

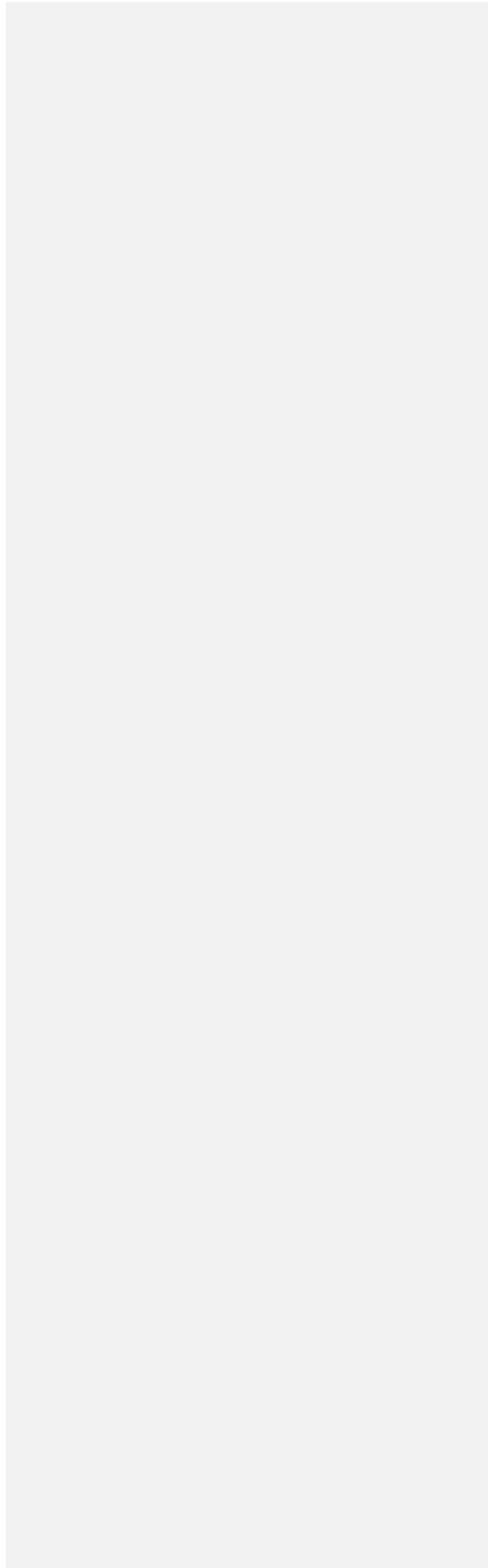
Лехняк Віктор Павлович

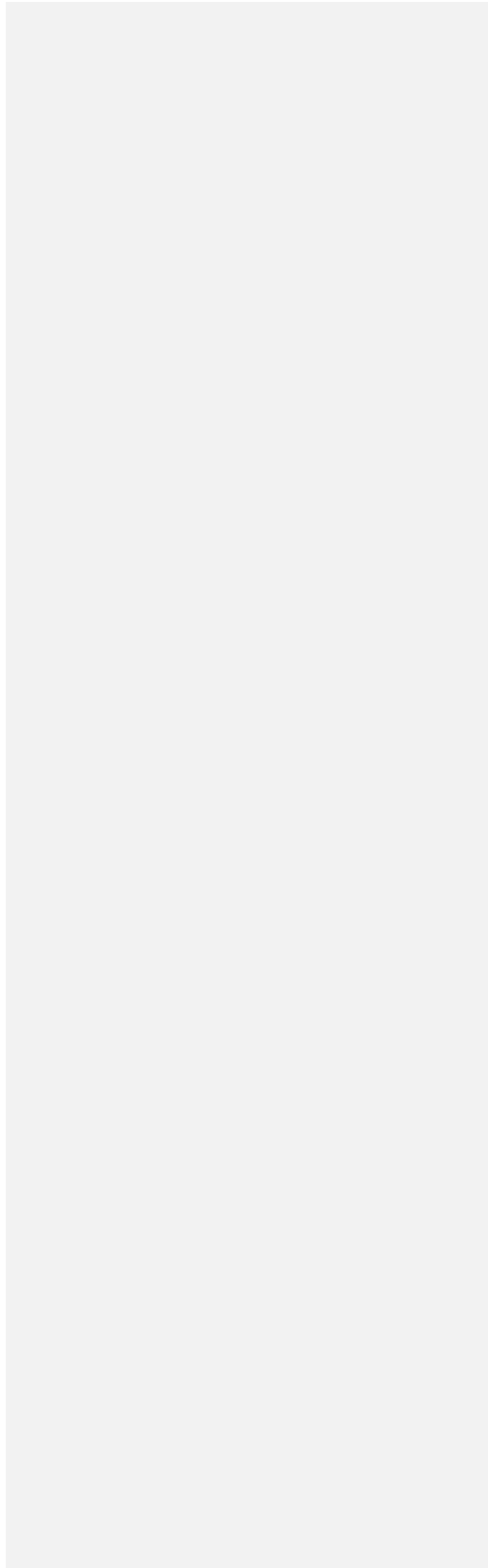
Юрчик Олександр Валерійович

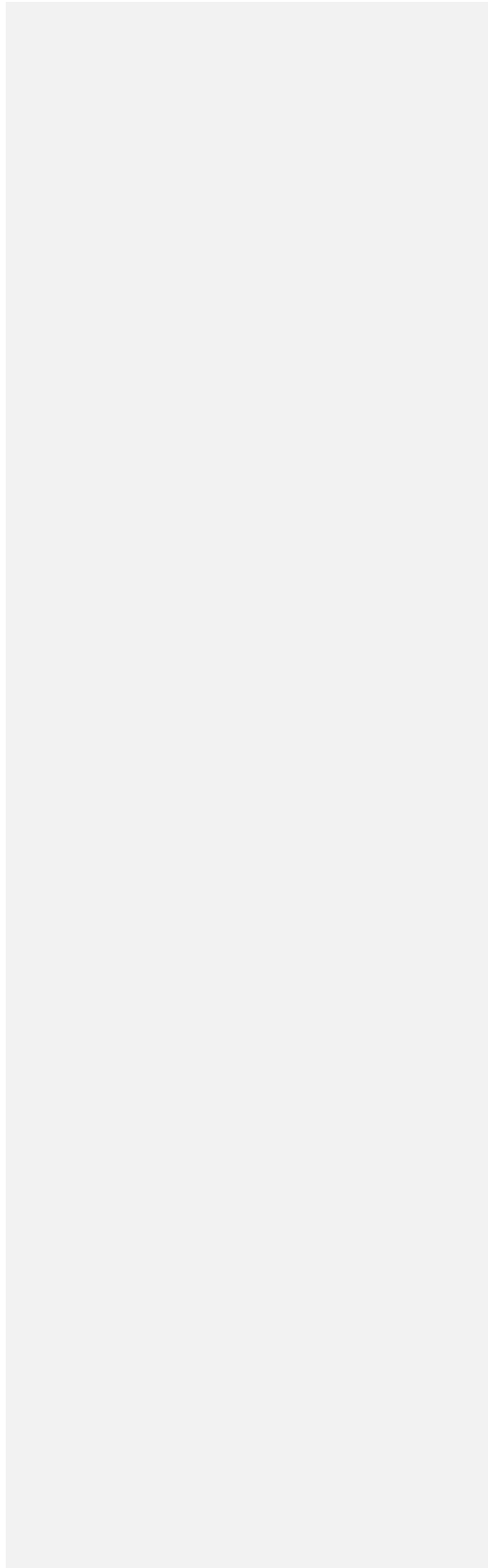
Розробка автоматизованої системи керування процесом виробництва чистого аргону

Керівник: к.т.н., доц. Митник М.М.

Development of an automatic control system of pure argon production







АНОТАЦІЯ

У роботі було замінено морально-застарілі засоби автоматизації на нові з використанням програмованого логічного контролера та спеціалізованих автоматичних регуляторів.

У проєкті використано програмований логічний контролер S5-115U, який дозволяє здійснювати задані закони регулювання і управляти процесом відповідно до заданої програми.

Завдяки цьому всі керуючі впливи процесом по збагаченню і очищенню аргону зосередилися в єдиному пристрої - контролері S5-115U дозволяє значно збільшити точність завдання параметрів; зменшити час перехідних процесів в апаратах, практично повністю виключає «людський фактор» керуванні процесом і реєстрації параметрів.

Так само завдяки можливості підключення контролера до ПК технолог має можливість в будь-який момент переглянути всю потрібну йому інформацію не виходячи з кабінету і має можливість управляти технологічним процесом та контролювати якість одержуваного продукту.

Впровадження нових засобів автоматизації дозволяє підвищити якість ведення технологічного процесу, рівень автоматизації виробництва, в результаті чого підвищується якість продукції, поліпшуються умови роботи обслуговуючого персоналу, покращується безпека процесу. Крім того, впроваджувана система автоматизації дозволяє зменшити втрати продукту внаслідок витоків і зменшити пожежно-небезпеку технологічного процесу.

Ключові слова: програмований логічний контролер, автоматизація, аргон, ректифікація, регулятор.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	8
1.1 <i>Опис технологічного процесу</i>	8
1.2 <i>Коротка характеристика технологічного обладнання</i>	13
2. ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	17
2.1. <i>Основні властивості об'єкта управління</i>	17
2.2. <i>Визначення показників ефективності і цілей управління</i>	18
2.3. <i>Вибір регульованих параметрів і каналів регулювання</i>	18
2.4. <i>Вибір контрольованих і сигналізуючих параметрів</i>	23
2.5. <i>Вибір заходів щодо захисту і блокування</i>	25
2.6. <i>Дослідження об'єкта управління</i>	25
3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	33
3.1 <i>Опис роботи системи управління</i>	33
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ХОРОНИ ПРАЦІ	44
4.1 <i>Організація охорони праці при роботі з системою управління</i>	44
4.2 <i>Електробезпека</i>	46
7.3 <i>Розрахунок заземлення</i>	49
ВИСНОВКИ	52
БІБЛІОГРАФІЯ	53

ВСТУП

У зв'язку з великими обсягами виробництва і вимогами, що ставляться до якості продукції, що випускається, гостро стоїть питання про автоматизацію виробництва, оскільки процеси стають складнішими і людині важко контролювати всі параметри.

Управління виробничим процесом вимагає рішення безлічі складних завдань. Тому основні функції системи управління раніше були покладені на людину.

Але розвиток теорії і техніки автоматичного управління, на базі сучасної електроніки, привів до створення автоматичних керуючих пристроїв. У міру вдосконалення їм передаються все складніші функції управління, в результаті чого досягається вищий рівень автоматизації виробничих процесів [1].

В роботі розглядається автоматизація процесу отримання чистого аргону.

Процес отримання чистого аргону має три стадії виробництва. Кожна стадія являє собою процес ректифікації, причому при отриманні сирого і технічного аргону основним продуктом є дистиллят, а при отриманні чистого аргону основним продуктом є кубовий залишок. Виробництво аргону відбувається при низьких температурах тому процес є складним і пожежо-небезпечним. В роботі необхідно здійснити автоматичний контроль безпеки виробничого процесу.

Метою роботи є модернізація системи автоматизації, яка передбачає створення нової системи з використанням сучасних мікропроцесорних засобів та застосування вже існуючих засобів автоматизації. Виходячи, з економічної доцільності повна заміна засобів і приладів автоматизації неефективна і не вигідна, лише часткова.

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис технологічного процесу

Завдяки своїй хімічній інертності аргон широко використовується в багатьох виробництвах. До них відносяться:

- 1) електродугове зварювання алюмінію, магнію, титану, міді та їх сплавів, а також різних видів нержавіючих сталей;
- 2) виготовлення освітлювальних ламп, імпульсних джерел світла та електронних приладів;
- 3) електродугове різання кольорових металів в захисній аргонно-водневій атмосфері;
- 4) виплавка і обробка кольорових металів, зокрема титану, міді, натрію, магнію, урану, цирконію і вольфраму, а також якісних сталей;
- 5) продування рідких сталей для видалення газових домішок.

Процес виробництва відбувається у три послідовні стадії:

- 1) витяг з повітря сирого аргону;
- 2) очищення сирого аргону від кисню, тобто отримання технічного аргону;
- 3) очищення технічного аргону від азоту, тобто отримання чистого аргону.

Схема цього процесу приведена на рис. 1.1

Пароподібна фракція аргону, що відбирається з середини верхньої колони установки розділювача повітря КжАр-2-1 (далі просто установка поділу) з вмістом 88% кисню; 0.7% азоту надходить у нижню частину колони сирого аргону (позиція 1, рис. 1.2).[2] Для відводу тепла, зверху колони сирого аргону (позиція 1) і конденсації утворених в ній парів, в конденсатор колони сирого аргону (позиція 4) з виходу установки поділу подається рідкий азот з температурою мінус 190 °С. Після конденсатора колони сирого аргону (позиція 4) азот, який частково випарувався, надходить у випарник установки поділу.

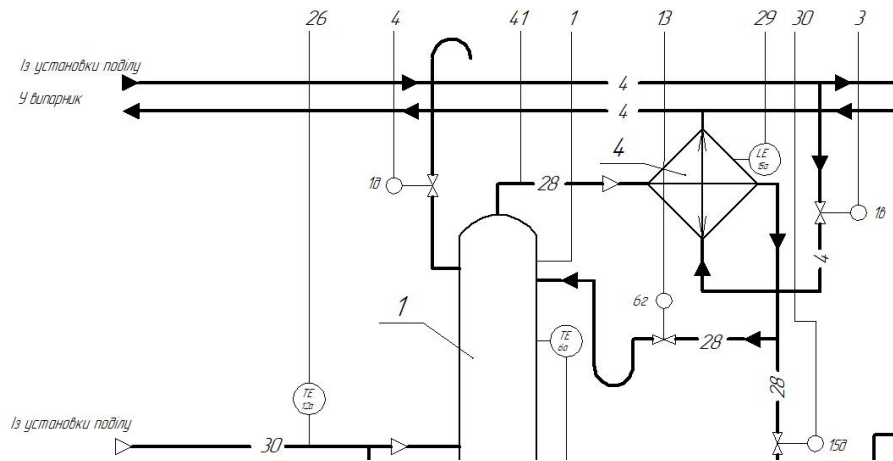


Рисунок 1.2 – Верхня частина колони розділювача повітря

У колоні сирого аргону (позиція 1) відбувається поділ пароподібної аргонної фракції на сирий аргон з вмістом 0.5% кисню; 2.3% азоту і рідку кисневу фракцію, що містить 91.5% кисню, яка потім, пройшовши через гідрозатвор, повертається у верхню колону установки поділу [6].

Зверху колони сирого аргону і пароподібний сирий аргон надходить в конденсатор колони 4, де конденсується. На виході з конденсатора колони 4 рідкий сирий аргон ділиться на два потоки. Одна його частина через гідрозатвор надходить для зрошення у верхню частину колони 1.

Інша частина надходить в теплообмінник 10, де нагрівається до температури мінус 183 °С і, перетворившись в парогазову суміш, надходить в середню частину колони технічного аргону (позиція 2, рис. 1.1). Для нагрівання сирого аргону в теплообмінник 10 надходить кубова рідина з нижньої колони установки поділу з температурою мінус 170°С. Після нагрівання сирого аргону кубова рідина з теплообмінника 10 надходить у верхню частину верхньої колони установки поділу.

У колоні технічного аргону 2 пароподібний сирий аргон розділяється на технічний аргон з вмістом в ньому 0.0002% кисню і відкидну рідку фракцію, яка складається з 50% кисню і 50% аргону.

Відкидна рідка фракція на виході з куба колони технічного аргону 2 поділяється на два потоки. Одна її частина надходить в підігрівач колони технічного аргону 7, випаровується в ньому і повертається назад в куб колони 2.

Інша частина відкидної рідкої фракції надходить в теплообмінник 12 і випаровується в ньому. Потім вона надходить у нижню частину колони сирого аргону 1. Для випаровування відкидної рідкої фракції в підігрівач колони технічного аргону 7 і теплообмінник 12 надходить циркуляційний газоподібний азот після циркуляційного теплообмінника установки поділу з температурою мінус 170°С, після чого частково сконденсований циркуляційний азот надходить у верхню колону установки поділу.

Зверху колони технічного аргону 2 пароподібний технічний аргон надходить в конденсатор колони технічного аргону 5, де конденсується. На виході з конденсатора колони технічного аргону 5 рідкий технічний аргон ділиться на два потоки. Один потік через гідро затвор надходить для зрошення у верхню частину колони технічного аргону 2.

Інша частина рідкого технічного аргону надходить в теплообмінник 11, де нагрівається до температури мінус 184°С і, перетворившись в парогазову суміш, надходить в середню частину колони чистого аргону 3, де відбувається остаточне очищення аргону від азоту.

Для нагрівання технічного аргону в теплообмінник 11 надходить кубова рідина з нижньої колони установки поділу з температурою мінус 170°C . Після нагрівання технічного аргону кубова рідина з теплообмінника 11 надходить у верхню частину верхньої колони установки поділу.

Для відводу тепла з верху колони технічного аргону 2 і конденсації утвореної в ній пари в конденсатор колони технічного аргону 5 подається рідкий азот з виходу установки поділу з температурою мінус 190 °C . Після конденсатора колони технічного аргону 5 частково випаруваний азот надходить у випарник установки поділу.[3]

У колоні чистого аргону 3 відбувається поділ пароподібного технічного аргону на чистий аргон з вмістом 0.0002% кисню і 0.002% азоту і відкидну азотну фракцію з вмістом 80% азоту і 20% аргону. Зверху колони чистого аргону (позиція 3) пароподібна відкидна азотна фракція надходить в конденсатор колони чистого аргону (позиція 6), де конденсується.

На виході з конденсатора колони чистого аргону 6 рідка відкидна азотна фракція ділиться на два потоки. Одна її частина через гідро затвор надходить для зрошення у верхню частину колони чистого аргону 3. Інша частина рідкої відкидної азотної фракції надходить у верхню частину верхньої колони установки поділу.

Для відводу тепла зверху колони чистого аргону 3 і конденсації утворених в ній випарів в конденсатор колони чистого аргону 6 подається рідкий азот з виходу установки поділу з температурою мінус 190°C .

Після конденсатора колони чистого аргону 6 частково випарений азот надходить у випарник установки поділу. Рідкий чистий аргон на виході з куба колони чистого аргону 3 розділяється на два потоки.

Одна його частина надходить в підігрівач колони чистого аргону 8, випаровується в ньому і повертається назад в куб колони чистого аргону 3. Інша частина рідкого чистого аргону надходить до збірника чистого аргону 9, необхідного для підтримки балансу в колоні чистого аргону 3 по рідкій фазі.

Для випаровування рідкого чистого аргону в підігрівач колони чистого аргону 8 надходить кубова рідина з нижньої колони установки поділу з температурою мінус 170°C , після чого кубова рідина надходить у верхню частину верхньої колони установки поділу.

У збірнику чистого аргону 9 відбувається відокремлення пароподібного чистого аргону від рідкого чистого аргону. З зібраного об'єму чистого аргону 9 пароподібний чистий аргон повертається назад в куб колони чистого аргону 3.

Рідкий чистий аргон з ємності 9 надходить в теплообмінник 13, де охолоджується до температури мінус 183°C .

Після цього чистий аргон надходить в резервуар для зберігання рідкого аргону установки поділу і далі відправляється споживачеві.

Для охолодження чистого аргону в теплообмінник 13 надходить рідкий азот з виходу установки поділу з температурою мінус 190 °C . Після тепло обмінника 13 частково випарений азот надходить у випарник установки поділу.

1.2 Коротка характеристика технологічного обладнання

Для реалізації процесу виготовлення аргону на підприємстві використовується технологічне обладнання для створення трьох процесів випару, щоб забезпечити якісний вихід чистого аргону.

Характеристика технологічного обладнання, що використовується в процесійого одержання, представлена в таблиці 1.1

Додано примітку [m1]: Зібраний?

Таблиця 1.1

Коротка характеристика технологічного обладнання.

№ поз.	Найменування	Характеристика
1	2	3
1,4	Колона сирого аргону з вбудованим конденсатором	<p>Вертикально розташована колона об'ємом 25 м³. Діаметр 800 мм., Висота 10750 м. Розрахунковий тиск 0,5кгс / см². Насадки ковпачкові. 25 тарілок. Матеріал – латунь.</p> <p>Конденсатор вертикальний вбудований кожухотрубний. Загальна поверхня 210м². Поверхня елементів 18 м². Кількість елементів 55 шт. Діаметр 800 мм. Розрахунковий тиск в трубному та міжтрубному просторі 1,5 кгс / см². Напрямок потоків протитечія.</p>
2,5	Колона технічного аргону з вбудованим конденсатором	<p>Вертикально розташована колона об'ємом 55м². Діаметр 800 мм., Висота 23510 мм. Розрахунковий тиск 0,8 кгс / см². 45 тарілок. Насадки ковпачкові, матеріал - латунь</p> <p>Конденсатор вертикальний вбудований кожухотрубний. Загальна поверхня 200 м². Поверхня елементів 18 м². Кількість елементів 55 шт. Діаметр 800мм. Розрахунковий тиск в трубному та міжтрубному просторі 1,2 кгс / см². Напрямок потоків - протитечія.</p>

Продовження таблиці 1.1		
1	2	3
3,6	Колона чистого аргону з вбудованим конденсатором	Вертикально розташована колона об'ємом 5 м ³ . Діаметр 250мм., Висота 4500мм. Розрахунковий тиск 1,5 кгс / см ² . 20 тарілок, насадки - ковпачкові. Матеріал - латунь. Конденсатор вертикальний вбудований кожухотрубний загальна поверхня 100м ² . Поверхня елементів 9м ² . Кількість елементів 25шт. Діаметр 250 мм. Розрахунковий тиск в трубному та міжтрубному просторі 0,5кгс / см ² .
7	Підігрівач	Теплообмінник кожухотрубного типу. Поверхня теплообміну 6 м ² . Діаметр 800 мм. Висота 1500 мм. кількість трубок 196 шт. Розрахунковий тиск в трубному просторі 1,5 кгс / см ² , в міжтрубному просторі 6 кгс / см ² . матеріал 12X18Н10Т
8	Підігрівач	Теплообмінник кожухотрубного типу. Поверхня теплообміну 6 м ² . Діаметр 800 мм. Висота 1500 мм. Кількість трубок 196 шт. Розрахунковий тиск в трубному просторі 1,5 кгс / см ² , в міжтрубному просторі 6 кгс / см ² . Матеріал 12X18Н10Т
9	Збирач аргону	Вертикальна ємність об'ємом 0,24 м ³ . Діаметр 100 мм., Висота 800мм. Матеріал 12X18Н10Т. Розрахунковий тиск 1,5 кгс / см ²

Продовження таблиці 1.1		
1	2	3
10	Підігрівач	Теплообмінник типу "труба в трубі", поверхня теплообміну 6м ² . Діаметр 600мм., Висота 1500мм. Розрахунковий тиск в трубному просторі 0,5 кгс / см ² , в міжтрубному просторі 6 кгс / см ² . Матеріал 12Х18Н10Т
11	Підігрівач	Теплообмінник типу "труба в трубі", поверхня теплообміну 6м ² . Діаметр 600мм., Висота 1500мм. Розрахунковий тиск в трубному просторі 0,5 кгс / см ² , в міжтрубному просторі 6 кгс / см ² . Матеріал 12Х18Н10Т
12	Підігрівач	Теплообмінник кожухотрубного типу. Поверхня теплообміну 6м ² . Діаметр 800 мм., Висота 1500мм. Кількість трубок 196 шт. Розрахунковий тиск в трубному просторі 1,5 кгс / см ² , в міжтрубному просторі 4 кгс / см ² . Матеріал - латунь
13	Підігрівач	Теплообмінник кожухотрубного типу. Поверхня теплообміну 6 м ² . Діаметр 800 мм., Висота 1500 мм. Кількість трубок 196 шт. Розрахунковий тиск в трубному просторі 1,5 кгс / см ² , в міжтрубному просторі 4 кгс / см ² . Матеріал - латунь.

2. ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1. Основні властивості об'єкта управління.

Властивості об'єкта необхідно враховувати при складанні схеми автоматизації, виборі регулювання і визначенні оптимальних значень параметрів регулятора. Визначення та контроль за властивостями об'єкта дозволяє створити систему управління, що має більш високі показники якості перехідного процесу. Основними властивостями об'єкта управління є самовирівнювання, ємність і запізнювання.

Самовирівнювання об'єкта характеризує його стійкість. Самовирівнюванням називають властивість сталого об'єкта самостійно встановлюватися в рівноважний стан після зміни своєї вхідної величини. В об'єктах з самовирівнюванням ступенева зміна вхідної величини призводить до зміни вихідної величини зі швидкістю, яка поступово зменшується до нуля, що пов'язано з наявністю внутрішнього, негативного зворотнього зв'язку.

Чим більше ступінь самовирівнювання, тим менше відхилення вихідної величини від початкового положення.

Ємність об'єкта є властивістю, яка властива всім динамічним об'єктам. Вона характеризує їх інерційність.[4]

Чим більша ємність, тим менша швидкість зміни вихідної величини об'єкта, і навпаки.

Запізнення об'єкта виражається в тому, що його вихідна величина починає змінюватися не відразу після отримання збурення, а тільки через деякий проміжок часу, який називають часом запізнювання.

Всі реальні об'єкти мають запізнення, так як зміна потоків речовин або тепла поширюється в об'єктах з кінцевою швидкістю, тому потрібен час для

проходження сигналу від місця виникнення збурення до місця, де фіксується зміна вихідної величини.

Для визначення властивостей об'єкта застосовуються такі методи:

- аналітичний;
- експериментальний;
- експериментально-аналітичний.

У роботі застосовано експериментальний метод, що полягає у визначенні характеристик реального об'єкта шляхом постановки на ньому експерименту. Метод досить простий, має малу трудомісткість, дозволяє досить точно визначити властивості об'єкта.

2.2. Визначення показників ефективності і цілей управління

В якості основного показника ефективності даного процесу виступає чистота одержуваного аргону на виході з колони чистого аргону.

Іншими словами основним показником ефективності є процентний вміст азоту і кисню в чистому аргоні на виході з колони чистого аргону. Метою даного процесу є підтримка процентного вмісту азоту і кисню в чистому аргоні в межах заданих значень. Вміст азоту в чистому аргоні має бути не більше 0.0005%. Вміст кисню в чистому аргоні має бути не більше 0.005%. Процес отримання чистого аргону повинен відбуватися з максимальною інтенсивністю і економічністю процесу, крім того, протікання процесу повинно бути безпечним і безаварійним.

2.3. Вибір регульованих параметрів і каналів регулювання

Процес отримання чистого аргону включає три стадії виробництва. Кожна стадія являє собою процес ректифікації, причому при отриманні сирого і технічного аргону основним продуктом є дистиллят, а при отриманні чистого аргону основним продуктом є кубовий залишок. Тому, має сенс

спочатку абстрактно проаналізувати типовий процес ректифікації, а вже потім для кожної зі стадій зробити відповідні уточнення і доповнення.

Основними параметрами, що характеризують процес ректифікації являються склади дистилляту і кубового залишку.. Склад дистилляту і кубового залишку з достатньою точністю регулювати не можна, так як колона ректифікації є багатосмісним об'єктом з розподіленими параметрами, а отже з великим запізненням. При цьому необхідно перш за все, усунути основні зовнішні збурення і стабілізувати непрямі параметри. Основні збурення процесу пов'язані зі зміною параметрів потоків на вході і виході з процесу. Це перш за все: витрата, склад і початкова температура вихідної суміші, витрати теплоносіїв в теплообмінниках, витрати флегми, дистилляту і кубового залишку, витрата холодоносія в конденсаторі.

Розглянемо вплив перерахованих вище факторів на роботу колони. Припустимо, вихідна суміш надходить в колону в недостатній кількості. Це призводить до зменшення вмісту низько киплячого компонента в дистилляті. При надлишку вихідної суміші, тепла, що подається у випарник, не вистачає на випаровування. Збільшується вміст низько киплячого компонента в кубовому залишку. Отже, щоб колона працювала економічно і видавала чистий продукт навантаження колони повинно бути стабілізоване. В даному випадку витрата вихідної суміші залежить від попереднього процесу, при цьому зміну навантаження колони слід розглядати як сильний збурюючий вплив. Зменшення вмісту компонента з низькою температурою кипіння у вихідній суміші призводить до зменшення витрат тепла на випаровування цього компоненту. Температура в колоні підвищується і задана точність не досягається. Даний збурюючий вплив не може бути компенсований до надходження в об'єкт управління. Якщо вихідна суміш вводиться в колону не при температурі кипіння, то вона повинна бути нагрітою до цієї температури парами, що піднімаються знизу. В результаті температура пари знижується і процес масообміну між рідкою і паровою фазами порушується. Більш інтенсивно йде конденсація парів, при цьому частина компонента з низькою

температурою кипіння потрапляє в кубовий залишок, відбір дистиляту зменшується. У технологічній схемі ректифікації є теплообмінник для підігріву вихідної суміші, що дозволяє стабілізувати температуру вихідної суміші, тим самим усуваючи один зі збурюючих впливів до об'єкта. У свою чергу, ця стабілізація дозволить усунути їх по лінії витрат теплоносія.

Від витрати теплоносія в теплообміннику куба колони залежить швидкість парів в колоні, що визначає інтенсивність і економічність процесу. Отже, оптимальний режим колони буде відбуватися при швидкості, дещо меншій, ніж на початку процесу. При постійному навантаженні подачу теплоносія можна було б стабілізувати. Це найкраще зробити на ввіді теплоносія в куб колони.

Від подачі флегми в колону залежить чистота дистиляту. Збільшення флегмового числа збільшує чистоту дистиляту, але знижує економічність процесу. Тому, найкраще регулювати подачу флегми по температурі в верхній частині колони.

Зміна витрат дистиляту і кубового залишку викликають порушення теплового і матеріального балансів в колоні. Регулюватися витрати дистиляту і кубового залишку повинні відповідно до зміни кількості та складу вихідної суміші. Для того, щоб витрата дистиляту залежала тільки від параметрів початкової суміші необхідно стабілізувати витрату холодноносія, що подається в конденсатор.

Зміна витрати і складу вихідної суміші є основними збурюючими факторами. Розглянемо можливість регулювання параметрів, що характеризують склад дистиляту і кубового залишку.

Склад парової і рідкої фаз залежить від температури і тиску в колоні. Якщо тиск стабілізувати, то залежність між температурою і складом парів вгорі колони буде чітко визначеною. Розглянемо можливість стабілізації тиску в колоні. Збурюючими факторами, що викликають зміну тиску в колоні є коливання витрати і складу вихідної суміші і витрати флегми. Всі ці збурення мають місце, тому тиск необхідно стабілізувати. Зробити це можна

шляхом зміни витрати пари, виводимих з колони в конденсатор або зміною витрати холодоносія, який подається в конденсатор. Перший варіант має кілька недоліків, так як в цьому випадку конденсатор буде працювати під змінним тиском. Другий варіант більш прийнятний, але необхідно враховувати, що конденсатор має значне запізнення. Стабілізація тиску у верхній частині колони значно спрощує завдання підтримки складу дистиляту. Стабілізувати тиск в кубі колони немає необхідності, так як відносно цього параметру колони має самовирівнювання. Таким чином, необхідно стабілізувати тиск у верхній частині колони, тоді склад дистиляту і кубового залишку будуть залежати тільки від температури.

Розглянемо вплив температури в колоні на якість процесу. Зменшення температури знижує продуктивність колони і частина компонента з низькою температурою кипіння потрапляє в кубовий залишок. Підвищення температури в колоні призводить до збільшення вмісту компонентів з високою температурою кипіння в дистиляті. При постійному тиску температура в колоні залежить від параметрів вихідної суміші, від кількості флегми і теплоносія, що подається в теплообмінник куба колони. Температуру в верхній частині колони можна стабілізувати шляхом зміни витрати флегми, що подається в колону, а в кубі колони шляхом зміни витрати теплоносія в теплообміннику куба колони. Оскільки колони ректифікації є об'єктом зі взаємопов'язаними параметрами, то при застосуванні одночасного регулювання температури у верхній і нижній частинах колони регулятори будуть пов'язані через процес, що може привести до коливального режиму роботи. Тому, температуру слід регулювати в одній частині колони. Оскільки температура в нижній частині колони залежить від витрати пари, подаваної в теплообмінник куба колони і параметрів вихідної суміші (витрата і температура), які стабілізуються, то температура в нижній частині колони буде менше схильна до змін і необхідно регулювати температуру у верхній частині колони. Регулюючий вплив вноситься шляхом зміни витрати флегми. При цьому давач

температури необхідно встановити на контрольній тарілці, де найбільш сильно змінюється температура при зміні складів дистиляту і кубового залишку.

Для підтримки матеріального балансу колони необхідно стабілізувати рівень рідини в кубі шляхом зміни витрати кубового залишку і рівень дистиляту в конденсаторі шляхом зміни витрати дистиляту.

Все вищесказане справедливо для стадій отримання технічного аргону і чистого аргону. Але, у зв'язку з тим, що стадія отримання сирого аргону призначена для збагачення аргонної фракції, система управління даною частиною технологічного процесу матиме спрощений вид. У ній будуть регулюватися тільки температура і тиск вгорі колони, а також рівень флегми в конденсаторі.

Отже, для досягнення цілей управління обираємо такі параметри автоматичного регулювання:

- 1) тиску вгорі колони сирого аргону 1, рис. 1.1 шляхом зміни витрати рідкого азоту в конденсаторі колони сирого аргону 4;
- 2) тиску вгорі колони технічного аргону 2 шляхом вимірювання витрати рідкого азоту в конденсаторі колони технічного аргону 5;
- 3) тиску вгорі колони чистого аргону 3 шляхом зміни витрати рідкого азоту в конденсаторі колони чистого аргону 6;
- 4) температури на контрольній тарілці в колоні сирого аргону 1 шляхом зміни витрати флегми з конденсатора колони сирого аргону 4;
- 5) температури на контрольній тарілці в колоні технічного аргону 2 шляхом зміни витрати флегми з конденсатора колони технічного аргону 5;
- 6) температури на контрольній тарілці в колоні чистого аргону 3 шляхом зміни витрати флегми з конденсатора колони чистого аргону 6;
- 7) температури сирого аргону на вході в колону технічного аргону 2 шляхом зміни витрати кубової рідини з нижньої колони установки поділу в теплообміннику 10;

8) температури технічного аргону на вході в колону чистого аргону 3 шляхом зміни витрати кубової рідини з нижньої колони установки поділу в теплообміннику 14;

9) витрати газоподібного азоту в теплообміннику 8;

10) температури чистого аргону на виході з теплообмінника 13 шляхом зміни витрати рідкого азоту в теплообміннику 13;

11) витрати газоподібного азоту в теплообмінниках 7,12;

12) рівня рідини в конденсаторі колони сирого аргону 4 шляхом зміни витрати рідкого азоту в конденсаторі колони сирого аргону 4;

13) рівня рідини в конденсаторі колони технічного аргону 5 шляхом зміни витрати рідкого азоту в конденсаторі колони технічного аргону 5;

14) рівня рідини в конденсаторі колони чистого аргону шляхом виміру витрати рідкого азоту в конденсаторі колони чистого аргону 6;

15) рівня рідини в кубі колони технічного аргону 2 шляхом зміни витрати кубової рідини на виході з теплообмінника 12;

16) рівня рідини в кубі колони чистого аргону 3 шляхом вимірювання витрати кубової рідини на вході в збірник аргону 9;

17) рівня рідкого чистого аргону в збірнику аргону 9 шляхом зміни витрати рідкого чистого аргону на виході з теплообмінника 13.

2.4. Вибір контрольованих і сигналізуючих параметрів

При виборі контрольованих параметрів будемо керуватися тим, щоб при мінімальній кількості вони давали достатню кількість інформації про технологічний процес.

Контролю насамперед підлягають всі регульовані параметри, а також параметри, що визначають техніко-економічні показники процесу:

1) тиск вгорі колони сирого аргону 1 (рис. 1.1);

2) тиск вгорі колони технічного аргону 2;

3) тиск вгорі колони чистого аргону 3;

- 4) температура на контрольній тарілці в колоні сирого аргону 1;
- 5) температура на контрольній тарілці в колоні технічного аргону 2;
- 6) температура на контрольній тарілці в колоні чистого аргону 3;
- 7) температура парогазової суміші на вході в колону технічного аргону 2;
- 8) температура парогазової суміші на вході в колону чистого аргону 3;
- 9) витрата газоподібного азоту на вході в теплообмінники 7,12;
- 10) витрата газоподібного азоту на вході в теплообмінник 8;
- 11) температура чистого аргону на виході з теплообмінника 13;
- 12) рівень рідини в конденсаторі колони сирого аргону 4;
- 13) рівень рідини в конденсаторі колони технічного аргону 5;
- 14) рівень рідини в конденсаторі колони чистого аргону 6;
- 15) рівень рідини в кубі колони технічного аргону 2;
- 16) рівень рідини в кубі колони чистого аргону 3;
- 17) рівень рідкого чистого аргону в збірнику аргону 9;
- 18) опір в колоні сирого аргону 1;
- 19) опір в колоні чистого аргону 3;
- 20) температура аргону на виході з теплообмінника 13;
- 21) концентрація кисню в парогазовій суміші на виході з колони сирого аргону 1;
- 22) концентрація кисню в рідкій кисневій фракції на виході з колони сирого аргону 1;
- 23) концентрація кисню в повітрі установки поділу КжАр-2-1;
- 24) мікро концентрація кисню в парогазовій суміші на виході з колони технічного аргону 2;
- 25) мікро концентрація кисню в чистому аргоні на виході з збірника аргону 9;
- 26) тиск чистого аргону на виході з установки поділу КжАр-2-1;
- 27) витрата чистого аргону на виході з установки поділу КжАр-2-1;
- 28) температура газоподібного азоту;

29) температура рідкого азоту;

30) температура кубової рідини.

Сигналізації підлягають ті параметри, зміна яких може різко позначитися на ході самого процесу.. Сигналізації підлягають наступні параметри:

- 1) тиск в колоні сирого аргону 1;
- 2) тиск в колоні технічного аргону 2;
- 3) тиск у колоні чистого аргону 3;
- 4) концентрація кисню в повітрі приміщення установки поділу КжАр-2-1;
- 5) мікро концентрація кисню в чистому аргоні на виході з установки поділу КжАр-2-1;
- 6) мікро концентрація азоту в чистому аргоні на виході з установки поділу КжАр-2-1.

2.5. Вибір заходів щодо захисту і блокування.

Блокуванню підлягають наступні параметри:

- 1) тиск в колоні сирого аргону 1;
- 2) тиск в колоні технічного аргону 2;
- 3) тиск у колоні чистого аргону 3.

При збільшенні цих параметрів вище небезпечного значення відкриваються клапани скидання з колон сирого 1, технічного 2 і чистого 3 аргону в атмосферу.

2.6. Дослідження об'єкта управління.

Математичний опис об'єкта.

Як об'єкт дослідження вибираємо контур регулювання температури сирого аргону на вході в колоні технічного аргону 2 шляхом зміни витрати

кубової рідини з нижньої колони установки поділу в теплообмінник 11. (рис. 1.1).

Розглянемо розрахунок оптимальної настройки АСР по частотним характеристикам і визначимо закон регулювання і настройки регулятора.

Для початку знімаємо розгінну характеристику об'єкта, визначаємо статичну і динамічну характеристику властивостей об'єкта. Для зняття частотних характеристик, об'єкт управління приводять в рівноважний стан $t_0 = -185\text{ }^\circ\text{C}$, а потім вносимо по лінії витрати кубової рідини збурюючий вплив, імпульсне збільшення подачі витрати кубової рідини переміщенням регулюючого клапана ($\Delta x = 10\%$) і на підставі отриманих даних будуємо розгінну характеристику. Реакція об'єкта на це збурення, крива розгону, реєструється в координатах: вихідна величина - температура, час. Зміну вихідної величини реєструють до тих пір, поки об'єкт управління не прийме нового сталого значення. За отриманими значеннями визначаємо коефіцієнт підсилення об'єкту - k , час запізнення - τ і будуємо криву розгону. Якщо значення тарованої кривої розгону не відрізняються від експериментальної більш ніж на 20%, то наш процес описується рівнянням.

$$T \frac{dY}{dt} + Y = kx(t - \tau) = 5 \frac{dY}{dt} + Y = 1x(t - 2) \quad (2.1)$$

Зняття кривої розгону температури повітря до і після внесення збурюючого впливу.

$$T \frac{dy}{dt} + y = k \cdot x \cdot (t - \tau) \quad (2.2)$$

зробимо заміну змінних,

$$\varphi(t) = \frac{y(t) - y(0)}{y(\infty) - y(0)} \quad (2.3)$$

тоді,

$$y(t) = [y(\infty) - y(0)] \cdot \varphi(t) + y(0) \quad (2.4)$$

При диференціюванні $y(0) = 0$, тоді

$$T[y(\infty) - y(0)] \frac{d\varphi}{dt} + [y(\infty) - y(0)] \cdot \varphi(t) + y(0) = k \cdot (x(0) - \Delta x) \quad (2.5)$$

Якщо $t \rightarrow \infty$, то $y(\infty) = \Delta x$, тоді

$$k = \frac{y(\infty) - y(0)}{\Delta x(\infty)} \quad (2.6)$$

де k - коефіцієнт підсилення.

Розділимо формулу (2.5) на $[y(\infty) - y(0)]$, отримуємо

$$T \frac{d\varphi}{dt} + \varphi(t) + \frac{y(0)}{[y(\infty) - y(0)]} = k \cdot \frac{x(0)}{[y(\infty) - y(0)]} + k \cdot \frac{\Delta x}{[y(\infty) - y(0)]} \quad (2.7)$$

тоді,

$$\frac{y(0)}{y(\infty) - y(0)} = k \cdot \frac{x(0)}{y(\infty) - y(0)} \quad (2.8)$$

$$k \frac{\Delta x}{y(\infty) - y(0)} = 1 \quad (2.9)$$

Підставляємо в формулу і отримуємо зведену характеристику.

$$T \frac{d\varphi}{dt} + \varphi = 1 \quad (2.10)$$

Далі прирівнюємо зведену характеристику до нуля, так як похідна від 1 = 0.

$$T \frac{d\varphi}{dt} + \varphi = 0 \quad (2.11)$$

далі отримуємо,

$$T \cdot A \cdot c \cdot e^{ct} + A \cdot e^{ct} = 0 \quad (2.12)$$

$$Tc + 1 = 0 \quad (2.13)$$

$$c = -\frac{1}{T} \quad (2.14)$$

У формулу $\varphi = A \cdot e^{ct}$ підставляємо значення «с», отримуємо

$$\varphi = A \cdot e^{-\frac{t}{T}} \quad (2.15)$$

Дана формула і є спільним коренем однорідного диференціального рівняння.

Знаходимо частинний розв'язок неоднорідного рівняння:

$$y_{\text{ч}} = 1 \quad (2.16)$$

Вирішення неоднорідного диференціального рівняння:

$$\varphi(t) = A \cdot e^{-\frac{t}{T}} + 1 \quad (2.17)$$

при $t = 0$; $\varphi(0) = 0$, отримуємо

$$A + 1 = 0; A = -1.$$

тоді,

$$\varphi_s(t) = \frac{y(t) - y(0)}{y(\infty) - y(0)} \quad (2.19)$$

$$\varphi_m(t) = 1 - e^{-\frac{t}{T}} \quad (2.20)$$

де, φ_s - експериментальна,

φ_T - теоретична.

За останніми формулами будемо таровані характеристики: експериментальну і теоретичну. Це необхідно для їх порівняння і визначення правильності вибору рівняння, що описує об'єкт регулювання.

За останніми формулами проводимо розрахунок тарованих кривих розгону φ_s - експериментальної і φ_T - теоретичної і зводимо дані в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1

Таровані криві розгону.

$\varphi_m(t)$	$\varphi_s(t)$	t, °C
1	2	3
0	0	0
0,181	0,063	0,2Т
0,33	0,152	0,4Т
0,451	0,265	0,6Т
0,55	0,412	0,8Т
0,632	0,611	Т
0,699	0,752	1,2Т
0,753	0,851	1,4Т
0,798	0,922	1,6Т
0,835	0,961	1,8Т
0,865	0,98	2Т

Крива розгону приведена на рис. 2.1.

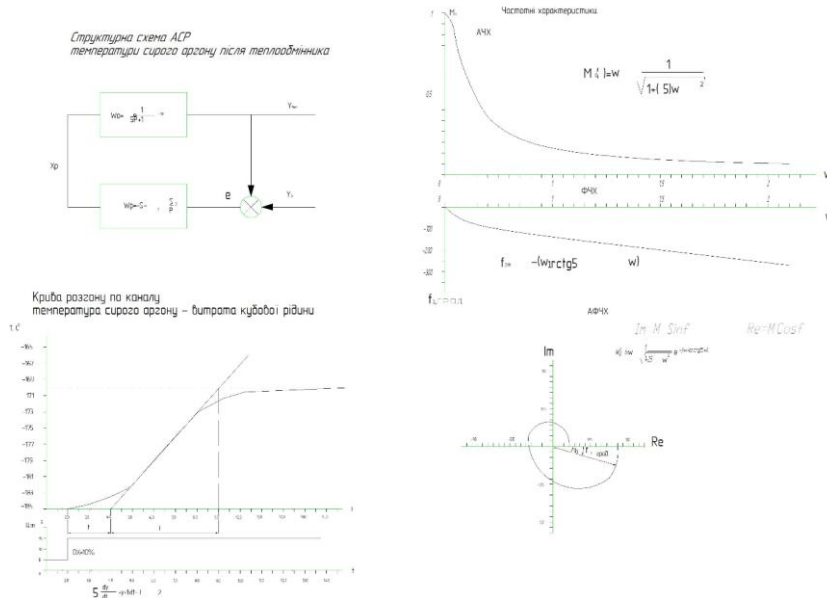


Рисунок 2.1 – Крива розгону досліджуваної системи.

У розрахунку використовувалися наступні дані: $T = 5$; $\tau = 2$; $K = 1$; $m = 0,221$. За розрахунковими даними будують таровані криві розгону, тобто, перевіряємо, чи відображає обране диференціальне рівняння криву розгону. Експериментальна тарована крива, не повинна перевищувати 20% від теоретичної, якщо виконується ця умова, то знята крива розгону може бути знайдена з диференціального рівняння, шляхом використання перетворення по Лапласу.

$$T y(p) \cdot p + y(p) = k \cdot x(p) \cdot e^{-p\tau} \quad (2.21)$$

$$\frac{y(p)}{x(p)} = \frac{k}{Tp + 1} \cdot e^{-p\tau} \quad (2.22)$$

По тарованій кривій розгону робимо висновок, що даний об'єкт описується диференціальним рівнянням першого порядку, тобто диференціальне рівняння, адекватно відображає процес і диференціальне рівняння обрано правильно.

За кривою розгону отримано час запізнювання $\tau = 2$ хвилини, $T = 5$ хв.

Тоді передавальна функція ланки чистого запізнювання об'єкту:

$$W_o(p) = \frac{ke^{-p\tau}}{TP+1} \quad (2.23)$$

$$W_o(p) = \lambda^{-2p}/5P+1 \quad (2.24)$$

Для отримання частотної характеристики об'єкта, замінимо $p = j\omega$, та отримаємо

$$W_o(j\omega) = \frac{k}{Tj\omega+1} \cdot e^{-j\omega\tau} \quad (2.25)$$

Після перетворень отримаємо

$$W(j\omega) = \frac{k \cdot e^{-j\omega\tau}}{\sqrt{1+T^2 \cdot \omega^2} \cdot e^{j\text{arctg}(T\omega)}} = \frac{k}{\sqrt{1+T^2 \cdot \omega^2}} \cdot e^{-j(\omega\tau+\text{arctg}(T\omega))} \quad (2.26)$$

З цієї формули модуль і аргумент:

$$M_o(j\omega) = \frac{k}{\sqrt{1+T^2 \cdot \omega^2}} \quad (2.27)$$

$$\varphi_o = -(\omega \cdot \tau + \text{arctg}(T\omega)) \quad (2.28)$$

За двома останніми формулами проводимо розрахунки і зводимо їх в таблицю 2.2 і 2.3.

Таблиця 2.2

Амплітудно-фазо-частотні характеристики.

ω	ωT	M_o	$\omega\tau$	$\text{arctg}(\omega T \cdot 57,3)$	φ
1	2	3	4	5	6
0	0	1	0	0	0
0,02	0,1	0,995	0,04	5,711	-8,003
0,04	0,2	0,9805	0,08	11,31	-15,895
0,06	0,3	0,9578	0,12	16,7	-23,576
0,08	0,4	0,9284	0,16	21,803	-30,971
0,1	0,5	0,8944	0,2	26,567	-38,027
0,15	0,75	0,8	0,3	37,8726	-54,068
0,2	1	0,7071	0,4	45,0033	-67,923
0,25	1,25	0,6246	0,5	51,344	-79,994
0,3	1,5	0,5547	0,6	56,3141	-90,694
0,35	1,75	0,4961	0,7	60,2596	-100,37

Продовження таблиці 2.1					
1	2	3	4	5	6
0,4	2	0,4472	0,8	63,4396	-109,28
0,45	2,25	0,4061	0,9	66,0424	-117,61
0,5	2,5	0,3713	1	68,2036	-125,5
0,55	2,75	0,3417	1,1	70,0221	-133,05
0,6	3	0,3162	1,2	71,5703	-140,33
0,65	3,25	0,294	1,3	72,9026	-147,39
0,7	3,5	0,2747	1,4	74,0601	-154,28
0,75	3,75	0,2576	1,5	75,0741	-161,02
0,8	4	0,2425	1,6	75,9694	-167,65
0,85	4,25	0,229	1,7	76,651	-174,18
0,9	4,5	0,2169	1,8	77,4769	-180,62
0,95	4,75	0,206	1,9	78,1171	-186,99
1	5	0,1961	2	78,6959	-193,3
1,1	5,5	0,179	2,2	79,6951	-205,76
1,2	6	0,164	2,4	80,5377	-218,06
1,3	6,5	0,152	2,6	81,2538	-230,23
1,4	7	0,141	2,8	81,8699	-242,31
1,5	7,5	0,132	3	82,4054	-254,3
1,6	8	0,124	3,2	82,875	-266,235
1,7	8,5	0,117	3,4	83,29	-289,57

З передавальної функції отримуємо розширену амплітудно-фазо-частотну характеристику, щоб $W_o \cdot W_p = 1$ (критерій Найквіста), а також зсув по фазі був $\varphi = -2\pi$. По ній проводять розрахунок регулятора. Необхідно підібрати амплітудно-фазо-частотну характеристику, щоб перехідний процес був затухаючий. Ця характеристика показує, на скільки змінюється амплітуда і фаза. Необхідно щоб добуток модулів $W_o W_p \leq 1$.

За таблицями 2.1, 2.2 будемо амплітудно-частотну характеристику, фазо-частотну характеристику, амплітудно-фазо-частотну характеристику, які приведені на рис. 2.2.

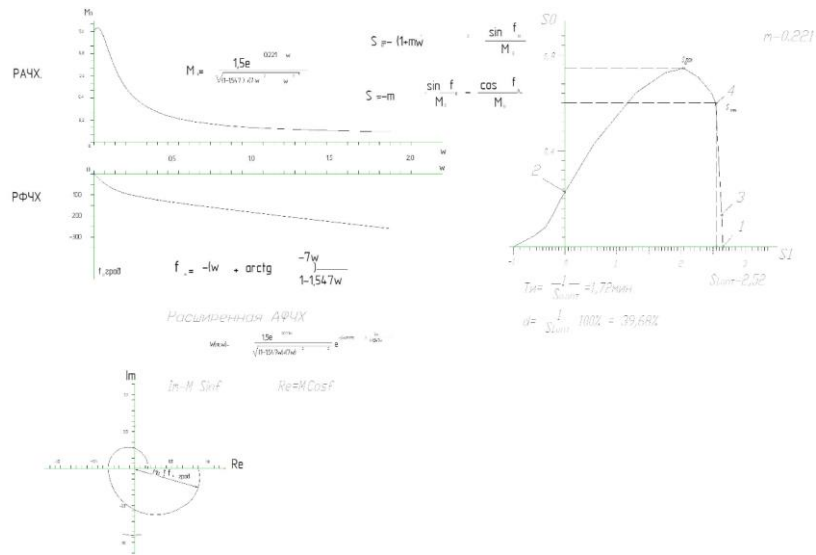


Рисунок 2.2. - амплітудно-частотна характеристика, фазо-частотна характеристика, амплітудно-фазо-частотна характеристика розроблюваної системи.

ЗСПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Опис роботи системи управління

Розглянемо роботу систем автоматичного управління, представлених в даному проекті.

Структурна схема приведена рис. 3.1. Функціональна схема автоматизації наведена рис. 1.1.

Система автоматичного регулювання являє собою замкнутий ланцюг, що складається з об'єкта, вимірювального перетворювача, регулюючого пристрою і виконавчого механізму. Збурюючий вплив призводить до відхилення регульованої технологічної величини - температури від заданого значення.

Інформація про зміну регульованої величини сприймається вимірювальним перетворювачем системи і передається на регулюючий пристрій. Останній порівнює поточне значення регульованої величини, Y з заданими Y_0 і в залежності від знаку і величини неузгодженості по заздалегідь закладеному в регулятор закону (алгоритму) виробляє регулюючий вплив X , який через виконавчий механізм спрямовується в об'єкт управління і призводить до ліквідації або зменшення цього розузгодження.

Опис роботи системи автоматичного регулювання дозволяє уявити реальну роботу регулятора, реакцію об'єкта на збурення, які надходять на вхід.

Розглянемо дію засобів автоматизації і характер зміни технологічних параметрів процесу.

Автоматичне регулювання, контроль, сигналізація і блокування тиску парогазової суміші в колоні сирого аргону (1).

При зміні тиску внизу колони сирого аргону давач тиску Метран-43-Ех-ДІ (2а) сприймає цю зміну чутливим елементом і перетворює його в пропорційну зміну стандартного струмового сигналу 0 ... 5мА.

Ця зміна надходить на вхід регулюючого пристрою S5-115U. Сигнал надходить на аналоговий цифровий перетворювач АЦП, де перетворюється з аналогового сигналу в цифровий.

Контроль цього технологічного параметра здійснюється з пульта контролером S5-115U.

При зміні тиску вгорі колони сирого аргону (позиція 1) давач тиску Метран-43-Ех-ДІ (1а) сприймає цю зміну чутливим елементом і перетворює його в пропорційну зміну стандартного струмового сигналу 0 ... 5мА.

Ця зміна надходить на вхід регулюючого пристрою S5-115U.

Сигнал надходить на аналоговий цифровий перетворювач АЦП, де перетворюється з аналогового сигналу в цифровий.

Далі цей сигнал обробляється в алгоблоці в цифровій формі відповідно до заданої програми.

Контроль технологічного параметра здійснюється з пульта контролера S5-115U.

Вихідний сигнал контролера з цифрового аналогового перетворювача ЦАП надходить на електропневматичний перетворювач ЕП-3224 (1б), встановлений на обладнанні по місцю, де сигнал перетвориться в стандартний пневматичний сигнал 0,2 ... 1МПа, який потім надходить на виконавчий механізм 25нж48нж (1в) , встановлений на трубопроводі подачі рідкого азоту в конденсатор колони сирого аргону (4).

При досягненні параметром певного значення вихідний дискретний сигнал з цифрового дискретного перетворювача ЦДП надходить на вхід електропневматичного перетворювача РДВ-2а (1г), який перетворює дискретний електричний сигнал в дискретний пневматичний.

Цей сигнал надходить на клапан відсікач 22ч32п (1д), який відкриває скидання парогазової суміші в атмосферу з колони сирого аргону (1).

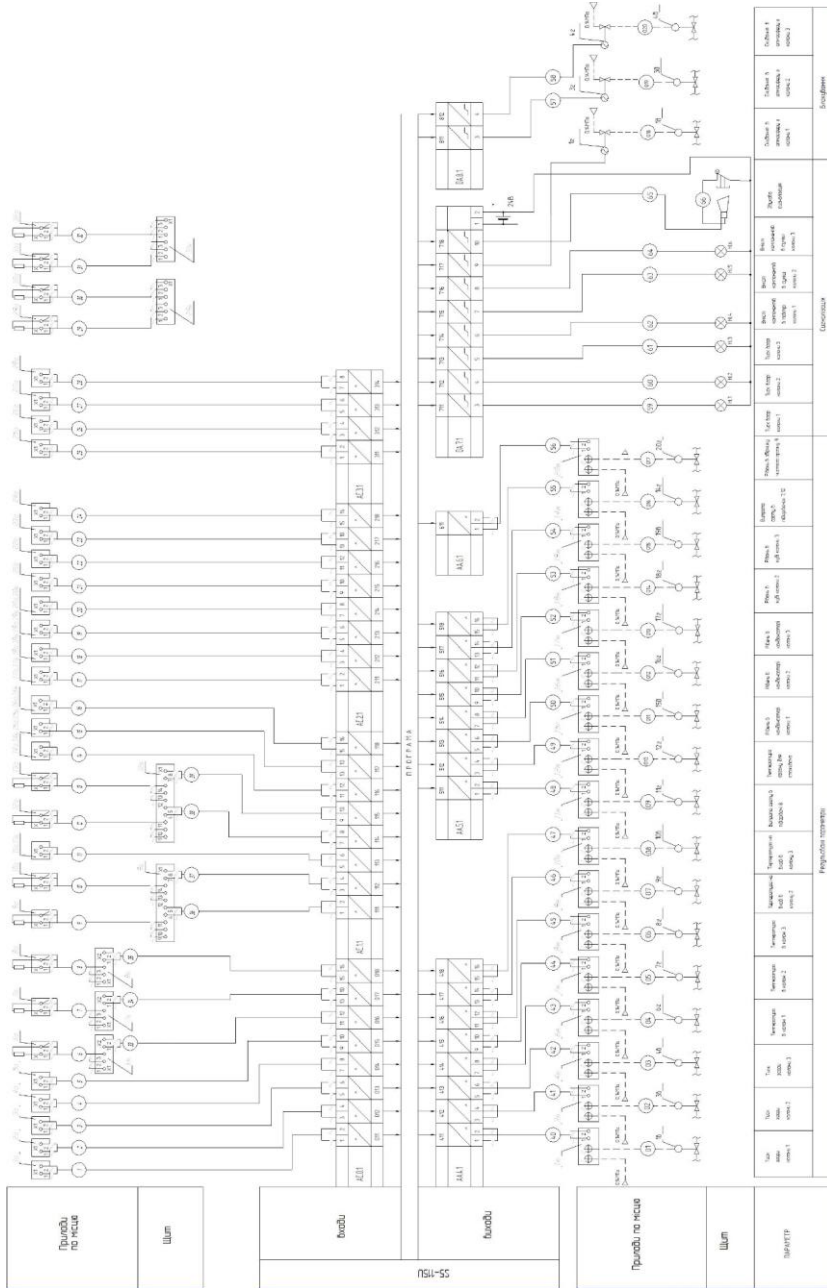


Рисунок 3.1 – Структурна схема автоматизованої системи

Крім того, дискретний сигнал з дискретного цифрового перетворювача ЦДП надходить на індикаторну лампу HL1, загоряння якої сигналізує про досягнення параметром аварійного значення.

Крім того, дискретний сигнал з виходу ЦДП надходить на клеми електричного гудка (26в), який сигналізує про перевищення тиску в колоні сирого аргону (1).

Автоматичні системи регулювання, контролю, сигналізації та блокування тисків парогазових сумішей в колонах технічного (2) і чистого (3) аргону аналогічні системі регулювання, контролю, сигналізації та блокування тиску парогазової суміші в колоні сирого аргону (1).

Автоматичне регулювання і контроль температури в колоні сирого аргону (1).

Зміна температури в колоні сирого аргону (позиція 1) попадає на давач температури Метран-206 ТСП (100П) (6-а), який перетворює це в зміну опору. Зміна опору фіксується перетворювачем Ш9321 (6б), який перетворює його в зміну стандартного струмового сигналу 0 ... 5мА.

Ця зміна надходить на вхід регулюючого пристрою S5-115U.

Сигнал надходить на аналоговий цифровий перетворювач АЦП, де перетворюється з аналогового сигналу в цифровий.

Далі цей сигнал обробляється в алгоблоці в цифровій формі відповідно із заданою програмою.

Контроль технологічного параметра здійснюється з пульта контролера S5-115U.

Вихідний сигнал контролера з цифрового аналогового перетворювача ЦАП надходить на електропневматичний перетворювач ЕП-3224 (6в), встановлений на обладнанні. Далі сигнал перетвориться в стандартний пневматичний сигнал 0,2 ... 1Мпа, який потім надходить на виконавчий механізм 25нж48нж (6г), встановлений на трубопроводі подачі флегми з

конденсатора колони сирого аргону (4) в верхню частину колони сирого аргону (1).

Системи автоматичного регулювання і контролю температури в верхніх частинах колон технічного і чистого аргону (2,3) аналогічні системі регулювання і контролю температури у верхній частині колони сирого аргону (1).

Автоматичне регулювання і контроль температури парогазової суміші на вході в колону технічного аргону (2).

Зміна температури парогазової суміші сприймається давачем температури Метран-206 ТСП (100П) (9а), який перетворює її в зміну опору.

Зміна опору фіксується двоканальним цифровим вимірником 2ТРМО-А (9б), який показує поточне значення температури і перетворює зміну опору в зміну стандартного токового сигналу 0 ... 5мА.

Далі сигнал надходить на вхід регулюючого пристрою S5-115U. Сигнал надходить на аналоговий цифровий перетворювач АЦП, де перетворюється з аналогового сигналу в цифровий.

Далі цей сигнал обробляється в алгоблоці в цифровій формі відповідно до заданої програми.

Контроль технологічного параметра здійснюється з пульта контролера S5-115U.

Вихідний сигнал контролера з цифрового аналогового перетворювача ЦАП проходить на електропневматичний перетворювач ЕП-3224 (9в), встановлений на обладнанні, де сигнал перетвориться в стандартний пневматичний сигнал 0,2 ... 1МПа, який потім надходить на виконавчий механізм 25нж48нж (9г) , встановлений на трубопроводі подачі кубової рідини в теплообмінник (10).

Автоматичні системи регулювання та контролю температур парогазової суміші на вході в колону чистого аргону (3) і чистого аргону на виході з установки поділу КжАр-2-1 аналогічні системі регулювання і

контролю температури парогазової суміші на вході в колону технічного аргону (2).

Автоматична система стабілізації і контролю витрат газоподібного азоту в теплообмінник (8).

Зміна витрати сприймається давачем SONO 4100 (11a) і перетворювачем сигналів SONO 3000 (11б), які перетворюють вхідний сигнал в зміну стандартного струмового сигналу 0 ... 5мА.

Далі він надходить на вхід регулюючого пристрою S5-115U. Сигнал надходить на аналоговий цифровий перетворювач АЦП, де перетворюється з аналогового сигналу в цифровий.

Далі цей сигнал обробляється в алгоблоці в цифровій формі відповідно до заданої програми.

Контроль технологічного параметра здійснюється з пульта контролера S5-115U.

Вихідний сигнал контролера з цифрового аналогового перетворювача ЦАП проходить на електропневматичний перетворювач ЕП-3224 (11в), встановлений на обладнанні, де сигнал перетвориться в стандартний пневматичний сигнал 0,2 ...1МПа, який потім надходить на виконавчий механізм 25нж48нж (11г), встановлений на трубопроводі подачі газоподібного азоту в теплообмінник (8).

Автоматична система стабілізації і контролю витрат газоподібного азоту в теплообмінники (7,12) аналогічна системі стабілізації та контролю витрат газоподібного азоту в теплообмінник (8).

Автоматичне регулювання і контроль рівня рідини в конденсаторі колони сирого аргону (1).

Зміна рівня фіксується давачем рівнеміра-дифманометра Метран 43-ДГ-Ех ДД (15а, 15б), який перетворює її в сигнал стандартного струмового сигналу 0 ... 5мА.

Далі він надходить на вхід регулюючого пристрою S5-115U. Сигнал надходить на аналоговий цифровий перетворювач АЦП, де перетворюється з аналогового сигналу в цифровий.

Далі цей сигнал обробляється в алгоблоці в цифровій формі відповідно з заданою програмою.

Вихідний сигнал контролера з цифрово-аналогового перетворювача ЦАП надходить на електропневматичний перетворювач ЕП-3224 (15г), встановлений на обладнанні, де сигнал перетворюється в стандартний пневматичний сигнал 0,2...1МПа, який потім надходить на виконавчий механізм 25нж48нж (15г), встановлений на трубопроводі подачі флегми в теплообмінник (10).

Системи автоматичного регулювання і контролю рівнів в конденсаторі колони технічного аргону (5), конденсаторі колони чистого аргону (6), в кубі колони технічного аргону (2), в кубі колони чистого аргону (3) і в збірнику чистого аргону (9) аналогічні системі регулювання і контролю рівня рідини в конденсаторі колони сирого аргону (4).

Автоматичний контроль температури парогазової суміші на вході в колону сирого аргону (1).

Зміна температури парогазової суміші сприймається давачем температури Метран-206-ТСП (100П) (13а), який перетворює її в сигнал зміну опору.

Зміна опору фіксується двоканальним цифровим вимірником 2ТРМО-А (12б), який показує поточне значення температури і перетворює зміну опору в зміну стандартного токового сигналу 0 ... 5мА.

Далі він надходить на вхід регулюючого пристрою S5-115U. Сигнал надходить на аналоговий цифровий перетворювач АЦП, де перетворюється з аналогового сигналу в цифровий.

Далі цей сигнал обробляється в алгоблоці в цифровій формі відповідно до заданої програми.

Контроль технологічного параметра здійснюється з пульта контролера S5-115U.

Автоматичний контроль температури рідкого, газоподібного азоту і кубової рідини на вході в технологічний процес одержання аргону аналогічні системі автоматичного контролю температури парогазової суміші на вході в колону сирого аргону (1).

Автоматичний контроль концентрації кисню в парогазовій суміші на виході з колони сирого аргону (1).

Зміна концентрації кисню фіксується перетворювачем типу АГ011 (21а), який перетворює її в зміну стандартного струмового сигналу 0 ... 5мА.

Діла сигнал надходить на вхід регулюючого пристрою S5-115U. Сигнал надходить на аналоговий цифровий перетворювач АЦП, де перетворюється з аналогового сигналу в цифровий.

Сигнал обробляється в алгоблочі в цифровій формі відповідно до заданої програми.

Контроль технологічного параметра здійснюється з пульта контролера S5-115U.

Автоматичний контроль вмісту кисню в рідкій кисневій фракції на виході з колони сирого аргону (1) аналогічний системі автоматичного контролю вмісту кисню в парогазовій суміші на виході з колони сирого аргону (1).

Автоматичний контроль мікро концентрації кисню в парогазовій суміші на виході з колони технічного аргону (2).

Зміна мікро концентрації кисню фіксується давачем перетворювача типу АГЕ-2 (23а), який перетворює її в зміну стандартного струмового сигналу 0 ... 5мА.

Цей сигнал надходить на вхід регулюючого пристрою S5-115U.

Сигнал надходить на аналоговий цифровий перетворювач АЦП, де перетворюється з аналогового сигналу в цифровий. Далі цей сигнал обробляється в алгоблочі в цифровій формі відповідно до заданої програми.

Контроль технологічного параметра здійснюється з пульта контролера S5-115U.

Автоматичний контроль і сигналізація концентрації кисню в повітрі об'ємі установки поділу КжАр-2-1.

Зміна концентрації кисню фіксується датчиком перетворень типу АГ011 (24а), який перетворює її в зміну стандартного струмового сигналу 0 ... 5мА.

Ця зміна надходить на вхід регулюючого пристрою S5-115U.

Сигнал надходить на аналоговий цифровий перетворювач АЦП, де перетворюється з аналогового сигналу в цифровий. Далі цей сигнал обробляється в алгоблоці в цифровій формі відповідно до заданої програми.

Контроль технологічного параметра здійснюється з пульта контролера S5-115U.

При досягненні параметром певного значення вихідний дискретний сигнал з цифрового дискретного перетворювача ЦДП надходить на сигнальну лампу НЛ4, загорання якої попереджає про досягнення параметром аварійного значення.

Крім того, дискретний сигнал з виходу цифрового дискретного перетворювача ЦДП надходить до електричного гудка(26в), який сигналізує про зниження концентрації кисню в об'ємі установки поділу КжАр-2-1 нижче небезпечного значення.

Автоматичний контроль і сигналізація мікро концентрації кисню в чистому аргоні на виході з колони чистого аргону (3).

Зміна мікро концентрації кисню фіксується давачем перетворювача типу АГЕ-2 (25а), який перетворює її в зміну стандартного струмового сигналу 0 ... 5мА.

Сигнал надходить на вхід регулюючого пристрою S5-115U.

Сигнал надходить на аналоговий цифровий перетворювач АЦП, де перетворюється з аналогового сигналу в цифровий. Далі цей сигнал обробляється в алгоблоці в цифровій формі відповідно до заданої програми.

Контроль технологічного параметра здійснюється з пульта контролера S5-115U.

При досягненні параметром певного значення вихідний дискретний сигнал з цифрового дискретного перетворювача ЦДП надходить на сигнальну лампу HL5, загоряння якої попереджає про досягнення параметром аварійного значення.

Крім цього, дискретний сигнал з виходу ЦДП надходить до електричної сирени (26в), яка сигналізує про неприпустиме значення мікро концентрації кисню в чистому аргоні.

Автоматичний контроль і сигналізація мікро концентрації азоту в чистому аргоні на виході з колони чистого аргону (3).

Зміна мікро концентрації азоту фіксується давачем перетворювачів типу Світло (26а), який перетворює цю зміну в стандартний струмовий сигнал 0 ... 5мА.

сигнал надходить на вхід регулюючого пристрою S5-115U. Сигнал надходить на аналоговий цифровий перетворювач АЦП, де перетворюється з аналогового сигналу в цифровий.

Далі цей сигнал обробляється в алгоблоці в цифровій формі відповідно до заданої програми.

Контроль технологічного параметра здійснюється з пульта S5-115U.

При досягненні параметром певного значення вихідний дискретний сигнал з цифрового дискретного перетворювача ЦДП надходить на сигнальну лампу HL6, загоряння якої попереджає про досягнення параметром аварійного значення.

Крім цього, дискретний сигнал з виходу ЦДП надходить до електричного гудка (26в), який сигналізує про неприпустиме значення мікро концентрації азоту в чистому аргоні на виході з колони чистого аргону (3).

Автоматичний контроль витрати чистого аргону на виході теплообмінника(13).

Зміна витрати фіксується датчиком SONO 4100 (28a) і перетворювачем сигналів SONO 3000 (28б), які перетворюють її в зміну стандартного струмового сигналу 0 ... 5мА.

Сигнал надходить на вхід регулюючого пристрою S5-115U.

Сигнал надходить на аналоговий цифровий перетворювач АЦП, де перетворюється з аналогового сигналу в цифровий.

Далі цей сигнал обробляється в алгоблоці в цифровій формі відповідно до програми.

Контроль технологічного параметра здійснюється з пульта контролера S5-115U.

Загальний вигляд пульта управління приведено на рис. 3.2.

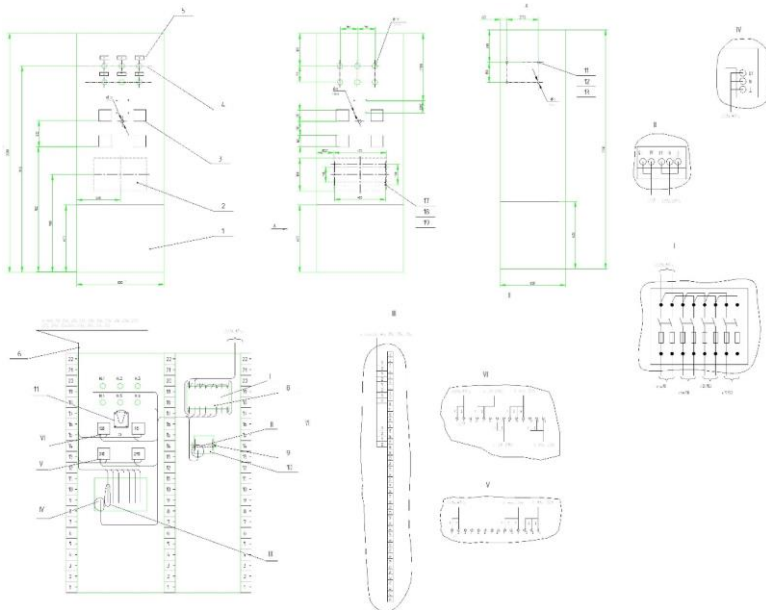


Рисунок 3.2. – Загальний вигляд пульта управління при роботі системи управління

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Організація охорони праці при роботі з системою управління

Охорона праці розглядає проблеми забезпечення здорових і безпечних умов праці. Виявляє і вивчає можливі причини нещасних випадків, професійних захворювань, аварій, вибухів, пожеж і розробляє систему заходів і вимог з метою виключення цих причин і створення безпечних і сприятливих для людини умов праці.

Завдання охорони праці є зведення до мінімуму імовірності пошкодження або захворювання працівників з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці.

Навчання працівників безпеці праці проводять відповідно до вимог, які встановлюють порядок і види навчання. На всіх підприємствах і в організаціях незалежно від характеру і ступеню небезпеки виробництва навчання працівників проводять при підготовці нових робітників, проведенні різноманітних видів інструктажів і підвищенні кваліфікації.

Контроль за своєчасним і якісним навчанням виконує відділ охорони праці чи інженер з охорони праці, або ІТП, на якого наказом керівника підприємства покладено ці обов'язки. Ті, що вперше поступають на роботу, навчання проходять згідно з "Типовим положенням про підготовку і підвищення кваліфікації робітників". В журналі обліку навчальної роботи реєструють навчальну тему, за якою проводилось навчання.

Інструктаж працюючих поділяють на вступний, початковий, на робочому місці, повторний, позаплановий і початковий.

Вступний інструктаж з усіма, хто поступає на роботу незалежно від їх освіти і стажу роботи по даній професії, проводить інженер з охорони праці за програмою, затвердженою головним інженером підприємства, про

проведення вступного інструктажу з обов'язковим підписом того, хто проводив інструктаж і того, хто його отримав.

Початковий інструктаж на робочому місці, повторний, позаплановий і поточний проводить керівник робіт.

Початковий інструктаж на робочому місці проводять при прийомі на роботу нових робітників за інструкцією з охорони праці, розробленою для окремих професій або видів робіт. Всі робітники після цього інструктажу і перевірки знань 2-5 змін (залежно від навичок і стажу роботи) працюють під наглядом бригадира чи майстра, потім оформляється допуск до їх самостійної праці.

Повторний інструктаж проходять всі працівники незалежно від кваліфікації, освіти і стажу роботи через три місяці. Його проводять з метою перевірки знання робітниками правил і норм з охорони праці.

Позаплановий інструктаж проводять коли змінилися правила охорони праці або технологічний процес, обладнання, інструмент та інші фактори, що впливають на безпеку праці; коли працівники порушують правила охорони праці, що можуть призвести чи призвели до травм, аварій чи пожежі, вибуху. Його проводять індивідуально чи з групою робітників однієї професії за програмою початкового інструктажу на робочому місці. При його реєстрації вказують причину, яка спричинила його проведення.

Умови праці мають велике значення практично для всіх виробничих показників - продуктивності праці, якості робіт, безпеки працівників та інше.

Санітарно-гігієнічні умови праці характеризуються показниками виробничого середовища - рівнем освітлення, мікрокліматичними параметрами, загазованістю і запиленістю повітряного середовища, рівнем шуму і вібрації, наявністю іонізуючого випромінювання та інше.

4.2 Електробезпека

Електричні установки, з якими доводиться мати справу практично всім працюючим по встановленню та налагодженню засобів автоматизації, виявляють для людини велику потенційну небезпеку, яка збільшується у зв'язку з тим, що органи чуття людини не можуть на відстані виявити присутність електричної напруги на обладнанні.

Степінь ураження електричним струмом залежить від цілого ряду факторів: значення сили струму, електричного опору тіла людини та тривалості протікання через неї струму, виду та частоти струму, індивідуальних властивостей людини та умов навколишнього середовища.

Конструкція електроустановок має відповідати умовам їх експлуатації та забезпечувати захист персоналу від дотику з струмоведучими та рухомими частинами, а обладнання - від попадання всередину посторонніх твердих тіл та води.

Конструкція, вид виконання, спосіб встановлення, клас ізоляції застосовуваних провідників, кабелів, пристроїв та іншого електрообладнання відповідають вимогам електробезпеки. За ступенем ураження людей електричним струмом котельня відноситься згідно ПУЕ 1.1.13 до категорії приміщень з підвищеною небезпекою (висока температура, можливість одночасного дотику до металевих елементів технологічного обладнання або металоконструкцій будинку та металевих корпусів електрообладнання).

У нормальному режимі роботи обладнання - можливість ураження працівників електричним струмом виключена. Але на випадок аварії для запобігання ураження струмом людей передбачене захисне заземлення. Допустимий опір заземлення повинен бути не більшим 10 Ом.

При виконанні монтажних робіт використовуються переносні електроінструменти (електродрилі, електро-шліфувальні установки, тощо).

Для забезпечення безпечної праці корпуси однофазних електро-приймачів повинні занулюватись.

Захист людини від ураження електричним струмом в мережах з зануленням здійснюється тим, що при замиканні одної з фаз на занулений корпус в ланці цієї фази виникає струм короткого замикання, що діє на струмовий захист (плавкий запобіжник, автомат), в результаті чого відбувається відключення аварійної ділянки від мережі. Крім того, ще до спрацювання захисту струм короткого викликає перерозподіл напруги в мережі, що приводить до зниження напруги корпусу відносно землі. Таким чином, занулення зменшує напругу дотику та обмежує час, на протязі якого людина, що доторкнулася до корпусу, може потрапити під дію напруги.

Для того, щоб забезпечити швидке (на протязі декількох секунд) відключення аварійної ділянки, струм короткого замикання повинен бути достатньо великим. Відповідно до вимог струм короткого замикання повинен не менше ніж в три рази перевищувати номінальний струм плавкої вставки найближчого запобіжника або номінальний струм нерегульованого розчеплювача автоматичного вимикача. При використанні автоматичних вимикачів, що мають тільки електромагнітний розчіплювач (відсічку), струм короткого замикання повинен перевищувати значення струму встановлення миттєвого спрацювання в 1,25-1,4 рази в залежності від номінального струму.

В однофазних електро-приймачів, що включені між фазним та нульовим робочим проводами, занулення корпусів слід виконувати з допомогою окремого (третього) провідника, який повинен з'єднувати корпус електро-приймача з нульовим захисним проводом. В таких випадках під'єднувати корпуси електро-приймачів для забезпечення електробезпеки до нульового робочого проводу недопустимо, оскільки при його розриві (перегоранні запобіжника) всі під'єднані до нього корпуси виявляться під фазною напругою відносно землі.

В мережі з зануленням недопустимо використовувати заземлення окремих електро-приймачів, не під'єднавши їх перед цим до нульового захисного провідника. В цьому випадку при замиканні фази на заземлений, але не приєднаний до нульового захисного провідника корпус створюється коло струму через заземлення цього корпусу та заземлення нейтралі джерела струму. Такий випадок небезпечний, оскільки засоби захисту не зможуть відключити такий електро-приймач через мале значення струму і тому небезпечна напруга на всіх корпусах може зберігатися тривалий період, поки заземлений приймач не буде відключений вручну.

Важливо відмітити, що якщо занулений корпус одночасно заземлений, то це тільки покращує умови безпеки, оскільки забезпечує додаткове заземлення нульового захисного проводу.

Для ізоляції людини від частин електроустановок, що знаходяться під напругою, використовуються основні та допоміжні ізолюючі засоби, а саме слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками, коврики, ізолюючі підставки, тощо.

У приміщеннях, де знаходяться вимірювальні прилади, необхідно забезпечити виконання заходів по боротьбі з статичною електрикою (тобто прилади повинні бути заземлені). Найпростішим засобом є підтримка відносної вологості повітря на рівні 50 - 60 % за допомогою побутового електро-зволожувача.

Підлогу слід виконувати відповідно вимог, використовуючи антистатичне покриття на проходах і біля робочих місць.

Робітникам рекомендовано носити одягу з природних матеріалів або з комбінованих - природних і штучних волокон. Для зняття електростатичних зарядів з одягу слід використовувати антистатика побутового призначення.

Оскільки корпуси приладів виконані з металу, то для усунення небезпеки ураження людини електричним струмом (можливий пробій на корпус приладу) використовується захисне заземлення.

7.3 Розрахунок заземлення

Розрахуємо систему заземлення для електроустановки, яка працює від напруги 220 В.

$$R_{\text{заз}} \leq \frac{U}{I_p} = \frac{220}{66} = 3.3 \leq 4 \text{ Ом}$$

Визначаємо опір ґрунту: $\rho = \kappa_n * \rho_n = 2 * 200 = 400 \text{ Ом м}$,

де κ_n - коефіцієнт підсилення;

ρ_n — питомий опір ґрунту (вибирається з довідкової літератури).

Визначаємо опір одиночного вертикального заземлювача:

$$R_B = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} * \frac{4t+1}{4t-1} \right)$$

де t - відстань від середини заземлювача до поверхні ґрунту, м;

l, d - довжина і діаметр стержня заземлювача, м;

$R_B = 96 \text{ Ом}$.

Визначаємо опір сталевієї полоси, що з'єднує стержневі заземлювачі:

$$R_{\text{л}} = (\rho / 2\pi l) * \ln(l^2 / dt) = 61 \text{ Ом}$$

Визначаємо орієнтовне число стержневих заземлювачів:

$$n = R_B / [r_B] \eta_B = 96 / 4 * 1 = 24 \text{ шт};$$

r_B - допустимий по нормам опір заземляючого пристрою,

η_B - коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів (для орієнтовного розрахунку приймається рівним 1).

Приймаємо розміщення вертикальних заземлювачів по контуру з відстанню між сталевими заземлювачами рівним 21. З довідкової літератури визначаємо $\eta_B = 0,66$ і $\eta_r = 0,39$.

Визначаємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів

$$n = R_B / [r_B] \eta_B = 96 / (4 * 0,66) = 36$$

Розраховуємо загальний розрахунковий опір заземлюючого пристрою R з врахуванням з'єднувальної полоси

$$R = R_B R_{II} / (R_B \eta_r + R_{II} \eta_{B^2}) = 3,9 \text{ Ом.}$$

Розрахунок проведено правильно, оскільки виконується умова $R \leq [r^*]$.

Розрахунок штучного заземлення:

Приймаємо, що опір захисного заземлення не повинен перевищувати 4 Ом:

$$R_{33} = \frac{R_c R_n}{R_c + R_n} \leq 4 \text{ Ом}$$

де R_{33} – опір захисного заземлення;

R_c – опір стержневих заземлювачів;

R_n – опір поперечних заземлювачів.

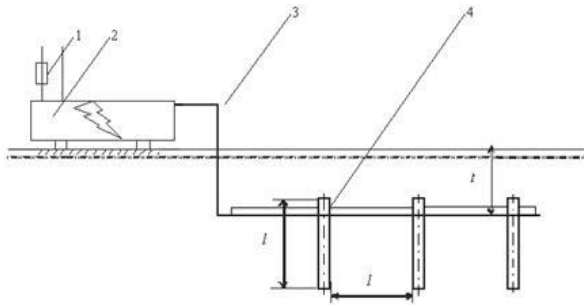


Рисунок 4.1 - Пристрій заземлення

4 – плавка вставка; 2 – електроустановка; 3 – з'єднувальна штаба; 4 – трубчатий заземлювач

Опір одиночного стержневого заземлювача розтіканню електричного струму:

$$R_{oc} = \frac{\rho_p}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \ln \frac{4h' + l}{4h' - l} \right)$$

де h – відстань від поверхні ґрунту до заземлювача і становить 0,8 м;

l – довжина стержневого заземлювача 3 м;

d – діаметр стержневого заземлювача 50 мм.

$$R_{\text{ок}} = \frac{750}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0,05} + \ln \frac{4 \cdot 0,8 + 3}{4 \cdot 0,8 - 3} \right) = 39,8 \cdot (0,18 + 3,43) = 143,8 \text{ Ом}$$

Опір одиночного поперечного заземлювача:

$$R_{\text{ок}} = \frac{\rho_{\text{г}}}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{bh'}$$

де l – довжина поперечного заземлювача 2,5 м;

b – ширина полоси заземлювача 30 мм;

$\rho_{\text{г}}$ – розрахунковий опір ґрунту: для поперечних електродів 1000 Ом·м, для стержневих електродів 750 Ом·м.

$$R_{\text{ок}} = \frac{1000}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \ln \frac{2 \cdot 2,5^2}{0,03 \cdot 0,8} = 63,7 \cdot 6,25 = 398,1 \text{ Ом}$$

В наслідок взаємовпливу вводимо коефіцієнт використання заземлювачів:

$$\eta = \frac{R_0}{nR_0}$$

де R_0 – допустимий опір заземлення, що становить 4 Ом;

R_0 – опір одиночного заземлювача.

З цієї формули методом ітерацій підбирають n , при якому $\eta = 1$:

n	R_n	R_c	R₀	η
1	398,1	143,8	105,6	26,1
5	398,1	143,8	105,6	5,2
10	398,1	143,8	105,6	2,6
15	398,1	143,8	105,6	1,7
20	398,1	143,8	105,6	1,3
25	398,1	143,8	105,6	1,1
26	398,1	143,8	105,6	1,0
27	398,1	143,8	105,6	0,9

Отже приймаємо кількість одиночних заземлюючих електродів рівною

26.

ВИСНОВКИ

У роботі замінено морально-застарілі засоби автоматизації на нові з використанням програмованого логічного контролера та спеціалізованих автоматичних регуляторів.

На основі аналізу параметрів виробничого процесу визначено параметри, якими регулюється процес виробництва аргону. На основі проведених досліджень запропонована математична модель системи керування, описано рівняння основних регулюючих ланок. Також за результатами моделювання визначено параметри регуляторів.

У проекті запропоновано систему управління на базі програмованого логічного контролера S5-115U, який дозволяє виконувати задані закони регулювання і управляти процесом відповідно до заданої програми.

Завдяки цьому всі процеси управління по збагаченню і очищенню аргону зосередилися в єдиному центрі - контролері S5-115U, що дозволило значно збільшити точність регулювання параметрів; зменшити час перехідних процесів в апаратах, практично повністю виключити «людський фактор» при керуванні і аналізі параметрів.

Так само завдяки можливості підключення контролера до ПК технолог має можливість в будь-який момент переглянути всю потрібну йому інформацію не виходячи з кабінету і має можливість управляти технологічним процесом контролювати якість одержуваного продукту.

Впровадження нових засобів автоматизації дозволяє підвищити якість ведення технологічного процесу, рівень автоматизації виробництва, в результаті чого підвищується якість продукції, поліпшуються умови роботи обслуговуючого персоналу, покращується безпека процесу. Крім того, впроваджувана система автоматизації дозволяє зменшити втрати продукту внаслідок витоків і зменшити пожежну-небезпеку технологічного процесу.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 1. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-8052 від 28.05.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2013. – 256 с.
2. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-11650 від 16.07.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2014. – 312 с.
3. Микитишин А.Г., Митник, П.Д. Стухляк. Комплексна безпека інформаційних мережевих систем: навчальний посібник – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016. – 256 с.
4. Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д. Телекомунікаційні системи та мережі : навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 – 384 с.
5. Кадыков В.Н. Применение статистических моделей для оптимизации технологии производства заготовок из слитков / В.Н. Кадыков, А.А. Уманский // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2008. – № 6. – С. 20 – 22. 2. Кудрин В.А. Теория и технология производства стали / В.А. Кудрин – М.: «Мир», ООО «Издательство АСТ», 2003. – 528 с.
6. Birat J.-P., Marchionni C. ContinuousCasting, Past, PresentandFuture. - RevuedeMetallurgie. – 2005. – № 11. – P. 732 – 737.
7. Flick A., Stoiber C. Trendsincontinuouscastinginsteel – yesterday, todayandtomorrow / Proc. 7th EuropeanContinuousCastingConference. Dusseldorf, Germany. 27th-1st July 2011. – Dusseldorf: METEC, 2011.
8. Sahai Y. TundishTechnologyforCleanSteelProduction / Y.Sahai, T.Emi //NewJersey: WorldScientific. – 2008. – 329 p.

9. Дерягин Б.В., Чураев Н.В., Муляр В.М. Поверхностные силы. – М.: Наука, 1986. – 398 с.
10. Погодин А.М., Григорович К.В., Комолова О.А. Математическая модель удаления неметаллических включений из металла на агрегате ковш-печь // Труды XIII Конгресса сталеплавателей (г. Полевской, 22 – 26 октября 2014 г.). – Москва. – С. 184 – 187.
11. Н.И.Давыдов. Производство аргона и криптона на металлургическом заводе. М.:Металлургия,1966.
12. Г.И.Лапшенков, Л.М.Полоцкий. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. М.:Химия, 1988.
13. Продукты разделения воздуха. Справочник под ред. Д.Л.Глизманенко. М.: Химия, 1991.
14. Автоматизация управления в химической промышленности: Учебник для ВУЗов / под редакцией Е.Г. Дудникова – М.: Химия, 1987-368с.
15. Автоматические приборы, регуляторы и вычислительные системы. Под редакцией Б.Д. Кошорского. Справочное пособие. – М.: Машиностроение, 1976 – 603с.
16. И.В. Анисимов. Основы автоматического управления технологическими процессами нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. – Л.: Химия, 1967 – 408с.
17. Автоматическое регулирование и контрольно-измерительные приборы в промышленности основной химии. Л.: Химия, 1975.
18. А.И. Емельянов, О.Б. Капник. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие – 2-е издание, переработанное и дополненное. – М.: Энергоатомиздат, 1983 – 400с.
19. Номенклатурный каталог. «Метран – 2000».
20. Номенклатурный каталог.” Эталон-прибор-2000”
21. В.А.Голубятников, В.В.Шувалов. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. М.:Химия ,1985.

22. Отраслевой каталог. Приборы и средства автоматизации. М. 1989.
23. Справочник проектировщика систем автоматизации управления производством. Под редакцией Г.Л. Смилянского, М.: Машиностроение, 1971.
24. Техника проектирования систем автоматизации технологических процессов. М. : Машиностроение, 1976.
25. Э.Л.Ицкович, Н.В.Шестаков. Эффективность автоматизации химико-технологического производства. М.: Химия, 1990.
26. Г.А.Огаджанов, А.Б.Сухов. Автоматизированные системы управления подотраслью. М.: Химия, 1986.
27. Г.В.Дружинин. Надежность автоматизированных производственных систем. М.: Энергоатомиздат, 1986.