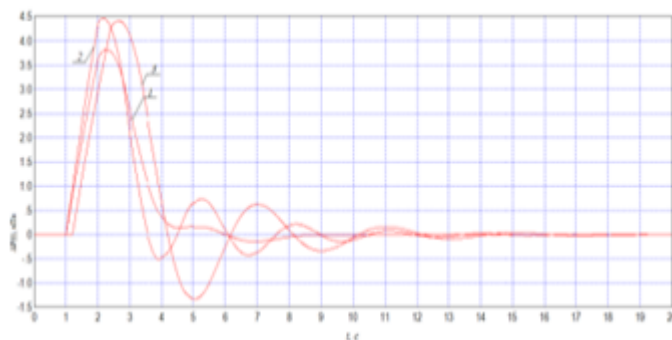
Погрішність апроксимації задовільна, оскільки δ не вище 3 %. Тому остаточно приймаємо апроксимацію об'єкта диференціальним рівнянням іншого порядку.

Передатна функція матиме вигляд:

$$W(p) = \frac{17,72}{4,374p + 1} e^{-p}$$

4.2. Аналіз дослідження АСР на стійкість

Часто параметри управління об'єктом змінюються в годині, або визначені з помилкою. У цих умовах необхідно перевірити розраховану систему на нечутливість (грубість, робастність) до можливих варіацій параметрів системи для наступних умов – підвищення коефіцієнта передачі К об і збереження об'єкта управління. Для цього оцінюють можливі відхилення параметрів об'єкта регулювання та перевіряють систему регулювання з новими параметрами на стійкість шляхом побудованого перехідного процесу. Перехідні процеси з оптимальними параметрами регулятора і з вихідними параметрами об'єкта, зі збільшеним К об на 15 % і збільшеним на 15 % і тоб, наведені на малюнку 4.4.



1 – з вихідними параметрами об'єкта ($K_{об} = 17,72$, $\tau_{об} = 1$), 2 – зі збільшеним на 15 % K про ($K_{об} = 21,264$), 3 – зі збільшеним на 15 % параметрами об'єкта ($K_{об} = 21,264$, $\tau_{об} = 1,2$)

Рисунок 4.4 – Перехідні процеси з оптимальними налаштуваннями регулятора

З графіків, представлених на рис. 4.4, видно, що при зміні параметрів об'єкта (коефіцієнт посилення та збереження) система зберігає свою працездатність. Отже, система роботоздатна до змін параметрів об'єкта.

У даному розділі виконано розрахунок автоматичної системи стабілізації тиску стисненого повітря на вході в блок розподільної установки повітророзподільної Аж-0,6-3. У ході розрахунку була знайдена передатна функція об'єкта, вибраний регулятор виходу з параметрів об'єкта, в даному випадку ПД-регулятор, знайдені його оптимальні параметри, при яких перехідний процес задовольняє затребуваним показникам якості. Було проведено перевірку автоматичної системи стабілізації на стійкість за критерієм Найквіста, система стійка і має достатній запас стійкості як по амплітуді, так і по фазі.

5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Вибір мікропроцесорного контролера для АСУ ТП розподілення повітря

До останнього часу у сфері автоматизації технологічних процесів основну роль відігравали програмовані логічні контролери (PLC - Programmable Logic Controllers) з різних зарубіжних та вітчизняних виробників. Серед найбільш популярних у нашій країні PLC можна відзначити такі зарубіжні бренди, як Allen-Bradley, Siemens, ABB, Modicon, а також вітчизняні моделі: "Ломіконт", "Реміконт", "Мікродат", "Емікон" та інші.

Так, зростання виробництва мініатюрних PC-сумісних комп'ютерів призвело до їх все більшого використання у якості контролерів у системах автоматизованого управління. Одна з основних переваг PC-контролерів полягає в їхній відкритості, що дає змогу використовувати різне обладнання в системах автоматизації від різних виробників. Це означає, що користувач більше не прив'язаний до конкретного виробника обладнання, оскільки PC-контролер може працювати з різними пристроями та відповідними програмами в рамках систем автоматизованого управління.

Так, PC-контролери також мають інші важливі переваги. Одна з них - це більш "рідні" зв'язки з комп'ютерами верхнього рівня. Це означає, що для їх використання не потрібні додаткові витрати на підготовку персоналу, оскільки вони легше інтегруються з вже існуючими комп'ютерами та програмним забезпеченням.

Третя перевага - це більш висока надійність. Надійність контролерів може бути розглянута з фізичної та програмної точок зору. Фізична надійність відноситься до стійкості апаратури до умов промислового середовища та її здатності працювати в таких умовах без втрати продуктивності. Програмна надійність, з свого боку, визначається здатністю програмного забезпечення працювати стійко в ситуаціях, коли потрібні реакції відповідно до заданих

графіків. Це означає, що програмна надійність полягає в стабільності роботи програмного забезпечення у визначені терміни.

Більшість розповсюджених PC-контролерів використовують комерційні операційні системи, такі як Windows, Unix, Linux, QNX та інші. Ці системи зазвичай мають високу програмну надійність порівняно з програмованими логічними контролерами (ПЛК).

Проте операційні системи контролерів повинні відповідати не лише вимогам відкритості, а й вимогам роботи в режимі реального часу. Це означає, що вони повинні бути спроможні виконувати завдання в строго визначених часових рамках без затримок, що особливо важливо в сфері автоматизованого управління. Також важливо, щоб операційні системи були компактними та мали можливість запуску з ПЗУ або флеш-пам'яті для забезпечення стабільності та надійності роботи в умовах промислових середовищ.

Як мікропроцесорний контролер (МК) для управління технологічним процесом розподілу повітря вибираємо Simatic S7-300 фірми SIEMENS (рисунок 5.1) [11].



Рисунок 5.1 – Мікропроцесорний контролер Simatic S7-300

Simatic S7-300 є модульним програмованим контролером, спрямованим на розв'язання завдань автоматизації з низьким та середнім рівнем складності. Цей контролер має широкий асортимент модулів, що дозволяє максимально адаптуватися до потреб конкретних завдань автоматизації.

Однією з особливостей Simatic S7-300 є використання розподіленої структури вводу-виводу та проста можливість інтеграції в мережеві

конфігурації. Це дозволяє ефективно організовувати вводи та виводи контролера, розміщуючи їх у потрібних місцях для оптимальної роботи системи.

Simatic S7-300 є гнучким і пристосовується до різних вимог завдань автоматизації завдяки своїм модульним можливостям та простоті в налаштуванні мережевих конфігурацій.

Контролер Simatic S7-300 має зручну конструкцію, що дозволяє йому працювати за рахунок природного охолодження. Він володіє великою потужністю завдяки вбудованим функціям, а також має можливість розширення функціоналу під час модернізації.

Для вирішення потреб нашого процесу нам потрібні наступні модулі:

Модуль центрального процесора (CPU).

Залежно від рівня складності завдання, в контролерах можуть використовуватися різні типи центральних процесорів. Вони відрізняються продуктивністю, обсягом пам'яті, вбудованими входами-виходами, спеціальними функціями, наявністю або відсутністю комунікаційних інтерфейсів тощо. Вибір конкретного типу CPU залежить від вимог до системи та необхідних функціональних можливостей для вирішення конкретної задачі автоматизації.

Отже, для оптимальної роботи вашої системи управління ми вибрали наступні модулі:

CPU 314: Цей процесор оптимально підходить для управління системою середньої складності та має швидку обробку.

PS 307: Модульний блок живлення, який забезпечує живлення контролера від мережі змінного струму або від джерела постійного струму з різними напругами.

CP 342-5: Цей комунікаційний процесор є інтелектуальним модулем, здатним виконувати обробку комунікаційних завдань у промислових мережах

різних типів, таких як AS-Interface, PROFIBUS, Industrial Ethernet, PROFINET та системи PtP зв'язку.

FM 355S: Цей функціональний модуль є інтелектуальним, оснащеним вбудованим мікропроцесором. Він призначений для виконання різних завдань автоматичного регулювання, звішування, позиціонування, швидкісного лічби, управління переміщенням тощо.

Ця комбінація модулів надає вашій системі управління потужність, необхідну функціональність та здатність працювати з різними типами мереж і завдань автоматизації.

Отже, для встановлення центрального процесора ми обрали ряд функціональних модулів, які здатні продовжувати виконання завдань:

Модуль введення аналогових сигналів SM 331: Цей модуль дозволяє підключити до 10 аналогових датчиків, розширюючи можливості зчитування та обробки аналогової інформації.

Модуль виведення дискретних сигналів SM 322: Цей модуль дозволяє підключити до 10 дискретних пристроїв для керування та управління різними процесами.

Модуль введення дискретних сигналів SM 321: Цей модуль також дозволяє підключити до 10 дискретних датчиків, розширюючи можливості зчитування дискретних сигналів.

Крім того, конструкція контролера Simatic S7-300 вражає своєю гнучкістю та зручністю обслуговування. Можливість встановлення всіх модулів на профільну шину S7-300 та їх фіксація у робочих положеннях за допомогою винтів дозволяє швидко та зручно налаштовувати та обслуговувати систему.

Отже, основні особливості з'єднання та розміщення модулів включають:

Шинні з'єднувачі на задній частині корпусу: Ці з'єднувачі, які входять до комплекту поставки, дозволяють об'єднувати модулі в єдину систему. Вони встановлюються на задню частину корпусу системи.

Довільний порядок розміщення модулів: Модулі можуть бути розміщені у монтажних стійках в будь-якому порядку. Фіксовані посадкові місця займають лише певні модулі, такі як PS, CPU та ІМ.

Знімні фронтальні з'єднувачі: Наявність цих з'єднувачів дозволяє швидко замінювати модулі без демонтажу зовнішніх ланцюгів. Однак, механічне кодування фронтальних з'єднувачів може уникнути помилок під час заміни модулів.

Гнучкі та модульні злучники TOP Connect: Ці злучники істотно прискорюють монтажні роботи та знижують час їх виконання, що сприяє зручності та ефективності обслуговування системи. Усі модулі, які використовують у цьому процесі, наведені у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Перелік вибраних складових модулів мікропроцесорного контролера Simatic S 7-300

Позиція	Найменування	Кільк.
6ES7 321-1CH00-0AA0	Модуль введення дискретних сигналів SM 321	1
6ES7 322-1CF00-0AA0	Модуль виведення дискретних сигналів SM 322	1
6ES7 331-7KB02-0AB0	Модуль введення аналогових сигналів SM 331	1
6ES7 314-3XL04-0AB0	Центральний процесор CPU 314	1
6ES7 355-1VS00-0AE0	Функціональний модуль FM 3 5 5	1
6ES7 307-0DA01-0AA0	Блок живлення PS 307	1
6GK7 342-5EX20-0XE0	Комунікаційний процесор CP 342-5	1

Усі модулі встановлені в щит шафового виконання Rittal IP 55800×1000×300.

Програмування контролера здійснюють за допомогою поставляється в комплекті з контролером програми Simatic STEP 7.

За допомогою цієї програми виконується комплекс робіт з створення та обслуговування системи автоматизації на основі програмованих логічних контролерів (ПЛК) Simatic S 7-300 і Simatic S 7-400 фірми Siemens . В першу чергу це робота з програмування контролерів. На ПЛК поставлено завдання збору сигналів від датчиків та їх обробки за прикладною програмою

користувача з видачею керуючих сигналів на виконавські пристрої. В основі роботи лежить концепція проекту, під якою розуміється комплексне рішення задач автоматизації, включаючи кілька взаємозв'язаних контролерів, що з'єднують їх мережі та систему людино-машинного інтерфейсу. Робота з проектом в цілому забезпечує основну утиліту КРОК 7 – Simatic менеджер . STEP 7 дозволяє виконати конфігурацію програмованих логічних контролерів та мереж (утиліти HWConfig та NetPro).

У процесі конфігурації системи визначається загальний склад обладнання, різноманітні модулі, їх взаємна відмінність, методи підключення та використовувані мережі. Також обираються параметри для кожного модуля, що використовується. Система перевіряє правильність використання та підключення окремих компонентів. Конфігураційний процес завершується завантаженням обраної конфігурації в обладнання, що по суті є налаштуванням обладнання. Утиліти конфігурації дозволяють проводити діагностику обладнання, виявляти апаратні помилки чи неправильний монтаж обладнання. Цей процес дозволяє забезпечити оптимальну роботу системи та виявити та виправити можливі проблеми з обладнанням.

Програмування контролерів здійснюється за допомогою редактора програм, який дозволяє створювати опис програми на трьох основних мовах:

LAD (ЛАД) – мова релейно-контактної логіки, яка використовує символіку подібну до електричних схем;

FBD (ФБД) – мова функціональних блокових діаграм, яка базується на графічних блоках, що відображають логіку функцій;

STL (СТЛ) – мова списку інструкцій, яка представляє програму у вигляді послідовності команд.

Окрім цих основних мов, можуть бути додані ще чотири додаткові мови, які надаються окремо:

SCL (СКЛ) – структурована мова управління, синтаксис якої подібний

до Pascal;

ГРАФ 7 – мова керування послідовними технологічними процесами, що орієнтована на послідовність дій;

HiGraph 7 – мова управління з урахуванням графа станів системи, яка враховує стани системи та переходи між ними;

CFC (СФС) – постійні функціональні схеми, що репрезентуються у вигляді графічних схем.

Ці мови надають широкий спектр інструментів для програмування контролерів, дозволяючи розробникам використовувати різноманітні підходи та методи при створенні програмного забезпечення для управління обладнанням.

Можливість спостереження за поточним станом програм доступна для будь-якої мови програмування і не лише полегшує процес налагодження програмного забезпечення, але й дозволяє виявляти несправності в підключеному обладнанні, навіть у випадках, коли воно не має власних засобів діагностики.

У проекті STEP 7 можуть бути включені системи людино-машинного інтерфейсу (НМІ), такі як операторські панелі, які конфігуруються за допомогою програмного забезпечення Siemens, такого як ProTool або WinCC Гнучкий, або ж використання персональних комп'ютерів з програмним забезпеченням WinCC. Інтеграція проектів для НМІ в рамках STEP 7 передбачає автоматичне зв'язування проектів для контролера та операторського інтерфейсу, що прискорює процес проектування та дозволяє уникнути помилок, пов'язаних із розділом використання програм. Ці переваги у повному обсязі виявляються при використанні системи проектування PCS 7, що також базується на STEP 7.

5.2. Вибір ЕОМ для АСУ ТП розділення повітря

Цифрова та графічна інформація обробляється на комп'ютерах, тому

вимоги до їхньої надійності значно підвищуються. Загальні вимоги, які не можуть бути виконані персональними комп'ютерами через їхні обмеження, призвели до вибору промислового комп'ютера для створення автоматизованої системи управління. Було обрано панельний комп'ютер фірми Advantech моделі PPC –140/120 з процесором Pentium MMXTM. Цей комп'ютер буде працювати в режимі "радника" і матиме наступні функції:

Моніторинг параметрів для ефективного керування процесом у реальному часі.

Сигналізація при виході параметрів за межі припустимих значень.

Відображення графічної інформації про прогрес технологічного процесу на моніторі.

Введення інформації, отриманої з лабораторії.

Друк цифрової та графічної інформації.

Особливий акцент у функціонуванні комп'ютерів робиться на завданні пошуку оптимальних рішень та видачі рекомендацій оператору. Ця функція виконується наступним чином: дані про стан об'єкта, що надходять з мікропроцесорного контролера, аналізуються визначеними інтервалами часу за допомогою математичної моделі (ММ). Математична модель також визначає впливи, необхідні для наближення процесу до оптимального стану, та результати цього аналізу подаються оператору. Остаточне визначення та реалізація керуючих дій залишаються у сфері управління оператора. Зміни в установках мікропроцесорного контролера здійснюються через комп'ютер.

Отже, крім зазначених можливостей, комп'ютер може працювати у режимі навчання технічного персоналу. У цьому випадку усі впливи, введені оператором, не надсилаються до мікропроцесорного контролера, але ретельно обробляються математичною моделлю. На моніторі виводиться графік реакції об'єкта управління на керуючі впливи, введені оператором. У цьому режимі мікропроцесорний контролер керує процесом відповідно до завдань, переданих йому перед відключенням режиму "радника".

Для уникнення виходу з режиму "радника" і необхідності завантаження

пам'яті комп'ютера, на якому працює оператор-технолог, рекомендується встановити паралельно звичайний персональний комп'ютер. Цей комп'ютер буде використовуватися для навчальних цілей, включаючи процеси навчання без втручання в роботу основного обладнання.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Заходи безпеки, які необхідні для обслуговування, установки, що проектується.

Перебування працівників поблизу люків, лазів, водовказівних стекол, а також біля запірної, регулювальної та запобіжної арматури і фланцевих з'єднань трубопроводів, що перебувають під тиском, дозволяється тільки у разі виробничої необхідності.

Не дозволяється ходити по трубопроводах, а також по конструкціях і перекриттях, що не призначені для проходу по них, а також спиратись і ставати на огороження площадок.

Під час пуску, обпресування та випробовування обладнання і трубопроводів під тиском поблизу них дозволяється перебувати тільки працівникам, які безпосередньо проводять ці роботи.

.Під час проведення гідравлічного випробування обладнання у разі підвищення тиску до випробувального перебування працівників на цьому обладнанні заборонено.

Дозволяється проводити огляд зварних швів випробовуваних трубопроводів і обладнання тільки після зниження випробувального тиску до робочого — без простукування зварних швів.

Працівники, які не беруть участі у проведенні розшлаковування та обдування котла, продування нижніх точок, а також у разі несталих та аварійних режимів повинні бути виведені у безпечне місце.

Працівники будь-якого цеху у разі виявлення свищів у паропроводах, камерах, колекторах та трубах котла, що не обігріваються, живильних трубопроводах і корпусах арматури тощо повинні негайно повідомити про це начальника зміни цеху (блока, району) і керівника (виконавця) робіт — для вжиття необхідних заходів.

Небезпечну зону слід обгородити і вивісити застережні знаки безпеки "Обережно! Небезпечна зона", а біля входу до Неї — заборонний знак безпеки "Вхід (прохід) заборонено".

Заборонено проводити пуск, випробування і короткочасну роботу механізмів або пристроїв за відсутності огорожень або у разі їхнього несправного стану. Заборонено також прибирати поблизу механізмів, які не мають запобіжних огорожень.

Під час чищення, прибирання і змащування обертових або рухомих частин механізмів не дозволяється перелазити через огороження або просовувати за них руки; не дозволяється також намотувати на руку або пальці обтиральний матеріал — під час обтирання зовнішньої поверхні працюючих механізмів.

Як обтиральні матеріали слід використовувати бавовняні або лляні ганчірки.

Надягати і знімати рушійні паси, а також підсипати каніфоль та інші матеріали дід паси і стрічки конвеєрів дозволяється тільки після повного зупинення обладнання.

В газонебезпечних зонах металеві частини механізмів з пасовими приводами, де можлива поява статичної електрики, повинні бути заземлені.

Поправляти на ходу рушійні паси, зупиняти вручну обертові і рухомі механізми заборонено.

Перед кожним пусковим пристроєм (крім пристроїв дистанційного керування) електродвигунів напругою більше 1000 В, а також електродвигунів напругою до 1000 В, якщо вони установлені в приміщеннях з підвищеною небезпекою або особливо небезпечних, повинні бути діелектричні килими, а у сирих приміщеннях — ізолювальні підставки.

Брати в руки, торкатись обірваних, завислих, оголених, з пошкодженою ізоляцією проводів або струмопровідних предметів (дротів, труб, тросів, мокрих вірвовок тощо), що стикаються з цими проводами, а також наступати на проводи, що лежать на землі чи підлозі, заборонено.

6.2. Заходи безпеки при вибухах газоповітряних сумішей

Стаття 4 Кодексу цивільного захисту України визначає, що держава забезпечує захист населення, територій, навколишнього природного середовища та майна від надзвичайних ситуацій шляхом запобігання таким ситуаціям, ліквідації їх наслідків і надання допомоги постраждалим у мирний час та в особливий період.

Термін «надзвичайна ситуація» трактується як обстановка на окремій території чи на підприємстві на ній, яка характеризується порушенням нормальних умов життєдіяльності населення, спричинена катастрофою, аварією, пожежею, стихійним лихом, епідемією, епізоотією, епіфітотією, застосуванням засобів ураження або іншою небезпечною подією, що призвела (може призвести) до виникнення загрози життю або здоров'ю населення, до великої кількості загиблих і постраждалих, завдання значних матеріальних збитків, а також до неможливості проживання населення на такій території чи об'єкті та провадження на ній господарської діяльності.

Аварією є небезпечна подія техногенного характеру, яка спричинила ураження, травмування населення або створює на окремій території чи території підприємства загрозу життю або здоров'ю населення та призводить до руйнування будівель, споруд, обладнання і транспортних засобів, порушення виробничого або транспортного процесу чи спричиняє наднормативні, аварійні викиди забруднюючих речовин та інший шкідливий вплив на довкілля.

Катастрофа — це велика за масштабами аварія чи інша подія, яка призводить до тяжких наслідків.

Вибухи: коротка характеристика

Вибух — це надзвичайно швидке хімічне перетворення речовини з миттєвим виділенням великої енергії в невеликому об'ємі. Суттєвою ознакою вибуху є різке збільшення тиску, яке викликає у навколишньому середовищі ударну хвилю. Вибух має велику руйнівну силу та може бути не

тільки наслідком пожеж, але й їх причиною. Найчастіше відбуваються вибухи котлів у котельнях, обладнання промислових і побутових газопроводів, вибухи технологічних апаратів на хімічних підприємствах, а також спрацювання вибухових пристроїв внаслідок терористичного акту.

Вибухи можуть виникати за таких обставин:

у початковий період експлуатації виробництва внаслідок недоліків, допущених у процесі проектування або через неякісне виконання монтажних робіт;

в основний період експлуатації виробництва (через несправність контрольно-вимірювальних приладів та елементів обладнання, порушення вимог безпеки та технології, недостатній нагляд і контроль за роботою устаткування, незадовільне проведення планово-профілактичних ремонтів);

у період так званого старіння елементів технологічного обладнання (через корозію матеріалів, зношеність деталей, відсутність капітальних і поточних ремонтів).

В останнє десятиріччя від третини до половини всіх аварій на виробництві пов'язано з вибухами технологічних систем та обладнання: реакторів, ємностей, трубопроводів тощо.

Для запобігання вибухам на підприємствах впроваджують систему вибухобезпечності.

Вибухобезпечність — це такий стан виробничого процесу, під час якого виключається можливість вибуху або ж у разі його виникнення відвертається дія на людей викликаних ним небезпечних та шкідливих факторів і забезпечується зберігання матеріальних цінностей.

Джерело, в якому є запас енергії або температури, достатній для ініціювання вибуху вибухонебезпечного середовища виробничого процесу, називають джерелом ініціювання вибуху.

Вибухопередження характеризується заходами, які унеможливають виникнення вибуху, а вибухозахист — заходами, які запобігають дії на людей

небезпечних і шкідливих чинників вибуху і забезпечують збереження матеріальних цінностей.

Порушення, що призводять до надзвичайних ситуацій

Відповідно до статистичних даних, основними причинами вибухів на промислових підприємствах такі.

1. Несправність виробничого устаткування і порушення технологічного процесу (розгерметизація устаткування і установок, які виділяють горючі або вибухонебезпечні гази, пару або пил, порушення установлених протипожежних правил в технологічному процесі, несправність вогнезатримувальних пристроїв у повітроводах вентиляційних систем тощо).

Недопущення вибухів через вказані причини можна досягти шляхом підвищення відповідальності персоналу підприємств за якість монтажу, технічного нагляду, своєчасного проведення перевірок і планово-запобіжних ремонтів технологічного устаткування, а також за умови дотримання технологічного регламенту експлуатації.

2. Несправність і перевантаження (перегрівання) електричних пристроїв (неправильний вибір перерізу проводів електромереж і підбір електрообладнання, електродвигунів і світильників, несправність в електромережі, електрообладнанні, відсутність або несправність заземлення.

Уникнути цих причин можна, посиливши контроль за дотриманням правил улаштування електроустановок під час монтажу електрообладнання та за правильною його експлуатацією.

3. Необережне поводження з вогнем (куріння і застосування відкритого вогню в заборонених місцях, залишення без нагляду електронагрівальних приладів, перевірка витікання газу за допомогою відкритого вогню, а також підігрівання масла, оліфи тощо). Для усунення цих причин необхідно підвищувати рівень виробничої дисципліни, встановлювати в цехах суворий протипожежний режим.

4. Порушення правил пожежної безпеки під час вогневих робіт (недбале проведення електрогазозварювальних робіт у виробничих приміщеннях, робіт під час ремонту технологічного обладнання, в складських приміщеннях тощо).

Аварії, пов'язані з вибухами, які виникають на вибухопожежонебезпечних об'єктах, становлять особливу небезпеку для персоналу підприємства та для населення оточуючої території.

Фактори ураження. Ударна хвиля

Факторами ураження в аваріях на вибухопожежонебезпечних об'єктах є повітряна ударна хвиля з утворенням великої кількості осколків, уламків будівель і споруд, висока температура від горіння різних речовин і матеріалів та забруднення повітря в осередку ураження продуктами горіння, зокрема чадним газом.

При вибуху на вибухопожежонебезпечних об'єктах персоналу може постраждати як від прямого впливу ударної хвилі, так і від літаючих уламків обладнання, каменів, осколків скла тощо. Збиток, який заподіюється ударною хвилею житловим і промисловим будівлям, може проявлятися у вигляді повних руйнувань, сильних, середніх і слабких, залежно від потужності вибуху.

При повних руйнуваннях руйнуються всі елементи будівлі, включаючи несучі конструкції поверхів. При сильному руйнуванні обвалюються несучі конструкції і перекриття верхніх поверхів, після цього будівлі відновленню не підлягають. При середніх і слабких руйнуваннях пошкоджені будівлі можна відновити.

Пожежі, які виникають внаслідок вибухів, спричиняють руйнування споруд або деформацію їх елементів від високих температур та призводять до утворення різних концентрацій хімічно небезпечних речовин.

Факторами ураження для людей в цих умовах є високі температури, що призводять до опіків різного ступеня, і наявність в продуктах горіння хімічно небезпечних речовин, що призводять до отруєнь різних ступенів.

Основними параметрами, що визначають інтенсивність ударної хвилі, є надмірний тиск у фронті і тривалість фази стиснення. Ці параметри залежать від маси заряду вибухової речовини певного типу (тобто, енергії вибуху), висоти, умов вибуху та відстані від його епіцентру.

Зони дії вибуху

Розрізняють три зони дії вибуху:

зона I — дія детонаційної хвилі. Конструкції руйнуються на уламки, розлітаються з великими швидкостями від центру вибуху;

зона II — дія продуктів вибуху. Відбувається повне руйнування будинків і споруд. На зовнішньому кордоні цієї зони утворюється ударна хвиля, яка рухається самостійно від центру вибуху. Вичерпавши свою енергію, продукти вибуху, розширившись до щільності, що відповідає атмосферному тиску, не справляють більше руйнівної дії;

зона III — дія повітряної ударної хвилі. Ця зона включає три підзони: IIIa — сильних руйнувань, IIIб — середніх руйнувань, IIIв — слабких руйнувань. На зовнішній межі зони III ударна хвиля перетворюється на звукову, яку чути на значних відстанях.

Характер і ступінь ураження людей залежать від величини параметрів ударної хвилі, положення людини в момент вибуху та ступеня її захищеності. За інших рівних умов найбільш важкі ураження отримують люди, що перебувають в момент приходу ударної хвилі поза укриттями в положенні стоячи. У цьому разі площа впливу швидкісного напору повітря буде приблизно в 6 разів більшою, ніж в положенні людини лежачи.

Травми, які виникають під дією ударної хвилі, поділяються на легкі, середні, важкі і вкрай важкі (смертельні); їх характеристики наведені нижче:

легкі — легка контузія, тимчасова втрата слуху, забої та вивихи кінцівок; середньої тяжкості — травми мозку, непритомність, пошкодження органів слуху, кровотеча з носа та вух, сильні переломи й вивихи кінцівок;

тяжкі — сильна контузія всього організму, пошкодження внутрішніх органів і мозку, тяжкі переломи кінцівок; можливі смертельні наслідки;

вкрай тяжкі — зазвичай призводять до смерті.

Непрямий вплив ударної хвилі полягає в ураженні людей уламками будівель і споруд, камінням, битим склом та іншими предметами. При слабких руйнуваннях будівель загибель людей малоімовірна, однак частина з них може отримати різні травми.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто розробку автоматизованої системи процесу розподілу повітря при виробництві азоту.

У технологічній частині розглянуто технологію розподілу повітря, основне технологічне обладнання для цього процесу.

У конструкторській частині розглядається процес повітророзподілу як об'єкт управління. Була обрана структура АСУ ТП розподілення повітря, вибрані керовані та регульовані параметри, прилади та засоби автоматизації, вибраний мікропроцесорний контролер Simatic S 7-300 і ЕОМ, розроблена мнемосхема процесу розподілу повітря в SCADA -системі GENESIS -32. Були розроблені наступні схеми: схема функціональної автоматизації, принципова електрична схема контролю, загальний вигляд щита контролера, монтажно-комутаційна схема щита контролера.

У спеціальній частині проекту розроблено АСР тиску повітря в блоці поділу, знайдені параметри об'єкта. В результаті розрахунків обраний ПДД-регулятор безперервної дії, виконана оптимізація ПДД-регулятора та знайдені оптимальні параметри ПДД-регулятора. Також система досліджена на стійкість за критерієм Найквіста. Аналіз отриманих результатів показав, що температура АСР у кубі-випарнику стійка і має запас стійкості по амплітуді $\Delta a = 0,35$ і по фазі $\Delta \varphi \approx 35^\circ$, а також є робастною.

У розділі охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях здійснено аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів проекрованої ділянки, розглянуто технічні та організаційні заходи з охорони праці, пожежної та вибухової безпеки.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Методичні рекомендації з виконання, оформлення та захисту кваліфікаційних робіт магістрів спеціальності 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / ТНТУ ім. І. Пулюя; уклад. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, В.В. Левицький, Р.І. Королук – Тернопіль: ТНТУ, 2022. – 81 с.
2. Тотосько О.В. Введення в комп'ютерну графіку та дизайн : Навчальний посібник для студентів спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / Укладачі : О.В. Тотосько, П.Д. Стухляк, А.Г. Микитишин, В.В. Левицький, Р.З. Золотий – Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2023 – 304 с. ISBN 978-617-7875-60-3
3. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108с.
4. Микитишин А.Г., Митник, П.Д. Стухляк. Комплексна безпека інформаційних мережевих систем: навчальний посібник – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016. – 256 с.
5. Телекомунікаційні системи та мережі : навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Укладачі : Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 – 384 с.
6. Методичні вказівки для написання розділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього рівня „бакалавр”. Для студентів всіх форм навчання рівень вищої освіти перший (бакалаврський) / укл. : О. Я. Гурик , І. Б. Окіпний. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. - 20 с.
7. Сегментні клапани, що регулюють. Неліс-Джеймсбурі. Видання 8/92. - 14 с.

8. Електропневматичні позиціонери Неліс-Джеймсбурі. Видання 9/93. - 10 с
9. Пневматичні поршневі приводи серії В. Нелес-Джеймсбурі. Видання 9/93. - 8 с.
10. Попович Н. Г., Ковальчук О. В., Красовський Є. П., Автоматизація виробничих процесів та установок. - К.: Вища шк. Головне вид-во, 1986. - 311с.
11. Каталог продукції фірми Siemens . 2004 152 с.
12. Навчальний курс Siemens Simatic S7. Програмування. Курс ST-7PRO1/ST-7PRO2. 458 с.
13. Стручок В.С. Навчальний посібник до написання розділу дипломного проекту та дипломної роботи "Безпека в надзвичайних ситуаціях" для студентів всіх спец. денної, заочної (дистанційної) та екстернатної форм навчання / В.С. Стручок, О.С. Стручок, Д.В. Мудра. - Тернопіль : ТНТУ, 2016. - 112 с.
14. Вовк Ю. Я. Охорона праці в галузі. Навчальний посібник / Ю. Я. Вовк, І. П. Вовк – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А. – 2015. – 172 с.