

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

\_\_\_\_\_ Худолей Г.М.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 р.

Бакалаврська робота на тему:

«Система управління виробництвом мурашиної кислої солі диметиламіну»

Керівник роботи:  
(к.т.н., викладач)

Андрусенко О.О.

Бакалаврант:  
студент групи СУз-81Ш

Помаз Є. Ю.

Шостка – 2022 р.

## РЕФЕРАТ

Помаз Євгеній Юрійович. Система управління виробництвом мурашиної кислоти солі диметиламіну. Кваліфікаційна робота освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» за напрямом 6.151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» – Шосткинський інститут Сумського державного університету, Шостка, 2022 р.

Бакалаврська робота містить 66 аркушів пояснювальної записки, 37 рисунків, 13 таблиць, 30 джерел інформації, конструкторську документацію, яка містить 4 креслення.

В бакалаврській роботі виконане проектування системи управління виробництвом мурашиної кислоти солі диметиламіну. В роботі проведений конструктивно-технологічний аналіз об'єкта автоматизації, визначені параметри технологічного процесу, вибрані канали контролю і управління, обрані необхідні технічні засоби, розрахований регулятор по каналу управління температурою реакційної суміші від витрати охолоджуючої води. Автоматизація технологічного процесу забезпечує управління основними технологічними операціями, які впливають на якість кінцевого продукту, дозволяють забезпечити високі показники збереження матеріалів і енергозбереження.

Ключові слова: система управління, автоматизація виробництва, параметр управління, параметр дії, аналоговий сигнал, дискретний сигнал, сигнал управління, вузол управління, мікропроцесорний контролер.

## РЕФЕРАТ

Помаз Евгений Юрьевич. Система управления производством кислой муравьиной соли диметиламина. Квалификационная работа образовательно-квалификационного уровня «бакалавр» по направлению 6.151 «Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии» –

Шосткинский институт Сумского государственного университета, Шостка, 2022 г.

Бакалаврская работа содержит 66 листов пояснительной записки, 37 рисунков, 13 таблиц, 30 источников информации, конструкторскую документацию, содержащую 4 чертежа.

В бакалаврской работе выполнено проектирование системы управления производством кислой муравьиной соли диметиламина. В работе проведен конструктивно-технологический анализ объекта автоматизации, определены параметры технологического процесса, выбраны каналы контроля и управления, выбраны необходимые технические средства, рассчитан регулятор по каналу управления температурой реакционной смеси от расхода охлаждающей воды.

Автоматизация технологического процесса обеспечивает управление основными технологическими операциями, влияющими на качество конечного продукта, позволяющими обеспечить высокие показатели хранения материалов и энергосбережения.

Ключевые слова: система управления, автоматизация производства, параметр управления, параметр действия, аналоговый сигнал, дискретный сигнал, сигнал управления, узел управления, микропроцессорный контроллер.

#### summary

Pomaz Eugene Yurievich. Dimethylamine formic acid salt production control system. Qualification work of the educational and qualification level "bachelor" in the direction of 6.151 "Automation and computer-integrated technologies" -. Shostka Institute of Sumy State University, Shostka, 2022.

The bachelor's thesis contains 66 sheets of explanatory note, 37 figures, 13 tables, 30 sources of information, design documentation, which contains 4 drawings.

In the bachelor's work the design of the control system for the production of formic acid salt of dimethylamine was performed. The constructive-technological analysis of the object of automation is carried out in the work, the parameters of the technological process are determined, the control and management channels are selected, the necessary technical means are selected, the regulator is calculated on the control channel temperature control channel. Automation of technological process provides control of the basic technological operations influencing quality of a final product, allow to provide high indicators of preservation of materials and energy saving.

Keywords: control system, production automation, control parameter, action parameter, analog signal, discrete signal, control signal, control unit, microprocessor controller.

## ЗМІСТ

Список скорочень.....	6
Вступ.....	8
1 Конструктивно-технологічний аналіз об'єкта автоматизації .....	9
2 Дослідження матеріальних потоків у технологічному процесі, побудова схеми інформаційних потоків.....	14
3 Вибір параметрів контролю, регулювання та сигналізації .....	16
4 Вибір каналів внесення регулюючих дій .....	20
5 Вибір засобів автоматизації .....	31
5.1 Вибір датчиків.....	31
5.2 Вибір регулюючих органів .....	42
5.3 вибір контролера.....	51
6 Розрахункова частина .....	57
6.1 Ідентифікація технологічного об'єкта управління (ТОУ).....	57
6.2 Визначення параметрів передавальної функції ТОУ. ....	58
6.3 Перевірка адекватності моделі .....	60
6.4 Розрахунок параметрів регулятора .....	61
Висновок.....	66
Література .....	67

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

- АРМ – автоматизоване робоче місце.
- АСУ – автоматизована система управління.
- АСУП – автоматизована система управління підприємством.
- АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом.
- АЦП – аналого-цифровий перетворювач.
- ВКПР – верхня концентрована межа поширення полум'я.
- ВМ – виконавчий механізм.
- ГДК – гранично-допустима концентрація.
- ДВ- діапазон вимірювання.
- ДМА—диметиламін.
- ЕСКД – єдина система конструкторської документації.
- КВП і А – контрольно-вимірювальні прилади і автоматика.
- МЕК – міжнародна електротехнічна комісія.
- МКС ДМА – мурашина кисла сіль диметиламіну.
- НКМП – нижня концентрована межа поширення полум'я.
- МК – мікроконтролер.
- ММ – математична модель.
- МП – мікропроцесор.
- ОЗП – оперативний пристрій, що запам'ятовує.
- ОУ – об'єкт управління.
- П – пропорційний.
- ПІ – пропорційно-інтегральний.
- ПІД – пропорційно-інтегрально-диференційний.
- ПВМ – пневматичний виконавчий механізм.
- ПВП – первинний вимірювальний перетворювач.
- ПЗП – постійний пристрій, що запам'ятовує.
- ПК – персональний комп'ютер.
- ПЕВМ – персональна електронно-обчислювальна машина.
- ПБ – правила безпеки.
- ПК – персональний комп'ютер.
- ПЛК – програмований логічний контролер.
- ПЧ – перетворювач частоти.
- РКІ – рідкокристалічний індикатор.

РО — регулюючий орган.  
САР – система автоматичного регулювання.  
САУ — система автоматичного управління.  
ТО – терморезистор опору.  
ТБ – техніка безпеки.  
ТП - технологічний процес.  
ТО– термоперетворювач опору.  
ТП – термопара.  
ЦАП — цифро-аналоговий перетворювач.  
ЧЕ – чутливий елемент.

## ВСТУП

Мурашина кисла сіль диметиламіну є важливою складовою в технологічному процесі виробництва диметилформаміду. Як і будь-яке виробництво, виробництво мурашиної кислоти солі диметиламіну є важливим не тільки у масштабі заводу, а у масштабі всієї країни, оскільки продукція широко використовується у багатьох галузях промисловості.

Диметиламін, який використовується при виробництві мурашиної кислоти солі диметиламіну є отруйною речовиною другого класу небезпеки, канцерогеном. Крім того, диметиламін створює вибухонебезпечну суміш з повітрям, випаровуючись із рідини.

Тож виведення людини за межі робочої зони є нагальною потребою, тому автоматизація технологічного процесу виробництва мурашиної кислоти солі диметиламіну є наразі актуальною задачею.

У бакалаврській роботі розроблений проєкт системи управління виробництвом мурашиної кислоти солі диметиламіну на основі сучасних технічних засобів, які дозволять проводити технологічний процес на високому рівні забезпечення технологічних параметрів, отримання високоякісної продукції, запобігання нещасним випадкам і техногенним катастрофам, професійним захворюванням персоналу.

Цілі, які можливо досягти при впровадженні проєкту системи управління виробництвом мурашиної кислоти солі диметиламіну:

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



## 1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

Технологічний процес виробництва мурашиної кислої солі диметиламіну (МКС ДМА) складається з декількох стадій. Технологічна схема процесу виробництва наведена на рис. 1.1.

Технічний диметиламін – скраплений газ з аміачним запахом. Диметиламін - пожежонебезпечний.

Показники пожежонебезпечності диметиламіну:

температура самозаймання – не нижче 422 °С;

нижня концентраційна межа поширення полум'я газоповітряної суміші в об'ємних частках - не менше 2,67%, верхня - не більше 14,4%.

При загорянні технічного диметиламіну слід застосовувати розпорошену воду, порошок ПСБ, двоокис вуглецю, хімічну піну.

При горінні технічного диметиламіну можуть утворюватися вода, азот, кислі гази. Засобом захисту від впливу токсичних продуктів горіння є протигаз ГОСТ 12.4.121-83 з коробками марок БКФ, КД.

Усі роботи з диметиламіном повинні проводитися далеко від вогню та джерел іскроутворення з використанням загальнообмінної приточновитяжної або місцевої вентиляції за ГОСТ 12.4.021-75, що забезпечує стан повітряного середовища відповідно до вимог ГОСТ 12.1.005-88. Необхідно дотримуватись вимог пожежної безпеки за ГОСТ 12.1.004-91.

У мірник поз.1 зі складу трубопроводом за допомогою насоса подають мурашину кислоту. Для пришвидшення процесу подачі кислоти у мірнику поз.1 створюється за допомогою вакуум-насосів поз. 13, 14 додатковий вакуум через пастку поз.11, заповнену водою, Вода з пастки позмінно зливається у каналізацію.

Скраплений диметиламін поступає зі складу у мірники поз. 2.1, 2.2 під дією тиску азоту не більше 2,5 кг/см<sup>2</sup> (245 кПа). Надлишковий тиск до 2,5 кг/см<sup>2</sup> (245 кПа) скидається через здування у пастку поз. 8. Трубопровід диметиламіну оснащений відсічним клапаном з двома запірними вентилями.

Технологічний процес виробництва мурашиної кислої солі диметиламіну є однією з основних стадій виробництва диметилформаміду, без якого неможливий процес отримання готової продукції.

Синтез мурашиної кислої солі диметиламіну проводять в апаратах-реакторах поз. 6, 7, із нержавіючої сталі ємністю 5000 л кожен, обладнаних сорочками для підведення охолоджуючої води, барботажними трубами для дозування диметиламіну, азотними і вакуумними лініями.

У реактори поз. 6, 7 завантажують 800 л (2196 кг) мурашиної кислоти з мірника поз. 1. Завантаження мурашиної кислоти проводять за допомогою азоту з тиском не більше 0,7 кг/см<sup>2</sup>. (68,64 кПа).

При використанні у виробництві імпортової мурашиної кислоти, яка поступає на виробництво у поліетиленових бочках і каністрах, її подачу виконують вакуумом безпосередньо з бочок і каністр заземленим шлангом у мірник поз. 1.

Після завантаження мурашиної кислоти проводять дозування диметиламіну з мірника поз. 2.1 у кількості (2600-2800) л (1820-1960 кг). Дозування диметиламіну проводять 19-116 годин.

Температура у реакторах не повинна перевищувати 80 °С.

Для попередження підвищення температури у реакторах синтезу поз. 6, 7 вище, ніж 80 °С передбачена система автоматичного відключення дозування диметиламіну у реактори.

Надлишковий диметиламін, який не прореагував, особливо у кінці синтезу, через здувку направляють у пастку поз. 8, де він уловлюється мурашиною кислотою.

При зливанні на синтез насиченої диметиламіном кислоти з пастки поз. 8, а також поз. 10, 9 і до апаратів синтезу поз. 6, 7 подачу свіжої кислоти до реакторів зменшують на ту кількість кислоти, яка була завантажена з пасток.

Зменшується також подача диметиламіну, оскільки частково диметиламін поглинається у пастках кислотою.

Дозування диметиламіну проводять через сільфонну трубу, що має знизу барботажні отвори під шар мурашиної кислоти до досягнення у реакторах нейтрального або слабколужного середовища (надлишок диметиламіну не повинен перевищувати 1 %). Загальна кількість отриманої солі складає 4400-4600 літрів.

Мурашина кисла сіль диметиламіну вивантажується за допомогою азоту з тиском не більше, ніж 0,7 кг/см<sup>2</sup> у проміжну ємність поз. 5 або 5а.

Мурашину кислоту з мірника поз. 1 подають за допомогою азоту з тиском 0,7 кг/см<sup>2</sup> (68,64 кПа) у кількості: у пастку поз. 8 – 1200 л, поз. 10 – 1000 л, поз. 9 – 1000 л, додатково у пастках при подачі мурашиної кислоти створюють вакуум. Пастка поз.10 призначена для уловлювання пари диметиламіну по лінії здувки зі складу диметиламіну. Пастка повинна бути постійно в робочому стані, оскільки вентиль на лінії здувки зі складу повинен бути відкритим. При насиченні пастки парами диметиламіну відносно надлишкової кількості мурашиної кислоти не менше 3 % її випорожнюють у один із реакторів і заповнюють свіжою мурашиною кислотою.

Для повного уловлювання парів диметиламіну на лінії скидання з пасток у атмосферу установлений холодильник поз. 4 для конденсації пари і пастка поз. 12, є вертикальним циліндричним апаратом, заповненим на 50 % об'єму водою. Пари диметиламіну після пастки

поз. 8 проходять через холодильник поз. 4, який охолоджується розсолем, конденсуються і самопливом зливаються у пастку поз. 8, а не скомпенсовані пари поступають із верхньої частини холодильника поз. 4 у пастку поз. 12 під шар води, де і поглинаються. Вода через нижній спуск із пастки 12 періодично, 1 раз за зміну, зливається у каналізацію. Після зливання пастка поз. 12 заповнюється свіжою водою.

Надлишковий диметиламін, що не вступив у реакцію на стадії синтезу і розкладання, направляється у пастку поз. 3. При цьому пастку завантажують свіжою кислотою у кількості 1899 л -вітчизняного виробництва і не більше 2100 – імпортною. Відкривають здування у пастку поз. 3 і починають насичення реакційної маси газоподібним диметиламіном, що не компенсувався і не вступив у реакцію на стадії розкладання або синтезу.

При досягненні у реакційній масі вмісту диметиламіну не більше, ніж 1 % здування перемикають у пастку поз. 8, завантажену свіжою кислотою.

Отриману у реакторах поз. 6, 7 і пастці поз. 3 сіль за допомогою азоту передавлюють в ємності 5 або 5а. Тиск азоту не більше, ніж 0,7 кг/см<sup>2</sup> (68,64 кПа). Надлишок ДМА з ємностей уловлюється у пастках поз. 3, 8, 9, які заповнюються мурашиною кислотою.

Надлишковий тиск після запобіжних клапанів поз. 2.1, 2.2 уловлюється пасткою поз. 9, яка заповнюється мурашиною кислотою у кількості 1000 л. У процесі насичення, тобто, при надлишку мурашиної кислоти у пастках не менше, ніж 3 % її вміст подається у будь-який реактор синтезу, а пастку завантажують свіжою кислотою.

Вміст пастки поз. 9 за допомогою вакууму, що створюється у реакторі, подається в будь-який реактор поз. 6, 7, а завантаження здійснюють азотом з мірника поз. 1.

При досягненні у пастках 80 % від об'єму виконується аналіз вмісту мурашиної кислоти і при надлишку не менше, ніж 3 % проводиться перезавантаження. Допускається перезавантаження пасток при рівні менше, ніж 80 % без аналізу.

Проби з пасток і реакторів зливаються у збірник проб поз. 1а, а потім за допомогою вакууму подаються у будь-який реактор.

Виробництво основного продукту проходить з використанням пожежовибухонебезпечних речовин і все виробництво є пожежовибухонебезпечним.

Приміщення і будівлі за вибухопожежною та пожежною безпекою відносяться до категорії А, класів П-I за пожежною безпекою і В-Ia за вибухонебезпечною класифікацією.

У пожежонебезпечних зонах застосовуються електроустановки у відповідному виконанні. Так, в зонах класів П-I, П-II і П-III застосовуються електричні машини закритого виконання; у зонах класу П-IIa допускається установка машин захищеного виконання. У всіх зонах рекомендується використовувати апаратуру управління у пилозахищеному виконанні.

У вибухонебезпечних зонах застосовуються електроустановки відповідного виконання. Електричні машини підбирають за рівнем вибухозахисту, залежно від класу вибухонебезпечної зони: у зонах класу В-І встановлюють вибухобезпечні машини; В-Іа і В-Іг – підвищеної надійності проти вибуху.

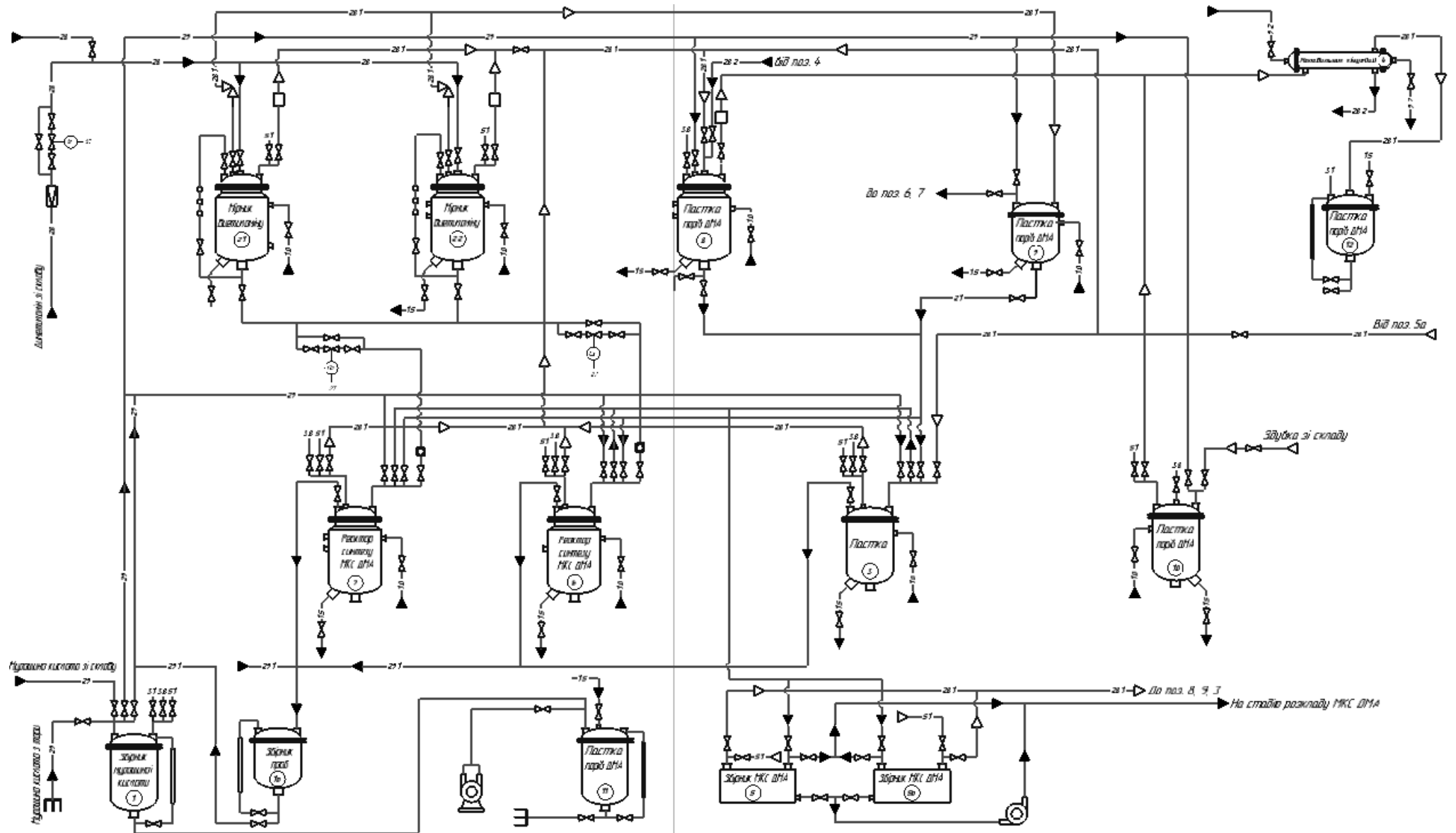


Рис. 1.1. технологічна схема виробництва мурашиної кислоти солі диметиламіну: 1 - збірник мурашиної кислоти; 2.1, 1а – збірник проб; 2.2 – мірник диетиламіну; 3 - пастка; 4 – холодильник кінцевий; 5, 5а – збірник МКС ДМА; 6, 7 – реактор синтезу МКС ДМА; 8, 9, 10, 11, 12 – пастка парів ДМА; 13, 14 – насос вакуумний; 15 - насос.

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

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

Спочатку у мірник (1) подається мурашина кислота об'ємом  $V_{m1}$ . Потім із цього мірника кислота подається під тиском  $p_2$  у реактор (6) об'ємом  $V_{m2}$  і у реактор (7) об'ємом  $V_{m4}$ , приблизно таким, як і  $V_{m2}$ . Також з мірника (1) мурашиною кислотою заповнюється пастка (8) парів ДМА. Об'єм заповнення  $V_{m3}$ .

Мірники диметиламіну заповнюються паралельно однаковою кількістю рідини  $V_{d1}$ . Потім основною лінією виробництва диметиламін в об'ємі  $V_{d2}$  під тиском  $p_1$  подається у реактори (6) і (7). Ця речовина має властивість випаровуватися. Всі пари з мірників диметиламіну і реакторів поступають у пастку парів ДМА. Пастка також служить холодильником для розігрітих парів. У ній пари з'єднуються з кислотою ( $V_{m3}$ ) і охолоджуються під дією на них охолодженої води у змійовику пастки. Не сконденсовані пари ДМА здуваються об'ємом  $V_{p2}$  подальшу пастку, де вони змішуються з водою ( $V_{v1}$ ). Вода у трубопроводі повинна бути під тиском  $p_3$ . У кінці кожної робочої зміни вода з пастки ( $V_{v2}$ ) зливається у каналізацію і замість неї набирається свіжа.

Сконденсовані пари ДМА разом з кислотою поступають у пастки і у реактори. Оскільки внаслідок хімічної реакції димеламіну з мурашиною кислотою виділяється тепло, то кожен реактор охолоджується.

Готова продукція об'ємом  $V_1$  поступає у збірник мурашиної кислоти солі диметиламіну (МКС ДМА). Пари готової продукції поступають у пастку парів ДМА і готова продукція об'ємом  $V_2$  готова для відвантаження на склад.

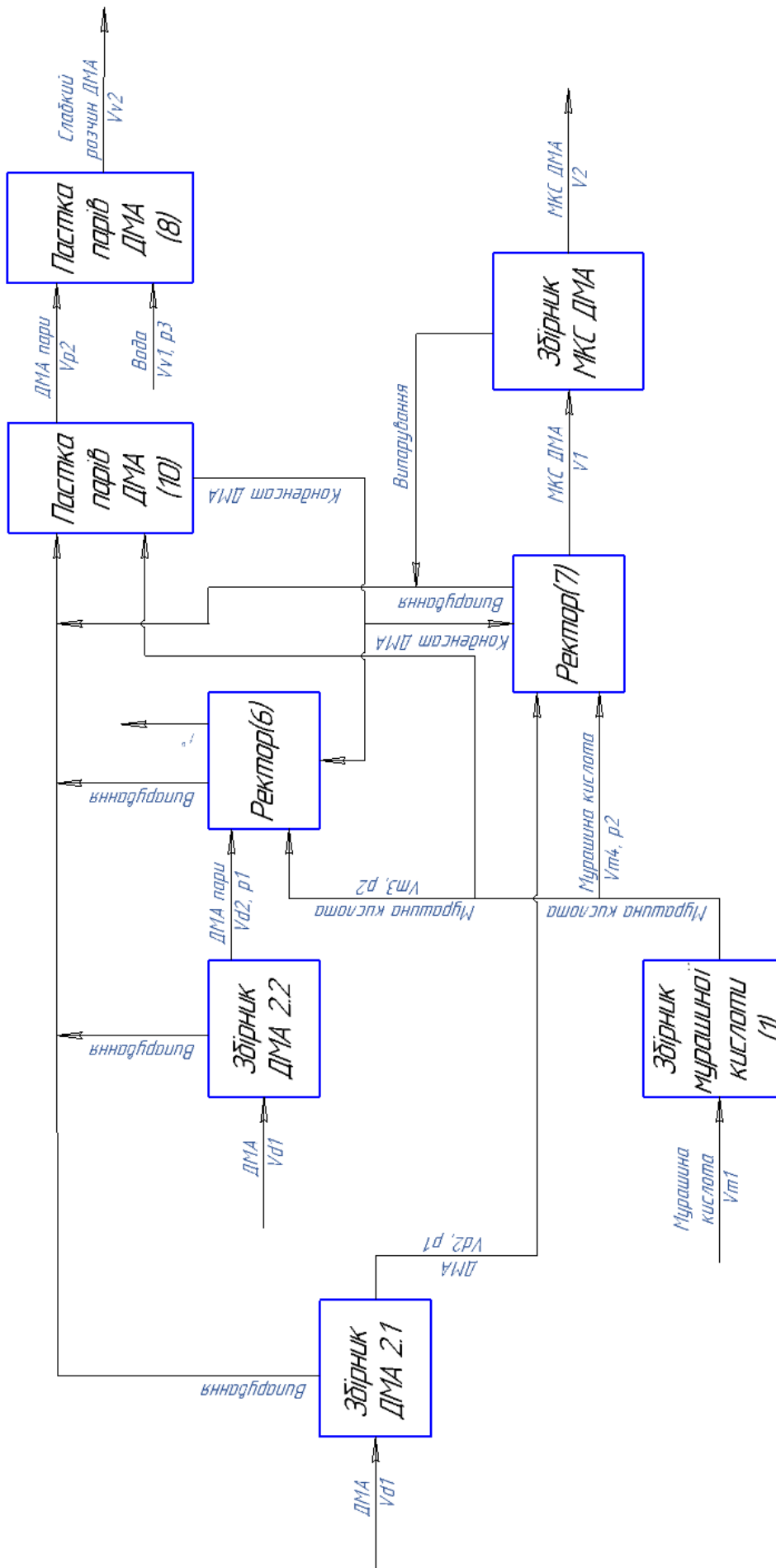


Рисунок 2.1- Схема матеріально-інформаційних потоків виробництва мурашиної кислоти солі диметиламіну.

### 3 ВИБІР ПАРАМЕТРІВ КОНТРОЛЮ, РЕГУЛЮВАННЯ ТА СИГНАЛІЗАЦІЇ

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

Як об'єкт управління розглядається технологічний процес виробництва мурашиної кислоти солі диметиламіну.

Показниками ефективності цього технологічного процесу є отримання готової продукції з мінімальною кількістю домішок і мінімальною затратою енергії, що досягається підтриманням необхідних режимів проведення хімічних реакцій.

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

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

Для оптимального проведення хімічних реакцій необхідно підтримувати температуру 77...80 °С реакційної маси у реакторі (6) і (7), контролювати температуру 77...80 °С парів ДМА у пастці (8), контролювати температуру 77...80 °С парів ДМА у пастці (10), контролювати тиск 0,5...0,7 кг/см<sup>2</sup> у трубопроводі після мірника мурашиної кислоти, контролювати розрідження -0,5 кг/см<sup>2</sup> у трубопроводі перед мірником ДМА, тиск 2...2,5 кг/см<sup>2</sup>, охолодженої води у трубопроводі, контролювати рівень 1,8...2,0 м мурашиної кислоти у мірнику мурашиної кислоти, підтримувати рівень 2,6...2,8 м ДМА у мірнику ДМА (2.1), підтримувати рівень 2,6...2,8 м ДМА у мірнику ДМА (2.2), контролювати рівень 1,1...1,2 м у пастці (8) парів ДМА, контролювати рівень 0,9...1,0 м у пастці (10) парів ДМА, контролювати рівень 2,5...2,8 м реакційної маси у реакторі (6), контролювати рівень 2,5...2,8 м реакційної маси у реакторі (7), контролювати рівень 4,4...4,6 м готового продукту у збірнику МКС ДМА (5а).

Процес виробництва МКС ДМА відноситься до вибухопожежонебезпечних, тому необхідно контролювати значення граничних значень параметрів і блокувати (зупиняти) технологічний процес, включати аварійну сигналізацію і проводити запуск системи технологічного пожежогасіння.

Аварійна сигналізація оповіщає про неприпустимі значення параметрів процесу або про аварійні відхилення будь-якого апарату технологічної системи.

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



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

навіть при мінімальній концентрації вражає дихальну і нервову систему людини і може призвести до смерті. Для запобігання цьому необхідно контролювати і сигналізувати граничне значення концентрації.

Середовище вважається вибухонебезпечним, якщо концентрація найбільш вибухонебезпечного газу перевищує 50% його НКМП (нижньої концентраційної межі поширення полум'я): для ДМА – 14,4 % об.

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

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

№ п.п.	Точка технологічної схеми	Параметр	Функція	Величина
1	Реактор (6)	Температура реакційної маси	Контроль, управління	77...80 °С
2	Реактор (7)	Температура реакційної маси	Контроль, управління	77...80 °С
3	Пастка (8) парів ДМА	Температура	Контроль, управління	77...80 °С
4	Пастка (10) парів ДМА	Температура	Контроль, управління	77...80 °С
5	Трубопровід після збірника мурашиної кислоти	Тиск	Контроль, Управління	0,5...0,7 кг/см <sup>2</sup>
6	Трубопровід перед мірником ДМА	Розрідження	Контроль, сигналізація	-0,5 кг/см <sup>2</sup>
7	Трубопровід подачі охолодженої води	Тиск охолодженої води	Контроль, сигналізація	2...2,5 кг/см <sup>2</sup>
8	Трубопровід повітря для КВП	Тиск	Контроль, сигналізація	2...2,5 кг/см <sup>2</sup>
9	Трубопровід вакууму технічного	Розрідження	Контроль, сигналізація	-0,5 кг/см <sup>2</sup>
10	Збірник мурашиної кислоти	Рівень мурашиної кислоти	Контроль, управління	1,8...2,0 м
11	Мірник ДМА (2.1)	Рівень ДМА	Контроль, Управління, сигналізація	2,6...2,8 м
12	Мірник ДМА (2.2)	Рівень ДМА	Контроль, сигналізація, управління	2,6...2,8 м
13	Пастка (8) парів ДМА	Рівень	Контроль	1,1...1,2 м

Продовження таблиці 3.1

14	Пастка (8) парів ДМА	Рівень	Контроль	0,9...1,0 м
15	Пастка (10) парів ДМА	Рівень реакційної маси	Контроль, сигналізація, управління	2,5...2,8 м
16	Реактор (6)	Рівень реакційної маси	Контроль, сигналізація, управління	2,5...2,8 м
17	Реактор (7)	Рівень готового продукту	Контроль, сигналізація	4,4...4,6 м
18	Збірник МКС ДМА (5а)	Концентрація парів ДМА у повітрі	Контроль, Управління, сигналізація	14,4 % об.

Структурна схема автоматизації представлена на рисунку 3.1.

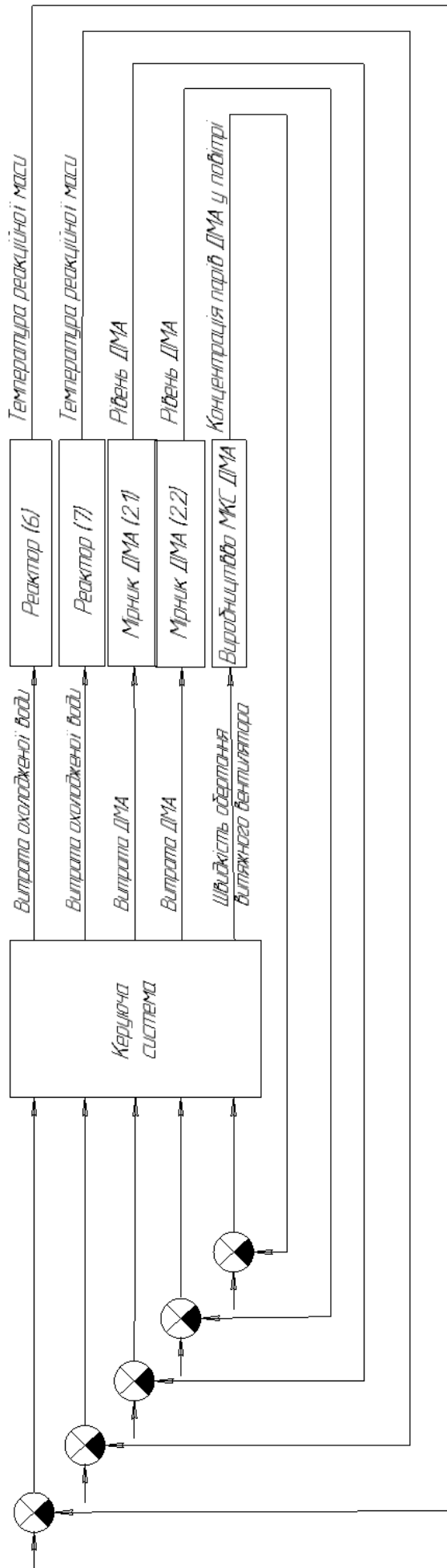


Рисунок 3.1-Структурна схема автоматизації.

## 4 ВИБІР КАНАЛІВ ВНЕСЕННЯ РЕГУЛЮЮЧИХ ДІЙ

4.1 Температуру реакційної маси у реакторі (6) будемо регулювати за допомогою зміни витрати води шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі води в сорочку реактора для охолодження реакційної маси.

Канал контролю і управління температурою реакційної маси у реакторі (6) представлений на рис. 4.1.

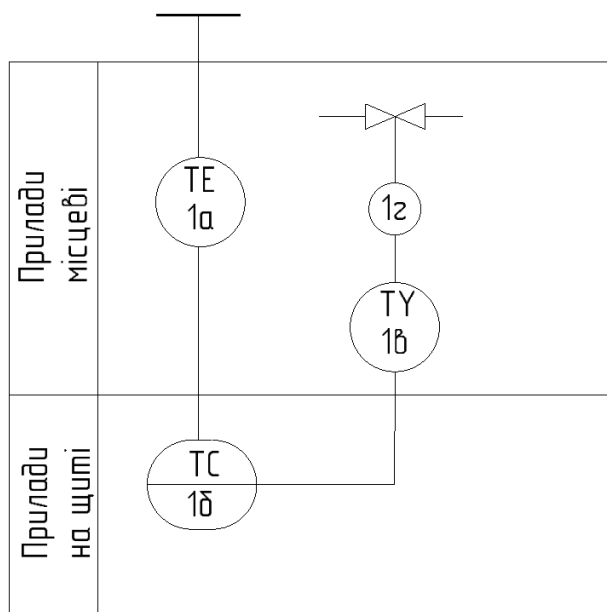


Рисунок 4.1 – Контур контролю і управління температурою реакційної маси у реакторі (6).

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

4.2 Температуру реакційної маси у реакторі (7) будемо регулювати за допомогою зміни витрати води шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі води в сорочку реактора для охолодження реакційної маси.

Канал контролю і управління температурою реакційної маси у реакторі (7) представлений на рис. 4.2.

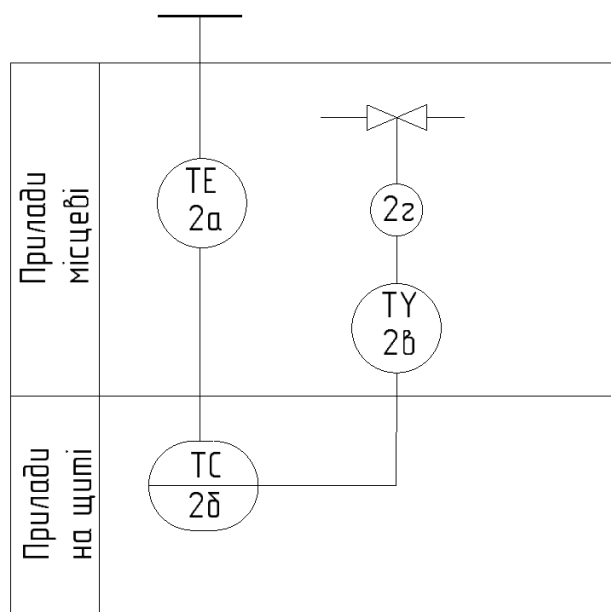


Рисунок 4.2 – Контур контролю і управління температурою реакційної маси у реакторі (7).

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

4.3 Температуру парів ДМА у пастці (8) будемо регулювати за допомогою зміни витрати води шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі води в сорочку пастки (8) для охолодження парів ДМА.

Канал контролю і управління температурою парів ДМА у пастці (8) представлений на рис. 4.3.

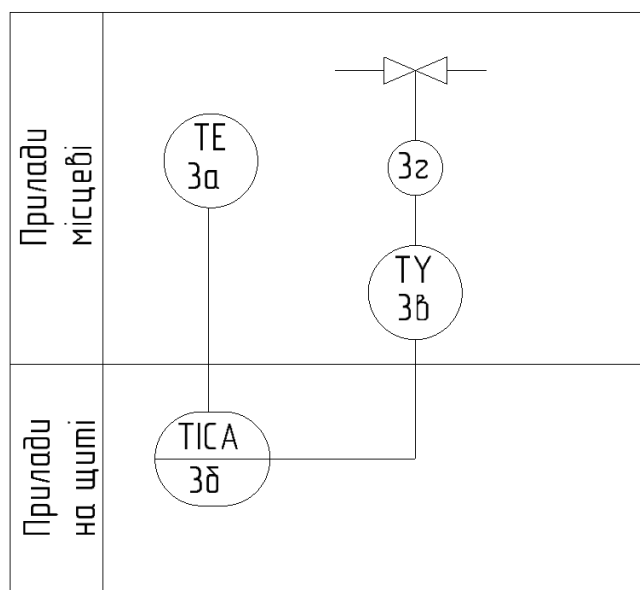


Рисунок 4.3 – Контур контролю і управління температурою парів ДМА у пастці (8)

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

4.4 Температуру парів ДМА у пастці (10) будемо регулювати за допомогою зміни витрати води шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі води в сорочку пастки (8) для охолодження парів ДМА.

Канал контролю і управління температурою парів ДМА у пастці (10) представлений на рис. 4.4.

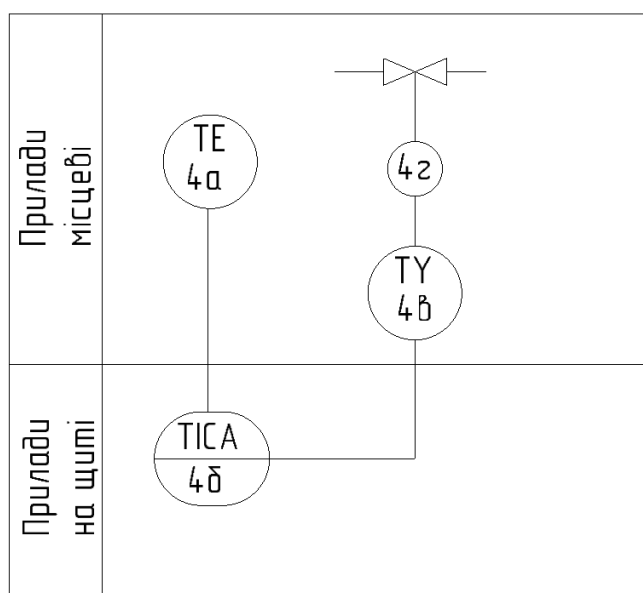


Рисунок 4.4 – Контур контролю і управління температурою парів ДМА у пастці (10)

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

4.5 Розрідження у трубопроводі після збірника мурашиної кислоти будемо регулювати шляхом зміни обертів двигуна привода вакуумного насоса 13-14.

Канал контролю і управління розрідженням у трубопроводі після збірника мурашиної кислоти представлений на рис. 4.5.

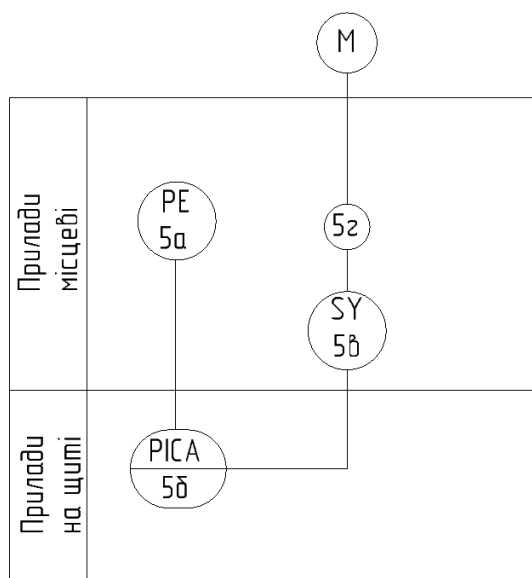


Рисунок 4.5 – Контур контролю і управління розрідженням у трубопроводі після мірника мурашиної кислоти.

До складу каналу управління розрідженням у трубопроводі після мірника мурашиної кислоти входить датчик тиску, перетворювач сигналу датчика, контролер - універсальний регулятор, перетворювач сигналу контролера, виконавчий механізм, виконавчий орган.

4.6 Тиск у трубопроводі перед мірником ДМА будемо контролювати за схемою, наведеною на рис. 4.6.

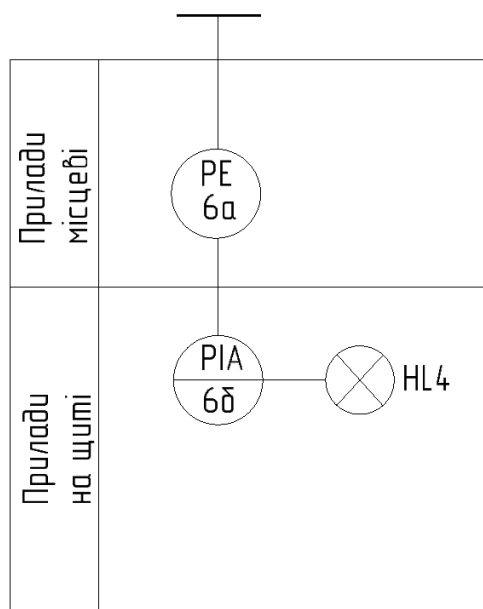


Рисунок 4.6 – Схема контролю тиску у трубопроводі перед мірником ДМА.

До складу схеми контролю тиску у трубопроводі перед мірником ДМА входить датчик тиску, пристрій сигналізації.

4.7 Тиск охолодженої води у трубопроводі подачі охолодженої води будемо контролювати за схемою, наведеною на рис. 4.7.

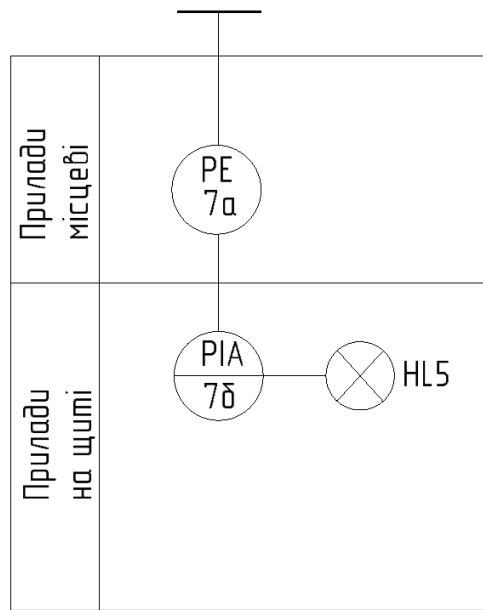


Рисунок 4.7 – Схема контролю тиску охолодженої води у трубопроводі подачі охолодженої води.

До складу схеми контролю тиску охолодженої води у трубопроводі подачі охолодженої води входить датчик тиску, пристрій сигналізації.

4.8 Тиск у трубопроводі повітря для КВП будемо контролювати за схемою, наведеною на рис. 4.8.

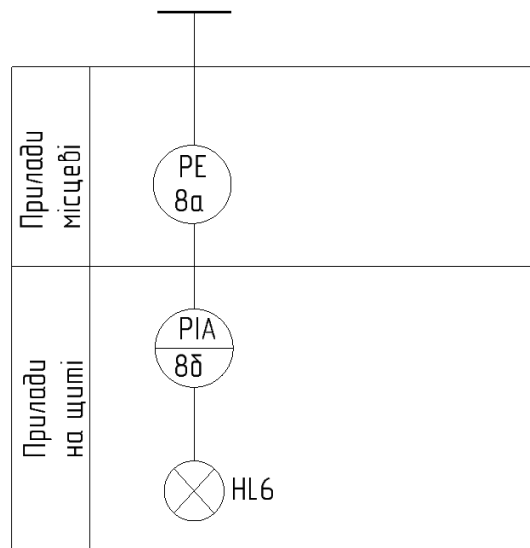


Рисунок 4.8 – Схема контролю тиску у трубопроводі повітря для КВП.

До складу схеми контролю тиску у трубопроводі повітря для КВП входить датчик тиску, пристрій сигналізації.



4.9 Розрідження у трубопроводі технічного вакууму будемо контролювати за схемою, наведеною на рис. 4.9.

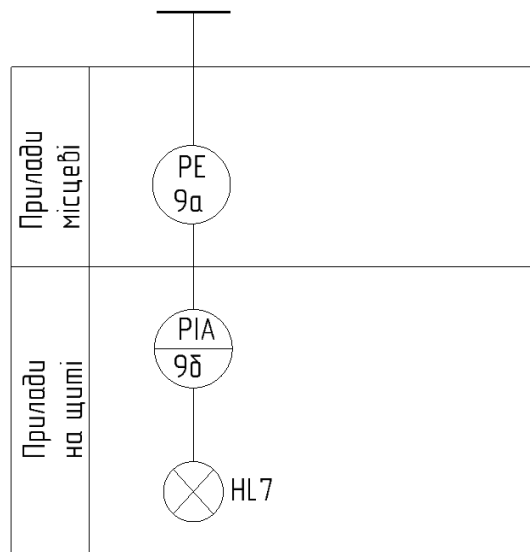


Рисунок 4.9 – Схема контролю розрідження у трубопроводі технічного вакууму.

До складу схеми контролю розрідження у трубопроводі технічного вакууму входить датчик тиску, пристрій сигналізації.

4.10 Рівень мурашиної кислоти у збірнику мурашиної кислоти будемо регулювати за допомогою зміни витрати мурашиної кислоти шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі мурашиної кислоти на вхід збірника мурашиної кислоти..

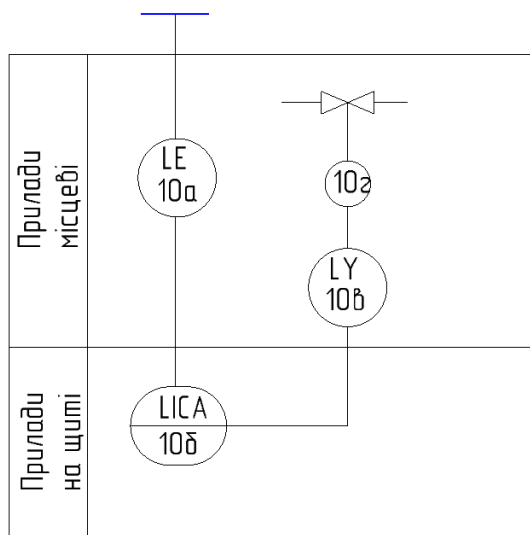


Рисунок 4.10 – Контур контролю і управління рівнем мурашиної кислоти у збірнику мурашиної кислоти.

До складу каналу управління рівнем мурашиної кислоти у збірнику мурашиної кислоти входить датчик рівня, перетворювач сигналу датчика, контролер - універсальний регулятор, перетворювач сигналу контролера, виконавчий механізм, виконавчий орган.

4.11 Рівень у мірнику ДМА (2.1) будемо регулювати за допомогою зміни витрати ДМА шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі ДМА на вхід мірника ДМА (2.1).

Канал контролю і управління рівнем ДМА у мірнику ДМА (2.1) представлений на рис. 4.11.

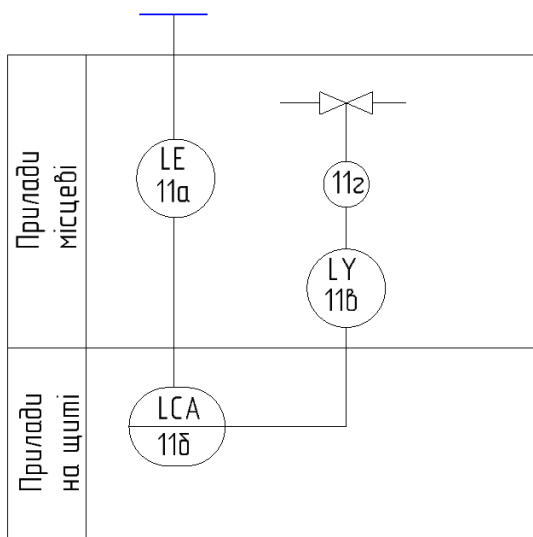


Рисунок 4.11 – Контур контролю і управління рівнем ДМА у мірнику ДМА (2.1).

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

4.12 Рівень у мірнику ДМА (2.2) будемо регулювати за допомогою зміни витрати ДМА шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі ДМА на вхід мірника ДМА (2.2).

Канал контролю і управління рівнем ДМА у мірнику ДМА (2.2) представлений на рис. 4.12.

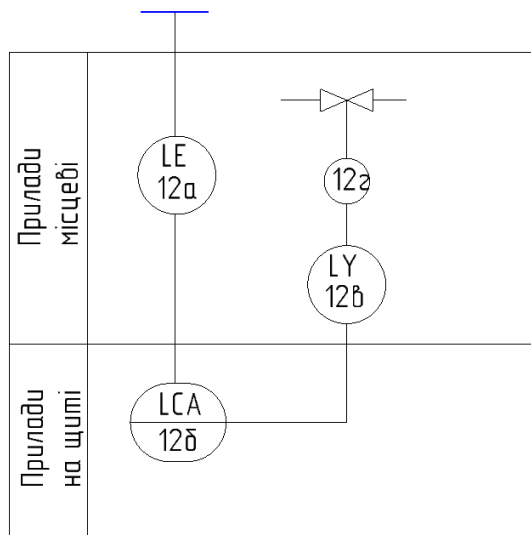


Рисунок 4.12 – Контур контролю і управління рівнем ДМА у мірнику ДМА (2.2).

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

4.13 Рівень парів ДМА у пастці (8) будемо контролювати за схемою, наведеною на рис. 4.13.

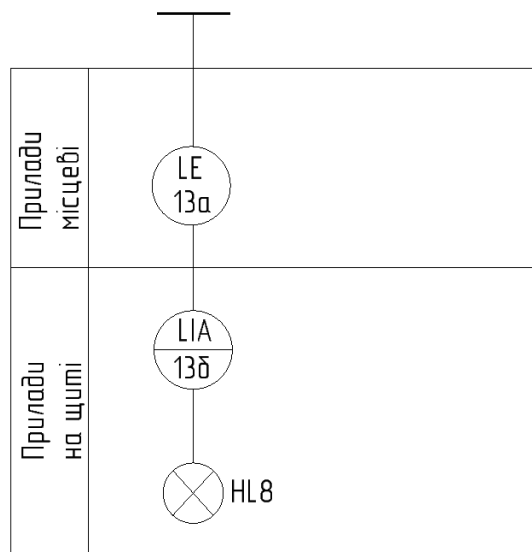


Рисунок 4.13 – Схема контролю рівня парів ДМА у пастці (8).

До складу схеми контролю рівня парів ДМА у пастці (8) входить датчик рівня, пристрій сигналізації.

4.14 Рівень парів ДМА у пастці (10) будемо контролювати за схемою, наведеною на рис. 4.14.

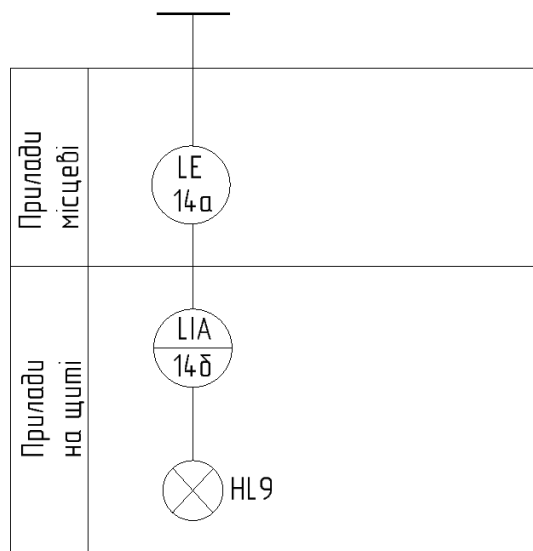


Рисунок 4.14 – Схема контролю рівня парів ДМА у пастці (10).

До складу схеми контролю рівня парів ДМА у пастці (10) входить датчик рівня, пристрій сигналізації.

4.15 Рівень реакційної маси у реакторі (6) будемо регулювати за допомогою зміни витрати мурашиної кислоти шляхом відкриття/закриття регулюючого клапана на трубопроводі подачі мурашиної кислоти на вхід реактора (6).

Канал контролю і управління рівнем реакційної маси представлений на рис. 4.15.

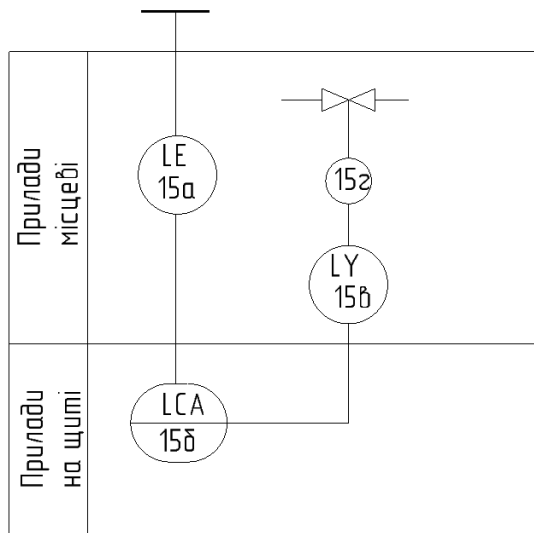


Рисунок 4.15 – Контур контролю і управління рівнем реакційної маси у реакторі (6).

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

4.16 Рівень реакційної маси у реакторі (7) будемо регулювати за допомогою зміни витрати мурашиної кислоти шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі мурашиної кислоти на вхід реактора (6).

Канал контролю і управління рівнем реакційної маси представлений на рис. 4.16.

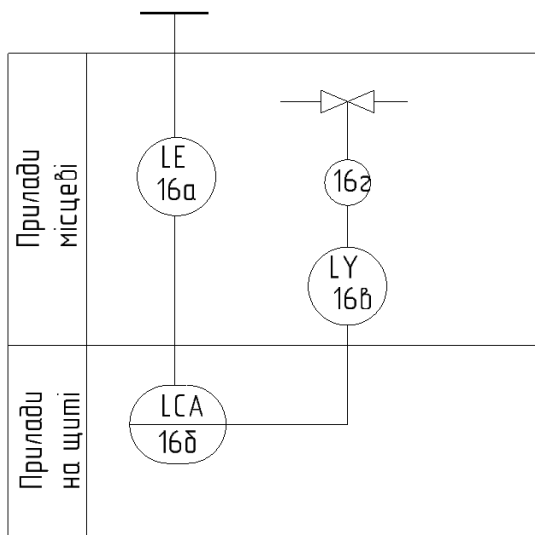


Рисунок 4.16 – Контур контролю і управління рівнем реакційної маси у реакторі (7).

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

4.17 Рівень готового продукту у збірнику МКС ДМА (5а) будемо контролювати за схемою, наведеною на рис. 4.17.

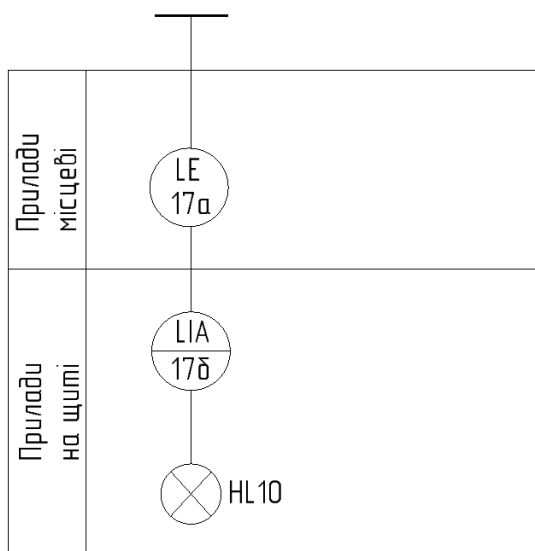


Рисунок 4.17 – Схема контролю рівня готового продукту у збірнику МКС ДМА (5а).

До складу схеми контролю рівня готового продукту у збірнику МКС ДМА (5а) входить датчик рівня, пристрій сигналізації.

4.18 Концентрацію парів ДМА у повітрі виробництва мурашиної кислоти солі диметиламіну будемо регулювати за допомогою зміни обсягу повітря витяжної вентиляції шляхом збільшення обертів привідного двигуна витяжного вентилятора. Канал контролю і управління концентрацією метану у повітрі виробництва мурашиної кислоти солі диметиламіну представлений на рис. 4.18.

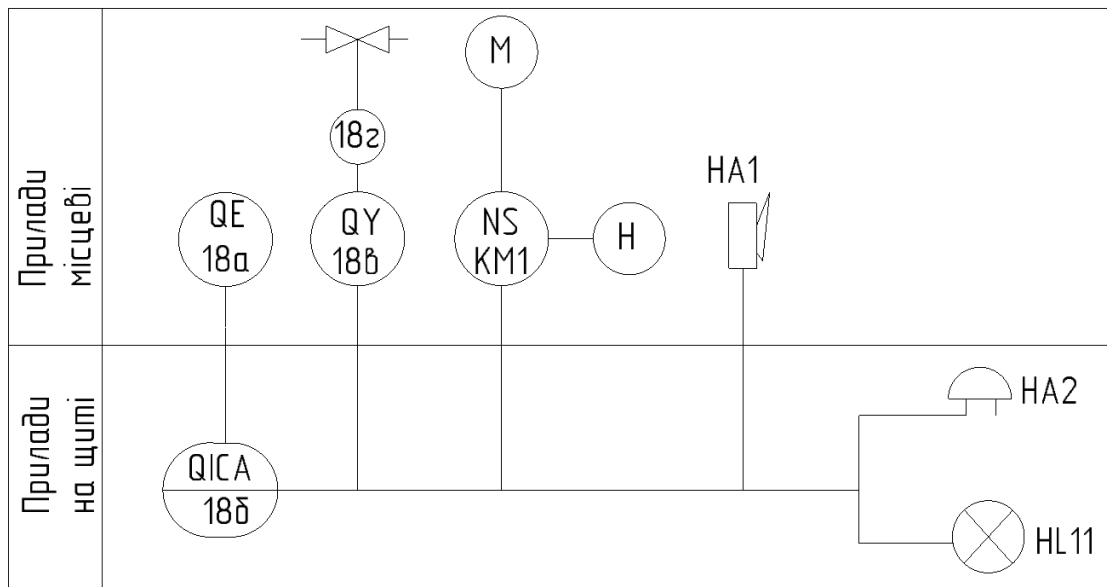


Рисунок 4.18 – Контур контролю і управління концентрацією парів ДМА у повітрі виробництва мурашиної кислоти солі диметиламіну.

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

## 5 ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Виходячи з того, що приміщення і будівлі виробництва мурашиної кислоти солі диметиламіну за вибухопожежною та пожежною безпекою відносяться до категорії А, класів П-І за пожежною безпекою і В-Іа за вибухонебезпечною класифікацією, усі технічні засоби автоматизації, способи і методи контролю, регулювання і сигналізації всіх параметрів технологічного процесу будемо проводити з огляду на дані обставини.

### 5.1 Вибір датчиків

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

#### 5.1.1 Вибір датчиків температури

##### 5.1.1.1 Датчик температури у каналі контролю і управління температурою реакційної маси у реакторі (6)

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 100 °С;
- тиск 0... 0,101325 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо термоперетворювач опору вибухозахищений з вихідним струмовим сигналом ТСМУ 014 014 [12]. Вони призначені для вимірювання температури рідких і газоподібних хімічно неагресивних середовищ, а також агресивних середовищ, які не руйнують захисну арматуру ТО, в тому числі у вибухонебезпечних зонах, і видачі інформації про температуру в вигляді вихідного струмового сигналу 4 ... 20 мА.

Зовнішній вигляд термоперетворювач опору вибухозахищений з вихідним струмовим сигналом ТСМУ 014 014 наведений на рис.5.1.



Рисунок 5.1 - Зовнішній вигляд термоперетворювача опору з вихідним струмовим сигналом ТСМУ 014.

ТО мають:

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

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

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

Технічні характеристики.

Діапазон вимірюваних температур, °С:

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

Верхня межа діапазону вимірюваних температур, °С +180.

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

Залежність вихідного струмового сигналу від вимірюваної температури лінійна.

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

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

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

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

- 10 мм 15;

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

- 8 мм 5 мм; 6 мм 6.

Схема підключення ТО до лінії споживача 2-одротова.

Напруга живлення, В від 9 до 34.

Споживана потужність, Вт, не більше 0,8.

Опір навантаження, кОм, не більше (Uфакт.-9)/20.

Кількість каналів вимірювання 1.

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

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



Тип штуцера:

- рухливі штуцери M20x1,5; M27x2;
- нерухомі штуцери M20x1,5; M27x2; K1/2"; K3/4"; R1/2; R3/4; G1/2;
- нерухомі посилені штуцери M20x1,5; M27x2; K1/2"; K3/4"; R1/2; R3/4; G1/2;
- пересувні штуцери M20x1,5; M27x2 (НЕ входять в комплект поставки).

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

#### **5.1.1.2 Датчик температури у каналі контролю і управління температурою реакційної маси у реакторі (7)**

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 100 °С;
- тиск 0... 0,101325 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-I і В-Ia.

У каналі застосуємо такий самий термоперетворювач опору вибухозахищений з вихідним струмовим сигналом ТСМУ 014, оскільки вимоги робочого середовища повністю збігаються.

#### **5.1.1.3 Датчик температури у каналі контролю і управління температурою у пастці (8) парів ДМА**

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 100 °С;
- тиск 0... 0,101325 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-I і В-Ia.

У каналі застосуємо такий самий термоперетворювач опору вибухозахищений з вихідним струмовим сигналом ТСМУ 014, оскільки вимоги робочого середовища повністю збігаються.

#### **5.1.1.4 Датчик температури у каналі контролю і управління температурою у пастці (10) парів ДМА**

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 100 °С;
- тиск 0... 0,101325 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-I і В-Ia.

У каналі застосуємо такий самий термоперетворювач опору вибухозахищений з вихідним струмовим сигналом ТСМУ 014, оскільки вимоги робочого середовища повністю збігаються.

## 5.1.2 Вибір датчиків тиску

### 5.1.2.1 Датчик тиску у каналі контролю і сигналізації тиску мурашиної кислоти після збірника мурашиної кислоти

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до +50 °С;
- тиск 0,05...0,07 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-I і В-Ia.

Датчики тиску газу/рідини BD SENSORS DMP 331 (ДМП 331)[13] - загальнопромислові універсальні датчики на широкий діапазон тиску. спец. виконання із низьким енергоспоживанням датчиків, датчик для тисків від 0 ... 0,04 до 0 ... 40 бар, абсолютний, надмірний, розрідження з цифровим перетворювачем dSP01[14]. Зовнішній вигляд датчика наведений на рис. 5.2.



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

Недорогий датчик тиску для різних галузей промисловості, пропорційно перетворює тиск робочого середовища в електричний сигнал.

Датчик розрахований на вимірювання абсолютного або надлишкового тиску, розрідження - як статичного, так і динамічного. Діапазони тиску від 0,04 до 150 бар. Можливі спеціальні виконання. Корпус датчика виготовлений з нержавіючої сталі 1.4571 і 1.4435. Стандартне ущільнення - витон (FKM), існують інші варіанти ущільнення.

Основна похибка 0,5/0,35/0,25/0,2/0,1 % ДВ.

Вихідний сигнал 0/4...20мА; 0 ... 10В; 0 ... 5В; 0,5 ... 4,5В; 0,8 ... 3,2В та ін.

Приєднання M20x1, 5; G1/2; G1/4; 1/2NPT; 1/4NPT; та ін.

Сенсор кремнієвий п'єзорезистивний.

Переваги та особливості датчика тиску DMP331:

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

Технічні особливості:

- Настроювання діапазону на вимогу замовника;
- Наприклад: від -250 мбар до +150 мбар (від -25 кПа до +15 кПа);
- Похибка менше 0,75% ВПІ в температурному діапазоні 0 ... 70 °С;
- Корозійно-стійкий металевий корпус для польових умов;
- Спеціальна конструкція з відкритою мембраною;
- Іскробезпечне виконання: 0ExiaIICT4;
- Діапазони тиску: від 0 ... 0,04 до 0 ... 40 бар, абсолютне, надмірне, розрідження;
- Основна похибка: 0,5 / 0,35 / 0,25 / 0,2 / 0,1% ДІ;
- Вихідний сигнал: 0/4 ... 20 мА, 0 ... 10 В, 0 ... 5 В і ін. (Опція: Ех-виконання);
- Сенсор: кремнієвий п'єзорезистивний;
- Діапазон температур вимірюваного середовища: -25 ... + 125 °С;
- Клас захисту: IP 65-68;
- Механічне приєднання: M10x1, M12x1, M20x1.5, G<sup>1</sup>/<sub>4</sub> », G<sup>1</sup>/<sub>2</sub>», <sup>1</sup>/<sub>4</sub> »NPT, <sup>1</sup>/<sub>2</sub>» NPT;
- Електричне приєднання: DIN 43650, Binder 723 (5 конт.), M12x1 (4 конт.), Кабельне введення PG7, Виссапеег.

Завдяки різноманітності діапазону вимірювання датчик DMP 331 застосуємо для вимірювання тиску у каналах системи управління.

### **5.1.2.2 Датчик тиску у каналі контролю і сигналізації тиску (розрідження) у трубопроводі перед мірником ДМА**

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до +50 °С;
- тиск 0...-0,05 кг/см<sup>2</sup>;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

Оскільки умови вимірювання співставні з попереднім каналом, у каналі застосуємо датчик тиску газу/рідини BD SENSORS DMP 331 (ДМП 331), який є основою для багатьох промислових застосувань завдяки універсальній конструкції та різним варіантам виконання, який повністю задовольняє вимоги до застосування.

### **5.1.2.3 Датчик тиску у каналі контролю і сигналізації тиску охолодженої води у трубопроводі подачі охолодженої води**

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до +20 °С;
- тиск 0,2...0,25 МПа;
- пожежо-вибухонебезпечне середовище;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-I і В-Ia.

Оскільки умови вимірювання співставні з попереднім каналом, у каналі застосуємо датчик тиску газу/рідини BD SENSORS DMP 331 (ДМП 331), який є основою для багатьох промислових застосувань завдяки універсальній конструкції та різним варіантам виконання, який повністю задовольняє вимоги до застосування.

### **5.1.2.4 Датчик тиску у каналі контролю і сигналізації тиску у трубопроводі повітря для КВП**

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до +40 °С;
- тиск 0,2...0,25 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-I і В-Ia.

Оскільки умови вимірювання співставні з попереднім каналом, у каналі застосуємо датчик тиску газу/рідини BD SENSORS DMP 331 (ДМП 331), який є основою для багатьох промислових застосувань завдяки універсальній конструкції та різним варіантам виконання, який повністю задовольняє вимоги до застосування.

### **5.1.2.5 Датчик тиску у каналі контролю і сигналізації тиску (розрідження) у трубопроводі вакууму технічного**

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до +50 °С;
- тиск 0...0,05 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-I і В-Ia.

Оскільки умови вимірювання співставні з попереднім каналом, у каналі застосуємо датчик тиску газу/рідини BD SENSORS DMP 331 (ДМП 331), який є основою для багатьох промислових застосувань завдяки універсальній конструкції та різним варіантам виконання, який повністю задовольняє вимоги до застосування.

### 5.1.3 Вибір датчиків рівня

#### 5.1.3.1 Датчик рівня у каналі контролю і управління рівнем мурашиної кислоти у збірнику мурашиної кислоти

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до +40 °С;
- рівень 1,8...2,0 м;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-I і В-Ia.

Рівнеміри Сапфір-22 ДУ, 22 ДУ-Вн, 22 ДУ-Ех[15,16] призначені для роботи в системах автоматичного контролю, регулювання та управління технологічними процесами, у тому числі, з вибухонебезпечними умовами виробництва та забезпечують безперервне перетворення значення вимірюваного параметра – рівня рідини або рівня межі розділу рідких фаз як нейтральних, так і агресивних середовищ – у стандартний струмовий вихідний сигнал дистанційної передачі.

Рівнеміри-перетворювачі призначені контролю середовищ, які містять компонентів, конденсат пари яких замерзає при температурі навколишнього повітря, можливої у процесі експлуатації.

Принцип роботи рівнеміра буйкового САПФІР 22 ДУ заснований на тому, що при підвищенні або зниженні рівня рідини в ємності на вимірювальний блок через буй датчика рівня САПФІР ДУ тисне гідростатичний тиск, що змінюється в залежності від зміни рівня рідини в резервуарі. Далі ця зміна передається через важіль на тензоперетворювач і після на електронний блок, в якому відбувається перетворення електричного опору тензорезисторів в уніфікований вихідний сигнал передачі даних. При цьому всередині приладу САПФІР 22 ДУ знаходиться демпфер з досить щільною, в'язкою рідиною для згладжування і м'якого реагування на зміни рівня ємності.

Зовнішній вигляд рівнеміра Сапфір-22 ДУ, 22 ДУ-Вн, 22 ДУ-Ех наведений на рис.5.3.



Рисунок 5.3 - Зовнішній вигляд рівнеміра Сапфір-22 ДУ, 22 ДУ-Вн, 22 ДУ-Ех.

Основні характеристики рівнемірів

- Діапазон вимірювання – до 10 м.
- Гранично допустимий робочий надлишковий тиск - 2,5; 4,0; 6,3; 16,0; 20,0 МПа.
- Похибка вимірів  $\pm 0,5\%$ ,  $\pm 1,0\%$ .

Прилади мають виконання:

- звичайне,
- Ех (іскробезпечне),
- Вн (вибухонепроникна оболонка).

Напруга живлення:

- 36 В постійного струму для виконання звичайного та Вн;
- 24 У постійного струму для виконання Ех (живлення повинно здійснюватися від іскробезпечних виходів блоків БПС-24, або БПС-90, або ПТС-4, або інших аналогічних блоків).

Вихідний сигнал:

- 0-5; 0-20; 4-20 мА постійного струму для виконання звичайного та Вн;
- 4-20 мА постійного струму для виконання Ех.

У каналі застосуємо рівнемір Сапфір-22 ДУ-Ех як такий, що повністю задовольняє вимоги середовища вимірювання.

### **5.1.3.2 Датчик рівня у каналі контролю і управління рівнем ДМА у Мірнику ДМА (2.1)**

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 40 °С;
- рівень 2,6...2,8 м;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо рівнемір Сапфір-22 ДУ-Ех як такий, що повністю задовольняє вимоги середовища вимірювання.

### **5.1.3.3 Датчик рівня у каналі контролю і управління рівнем ДМА у Мірнику ДМА (2.2)**

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 40 °С;
- рівень 2,6...2,8 м;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо рівнеміри Сапфір-22 ДУ-Ех як такий, що повністю задовольняє вимоги середовища вимірювання.

#### **5.1.3.4 Датчик рівня у каналі контролю рівня у пастці (8) парів ДМА**

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 100 °С;
- рівень 1,1...1,2 м;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо рівнемір Сапфір-22 ДУ-Ех як такий, що повністю задовольняє вимоги середовища вимірювання.

#### **5.1.3.5 Датчик рівня у каналі контролю рівня у пастці (10) парів ДМА**

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 100 °С;
- рівень 0,9...1,0 м;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо рівнемір Сапфір-22 ДУ-Ех як такий, що повністю задовольняє вимоги середовища вимірювання.

#### **5.1.3.6 Датчик рівня у каналі контролю і управління рівнем реакційної маси у реакторі (6)**

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 100 °С;
- рівень 2,5...2,8 м;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо рівнемір Сапфір-22 ДУ-Ех як такий, що повністю задовольняє вимоги середовища вимірювання.

#### **5.1.3.6 Датчик рівня у каналі контролю і управління рівнем реакційної маси у реакторі (7)**

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 100 °С;
- рівень 2,5...2,8 м;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо рівнемір Сапфір-22 ДУ-Ех як такий, що повністю задовольняє вимоги середовища вимірювання.

#### **5.1.3.7 Датчик рівня у каналі контролю і управління рівнем готового продукту у збірнику МКС ДМА (5а)**

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 50 °С;
- рівень 4,4...4,6 м;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо рівнемір Сапфір-22 ДУ-Ех як такий, що повністю задовольняє вимоги середовища вимірювання.

#### **5.1.4 Вибір датчиків концентрації**

##### **5.1.4.1 Датчик концентрації парів ДМА у каналі контролю вмісту парів ДМА у повітрі приміщень виробництва**

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- концентрація до 14,4 % об.;
- температура до 40 °С;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо універсальний газоаналізатор токсичних та горючих газів ГАНК-4[17]

Газоаналізатор ГАНК-4 призначений для автоматичного безперервного вимірювання та контролю об'ємної частки горючих газів у вибухонебезпечних зонах, концентрацій шкідливих речовин в атмосферному повітрі (А), у повітрі робочої зони (Р), у промислових викидах та технологічних процесах з метою охорони навколишнього середовища, забезпечення безпеки праці та оптимізації технологічних процесів.

Контролює на місці вимірювання без пробопідготовки 150 шкідливих речовин з вибору.

Держреєстр №24421–09, Свідоцтво UA.C.31.076.A №36646

Зовнішній вигляд газоаналізатора ГАНК-4 наведений на рис.5.4.





Рисунок 5.4 - Зовнішній вигляд газоаналізатора ГАНК-4.

Технічні характеристики газоаналізатора ГАНК-4 наведені в табл.5.1.

Таблиця 5.1\_Характеристики газоаналізатора ГАНК-4

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ	ЗНАЧЕННЯ
Діапазон вимірюваних концентрацій Ганк-4(А)	від 0,5 ПДК с.д. до 0,5 ГДК р.з.
Діапазон вимірюваних концентрацій Ганк-4(Р)	від 0,5 ПДК р.з. до 20 ГДК р.з.
Діапазон вимірюваних концентрацій Ганк-4(АР)	від 0,5 ПДК с.д. до 20 ГДК р.з.
Час вимірювань	10-30 с
Похибка вимірювань, не більше	±20%
Межа допустимої додаткової похибки	не більше 0,6 (від основної)
ГДК с.д. – середньодобова гранично допустима концентрація домішки в атмосфері, у мг/м <sup>3</sup> , (для речовин, на які виробляються сенсори). ГДК р.з. – гранично допустима концентрація шкідливої речовини у повітрі робочої зони, у мг/м <sup>3</sup> .	
габаритні розміри, мм	350 x 330 x 275
Маса, кг	не більше 8
Споживана потужність, Вт	не більше 20
Температура навколишнього середовища	від +5 °С до +50 °С
з термостатом ТП-1	від -50 °С до +5 °С
Тиск	від 86,0 до 106,7 кПа
Вологість	до 80% за температури + 35 °С
Час прогрівання газоаналізатора після включення	не більше 15 хв
Максимальний струм навантаження контактів підключення аварійного виходу «АВ»	не більше 5 А
Максимальна напруга, що комутується контактами «АВ»	не більше 250 В
Вихідний аналоговий струмовий сигнал	4-20 мА
Інтерфейс	RS-232
Живлення від мережі	220 В, 50 Гц
Кількість разових вимірів на одній хімкасеті	74 000
Середній термін служби	не менше 8 років

Різні компоненти вимірюються змінними хімкасетами або вбудованими датчиками. Кожна хімкасета містить електронну пам'ять, в яку записані визначувану речовину та

параметри вимірювань. Виробник залишає за собою право коригувати діапазони речовин, що вимірюються, і встановлювати на одному приладі обмеження за кількістю вимірюваних речовин.

Виконання:

- Переносний, стаціонарний.
- Можливе вибухозахищене виконання з маркуванням 2ExeіbІІВТ4 Х.
- Вимірює автоматично відразу після увімкнення.
- Результати вимірювань зберігаються у пам'яті приладу.
- Сумісний із комп'ютером через порт RS-485.

## **5.2 Вибір регулюючих органів**

### **5.2.1 Канал контролю і управління температурою реакційної маси у реакторі (6)**

Вимоги робочого середовища регулювання:

- температура до 20 °С;
- тиск 0,2...0,25 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

Для управління температурою реакційної маси у реакторі (6) шляхом зміни положення клапана на трубопроводі подачі охолоджуючої води в сорочку реактора застосуємо клапан регулюючий з пневмоприводом PV25I PN40 Valsteam ADCA[18], як такий, що повністю задовольняє вимоги.

PV25 - односідельний, двоходовий прямохідний регулюючий клапан. РА – лінійний пневматичний привід мембранного типу багатопружинний.

Привід має два виконання:

DA – прямої дії, нормально відкритий (тиск повітря закриває клапан) та RA – зворотної дії, нормально закритий (тиск повітря відкриває клапан). Клапан PV25 спеціально спроектований для точного регулювання будь-яких технологічних процесів. Широке коло застосування дозволяє використовувати для більшості технологічних середовищ, таких як холодна і перегріта вода, водяна пара, повітря та інші не агресивні рідини та гази.

Зовнішній вигляд клапана регулюючого з пневмоприводом PV25I PN40 Valsteam ADCA наведений на рис.5.5.



Рисунок 5.5 - Зовнішній вигляд клапана регулюючого з пневмоприводом PV25I PN40 Valsteam ADCA.

Основні технічні характеристики:

Умовний прохід DN: 1/2", 3/4", 1"

Умовний тиск PN: 40

Робоча температура – (-5...+220 °C).

Приєднання – різьбове.

Установка приводу не вимагає демонтажу клапана з трубопроводу.

М'яке ущільнення сідла встановлюється стандартно.

Опції:

Показчик положення 4...20 mA

Пневматичний позиціонер

Фільтр-регулятор

Ручний дублер

Виконання приводу із нерж. сталі.

М'яке або стелітове сідло.

Виконання:

PV25S – вуглець. сталь

PV25I – нерж. сталь

Пневмоприводи:

PA-205;

PA-280;

PA-340.

Температура навкол. середовища: -20 °С...+70 °С.

Максимальний тиск повітря: 3,5 бар.

Мінімально допустимий сигнал керування – 0,2 бар.

### **5.2.2 Канал контролю і управління температурою реакційної маси у реакторі (7)**

Вимоги робочого середовища регулювання:

– температура до 40 °С;

– тиск 0,2...0,25 МПа;

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

Для управління температурою реакційної маси у реакторі (7) шляхом зміни положення клапана на трубопроводі подачі охолоджуючої води в сорочку реактора застосуємо клапан регулюючий з пневмоприводом PV25I PN40 Valsteam ADCA, як такий, що повністю задовольняє вимоги.

### **5.2.3 Канал контролю і управління температурою парів ДМА у пастці парів ДМА (8)**

Вимоги робочого середовища регулювання:

– температура до 20 °С;

– тиск 0,2...0,25 МПа;

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

Для управління температурою парів ДМА у пастці (8) шляхом зміни положення клапана на трубопроводі подачі охолоджуючої води в сорочку пастки парів ДМА (8) застосуємо клапан регулюючий з пневмоприводом PV25I PN40 Valsteam ADCA, як такий, що повністю задовольняє вимоги.

### **5.2.4 Канал контролю і управління температурою парів ДМА у пастці парів ДМА (10)**

Вимоги робочого середовища регулювання:

– температура до 20 °С;

– тиск 0,2...0,25 МПа;

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

Для управління температурою парів ДМА у пастці (10) шляхом зміни положення клапана на трубопроводі подачі охолоджуючої води в сорочку пастки парів ДМА (10) застосуємо клапан

регулюючий з пневмоприводом PV25I PN40 Valsteam ADCA, як такий, що повністю задовольняє вимоги.

### 5.2.5 Канал контролю і управління розрідженням у трубопроводі після збірника мурашиної кислоти

Вимоги робочого середовища регулювання:

- температура до 40 °С;
- тиск 0,2...0,25 МПа;
- потужність двигуна привода вакуумного насоса 0,75 кВт;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

Для управління розрідженням у трубопроводі після збірника мурашиної кислоти будемо змінювати оберти двигуна привода вакуумного насоса 13-14. Вакуумний насос приводиться в рух двигуном 4BP 71A2 потужністю 0,75 кВт. Даним вимогам відповідає перетворювач частоти Delta Electronics VFD007EL43A[19].

Зовнішній вигляд перетворювача частоти Delta Electronics VFD007EL43A наведений на рис. 5.6.



Рисунок 5.6 - Зовнішній вигляд перетворювача частоти Delta Electronics VFD007EL43A.

Технічні характеристики перетворювача частоти Delta Electronics VFD007EL43A наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 \_ Технічні характеристики перетворювача частоти Delta Electronics VFD007EL43A

Номінальна потужність	750.0 (Вт)
Кількість фаз живлення	3
Номінальна вхідна напруга	380 В
Номінальна вихідна напруга	380~400 В
Номінальний струм	2.5 А
Струм протягом 1 хвилини	3.8 А
Здатність до перенавантаження	150%

Продовження таблиці 5.13

Гальмівний модуль	BUE40015
Максимальна вихідна частота	600 Гц
Mmax (1 min) %	150
Захист під короткого замкнення	Так
Захист від перегріву	Так
Захист від перенавантаження	Так
Панель програмування у комплекті з ПЧ	Незйомна
Розширена панель програмування	VFD-PU06
Кількість /тип аналогових входів	1/0-10V або 0(4)-20mA
Кількість аналогових виходів	1
Кількість дискретних входів	6
Кількість дискретних виходів	1
Вбудований потенціометр (або номінал опору	Є
Мінімальна робоча температура навколишнього середовища	-10.0 (град.)
Максимальна робоча температура навколишнього середовища	50.0 (град.)
Інші функції і особливості	Захист від заклинання електродвигуна, обмеження за струмом
Вбудований ПЛК	Немає
Протокол PROFIBUS DP	CME-PD01
Протокол LonWorks	CME-LW01
Протокол CANopen	CME-COP01
Протокол DeviceNet	CME-DN01

Продовження табл. 5.2

Інтерфейс RS-485/Modbus	Є
ЕМС фільтр	Є
Вбудований регулятор	ПД
Лінійний закон управління U/f	Є
Квадратичний закон управління U/f <sup>2</sup>	Є
Базова панель програмування	RC-01
Максимальна кількість фіксованих швидкостей	16
Скалярний режим керування	Є
Векторний режим керування без енкодера	Є

## Особливості:

- Допускається щільне встановлення приладів за рахунок високоефективного охолодження;

- Вбудований режим керування насосами з постійним тиском із зворотним зв'язком по датчику тиску 4-20мА.

- Компактна конструкція – монтаж на DIN-рейку
- Простота в обслуговуванні та введенні в експлуатацію
- ПД-регулятор
- Вольт-частотне керування. Формування характеристики  $V / f$  за трьома точками
- Вбудований РЧ-фільтр класу В
- Вбудований RS-485 (MODBUS)
- Комунікаційні адаптери для мереж ProfiBus, DeviceNet, LonWork та CANopen
- Опціональний виносний пульт PU06 та програмне забезпечення VFD PC
- Можливість активації векторного режиму шляхом перешивки firmware
- Захисне покриття лаком друкованих плат

ПЧ дозволяє виконувати плавний пуск і плавну зупинку електродвигуна привода вакуумного насоса 13-14, регулювання тиску на виході вакуумного насоса 13-14 за допомогою вбудованого ПД-регулятора за сигналом датчика тиску 4...20мА.

### 5.2.6 Канал контролю і управління рівнем мурашиної кислоти у збірнику мурашиної кислоти

Вимоги робочого середовища регулювання:

- температура до 40 °С;
- тиск 0...0,101325 МПа;
- агресивне середовище;

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

Для управління рівнем мурашиної кислоти у збірнику мурашиної кислоти шляхом зміни положення клапана на трубопроводі подачі мурашиної кислоти на вхід збірника мурашиної кислоти застосуємо клапан регулюючий з пневмоприводом PV25I PN40 Valsteam ADCA, як такий, що повністю задовольняє вимоги.

### **5.2.7 Канал контролю і управління рівнем ДМА у мірнику ДМА (2.1)**

Вимоги робочого середовища регулювання:

- температура до 100 °С;
- тиск 0...0,101325 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

Для управління рівнем ДМА у мірнику ДМА(2.1) шляхом зміни положення клапана на трубопроводі подачі ДМА на вхід мірника ДМА(2.1) застосуємо клапан регулюючий з пневмоприводом PV25I PN40 Valsteam ADCA, як такий, що повністю задовольняє вимоги.

### **5.2.8 Канал контролю і управління рівнем ДМА у мірнику ДМА (2.2)**

Вимоги робочого середовища регулювання:

- температура до 100 °С;
- тиск 0...0,101325 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

Для управління рівнем ДМА у мірнику ДМА(2.2) шляхом зміни положення клапана на трубопроводі подачі ДМА на вхід мірника ДМА(2.2) застосуємо клапан регулюючий з пневмоприводом PV25I PN40 Valsteam ADCA, як такий, що повністю задовольняє вимоги.

### **5.2.9 Канал контролю і управління рівнем реакційної маси у реакторі (6)**

Вимоги робочого середовища регулювання:

- температура до 100 °С;
- тиск 0...0,101325 МПа;
- агресивне середовище;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.



Для управління рівнем реакційної маси у реакторі (6) шляхом зміни положення клапана на трубопроводі подачі мурашиної кислоти на вхід реактора (6) застосуємо клапан регулюючий з пневмоприводом PV25I PN40 Valsteam ADCA, як такий, що повністю задовольняє вимоги.

#### **5.2.10 Канал контролю і управління рівнем реакційної маси у реакторі (7)**

Вимоги робочого середовища регулювання:

- температура до 100 °С;
- агресивне середовище;
- тиск 0...0,101325 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

Для управління рівнем реакційної маси у реакторі (7) шляхом зміни положення клапана на трубопроводі подачі мурашиної кислоти на вхід реактора (7) застосуємо клапан регулюючий з пневмоприводом PV25I PN40 Valsteam ADCA, як такий, що повністю задовольняє вимоги.

#### **5.2.11 Канал контролю і управління концентрацією парів ДМА у повітрі приміщень виробництва МКС ДМА**

Вимоги робочого середовища регулювання:

- потужність двигуна вентилятора 3,0 кВт;
- температура до 40 °С;
- тиск 0...1,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

Для управління концентрацією парів ДМА у повітрі приміщень виробництва МКС ДМА будемо змінювати оберти двигуна привода витяжного вентилятора.

Витяжний вентилятор ВОГ 5 1335/4-8 з двигуном привода АИМ80В2 2,2 кВт/3000 об/год. Даним вимогам відповідає перетворювач частоти Delta Electronics VFD022E43A[20].

Зовнішній вигляд перетворювача частоти Delta Electronics VFD022E43A наведений на рис. 5.7.



Рисунок 5.7 - Зовнішній вигляд перетворювача частоти  
Delta Electronics VFD022E43A.

Технічні характеристики перетворювача частоти Delta Electronics VFD022E43A наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 \_ Технічні характеристики перетворювача частоти Delta Electronics VFD022E43A

Потужність, кВт	2.2
Номінальний струм А	5.5
Напруга живлення, В	380-480
Фазність (кількість фаз)	3
Вихідна частота, Гц	0,1-600
Клас захисту	IP20
Перевантаження % протягом 1 хвилини	150
Час розгону, с	0,1-600
Час гальмування, с	0,1-600
ЕМС фільтр	+
Гальмівний блок	-
Аналоговий вхід, кількість	3
Дискретний вхід, кількість	7
Аналоговий вихід, кількість	1
Дискретний вихід, кількість	транзисторний - 2
Релейний вихід, кількість	3
Інтерфейс RS485 (Modbus RTU)	+

Продовження табл. 5.3

Пусковий момент	150% на 3 Гц
Регулятор	ПІД - регулювання
Управління з ВЧГ	Управління з ВЧГ: +
Векторне управління зі зворотним зв'язком	-
Безсенсорне векторне управління	+
Робоча температура, °С	-10.....+50
Температура зберігання, °С	-20.....+60
Габарити (ШхВхГ), мм	100x174x152
Вага, кг	1.9

ПЧ дозволяє виконувати плавний пуск і плавну зупинку електродвигуна привода витяжного вентилятора, регулювання його обертів і, відповідно, зменшення/збільшення обсягу і напору видуваного повітря за сигналом датчика концентрації 4...20мА.

### 5.3 вибір контролера

Контролер вибираємо виходячи із забезпечення необхідної швидкодії, обсягу пам'яті, простоти налаштування та експлуатації, а також враховуючи кількість входів та виходів, їхній вигляд.

Для вибору контролера проаналізуємо входні та вихідні сигнали контролера. Відповідно до обраних датчиків і типів каналів управління дані про входні сигнали наведені в табл. 5.4, дані про вихідні сигнали наведені в табл. 5.5.

Таблиця 5.4\_ Входні сигнали контролера

Параметр	Об'єкт управління	Вхідний сигнал
Температура реакційної маси	Реактор (6)	4...20 мА
Температура реакційної маси	Реактор (7)	4...20 мА
Температура	Пастка (8) парів ДМА	4...20 мА
Температура	Пастка (10) парів ДМА	4...20 мА
Розрідження	Трубопровід після збірника мурашиної кислоти	4...20 мА
Тиск	Трубопровід перед мірником ДМА	4...20 мА
Тиск охолодженої води	Трубопровід подачі охолодженої води	4...20 мА
Тиск	Трубопровід повітря для КВП	4...20 мА

Продовження табл. 5.4

Розрідження	Трубопровід вакууму технічного	4...20 мА
Рівень мурашиної кислоти	Збірник мурашиної кислоти	4...20 мА
Рівень ДМА	Мірник ДМА (2.1)	4...20 мА
Рівень ДМА	Мірник ДМА (2.2)	4...20 мА
Рівень	Пастка (8) парів ДМА	4...20 мА
Рівень	Пастка (10) парів ДМА	4...20 мА
Рівень реакційної маси	Реактор (6)	4...20 мА
Рівень реакційної маси	Реактор (7)	4...20 мА
Рівень готового продукту	Збірник МКС ДМА (5а)	4...20 мА
Концентрація парів ДМА у повітрі	Приміщення виробництва МКС ДМА	4...20 мА

Таблиця 5.5\_ Вихідні сигнали контролера

Параметр	Об'єкт управління	Вихідний сигнал
Витрата охолоджувальної води	Вхід реактора (6)	0..20 мА
Витрата охолоджувальної води	Вхід реактора (7)	0..20 мА
Витрата охолоджувальної води	Вхід пастки (8) парів ДМА	0..20 мА
Витрата охолоджувальної води	Вхід пастки (10) парів ДМА	0..20 мА
Оберти двигуна привода	Вакуумний насос	0..20 мА
Витрата мурашиної кислоти	Вхід збірника мурашиної кислоти	0..20 мА
Витрата ДМА	Вхід мірника ДМА (2.1)	0..20 мА
Витрата ДМА	Вхід мірника ДМА (2.2)	0..20 мА
Витрата мурашиної кислоти	Вхід реактора (6)	0..20 мА
Витрата мурашиної кислоти	Вхід реактора (7)	0..20 мА
Оберти привода витяжного вентилятора	Приміщення виробництва МКС ДМА	0..20 мА
Сигналізація «Тиск перед мірником ДМА»	Вхід мірника ДМА	Лог. 1
Сигналізація «Тиск охолодженої води»	Трубопровід подачі охолодженої води	Лог. 1
Сигналізація «Тиск повітря для КВП»	Трубопровід повітря для КВП	Лог. 1

Продовження табл. 5.5

Сигналізація «Розрідження технічного вакууму»	Трубопровід технічного вакууму	Лог. 1
Сигналізація «Рівень ДМА(2.1)	Мірник ДМА (2.1)	Лог. 1
Сигналізація «Рівень ДМА(2.2)	Мірник ДМА (2.2)	Лог. 1
Сигналізація «Рівень реакційної маси»	Реактор (6)	Лог. 1
Сигналізація «Рівень реакційної маси»	Реактор (7)	Лог. 1
Сигналізація «Рівень готового продукту»	Збірник МКС ДМА (5а)	Лог. 1
Сигналізація «Концентрація парів ДМА»	Агрегат конверсії	Лог. 1
Сигналізація звукова концентрації парів ДМА	Сирена сигналізації	Лог. 1

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

Таблиця 5.6 - Вимоги до контролера

Сигнали	Кількість сигналів
Аналогові входні	18
Дискретні входні	-
Аналогові вихідні	11
Дискретні вихідні	11

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

а) Програмований логічний контролер ОВЕН ПЛК154-220.И [21]

Технічні характеристики представлені в табл. 5.7.

Таблиця 5.7 \_ Технічні характеристики програмованого логічного контролера  
ОВЕН ПЛК154-220.И

Загальні відомості	
Конструктивне виконання	Уніфікований корпус для кріплення на DIN-рейку
Ступінь захисту корпусу	IP20
Напруга живлення	90...264 В 47...63 Гц (номін. 200 В) або =110...230 В
Споживана потужність	6 Вт
Індикація на передній панелі	Індикація живлення і стану дискретних входів/виходів
Ресурси	
Центральний процесор	32х розрядний RISCпроцесор 200 МГц на базі ядра ARM9
Об'єм оперативної пам'яті	8 Мбайт
Обсяг енергозалежної пам'яті зберігання програм і архівів	3 Мбайт (Flashпам'ять, спеціалізована файлова система)
Дискретні входи	
Кількість дискретних входів	4
Гальванічна розв'язка	на 1,5 В, групова
Максимальна частота сигналу, що подається на дискретний вхід	10 кГц (в режимі енкодера – 1 кГц)
Аналогові входи	
Кількість аналогових входів	4
Межа основної зведеної похибки	0,5%
Типи підтримуваних датчиків і вхідних сигналів	Термометри опору, терморпари, струм (0) 4 ... 20 мА, 0 ... 5 мА, напруга 0 ... 1 В, 0 ... 10 В, опір 0 ... 5 кОм. Підключення датчиків струму і напруги здійснюється безпосередньо і не вимагає узгоджувальних резисторів
Розрядність ЦАП	16 біт
Мінімальний час опитування всіх аналогових входів	1,5 с
Дискретні виходи	
Кількість дискретних виходів	4 е/м реле
Гальванічна розв'язка	На 1,5 кВ, індивідуальна
Аналогові виходи	
Кількість аналогових виходів	4
Розрядність ЦАП	10 біт
Наявність вбудованого джерела живлення	Загальне, гальванічно ізольоване (1,5 кВ)
Інтерфейси зв'язку	
Інтерфейси	Ethernet 10/100 Mbps, RS485, RS232
Протоколи	ОВЕН, Modbus RTU, Modbus ASCII, DCON, Modbus TCP, GateWay (протокол CoDeSys) Можливе підключення зовнішніх пристроїв з нестандартним протоколом

## Продовження таблиці 5.7

Програмування	
Середовище програмування	CoDeSys 2.3
Мови програмування	IL, ST, LD, SFC, FBD + додаткова мова CFC
Інтерфейс для програмування і налагодження	RS232, Ethernet

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

Модуль введення аналоговий ОВЕН МВА8 [21]

Таблиця 5.8 \_ Технічні характеристики модуля введення аналогового ОВЕН МВА8

Живлення	
Напруга живлення	90...264 В зм. струму частотою 47...63 Гц
Споживана потужність	не більше 6 ВА
Входи	
Кількість входів	8
Мінімальний час опитування одного входу	0,3 с
Мінімальний час опитування 8 входів	2 с
Напруга джерела живлення активних датчиків	24±3 В пост. струму
Максимальний струм навантаження джерела живлення активних датчиків	180 мА
Максимальна напруга перевантаження на вході	15 В
Інтерфейс	
Тип Інтерфейса	RS-485
Максимальна довжина лінії зв'язку	1200 м
Протоколи передачі даних	ОВЕН; Modbus ASCII; Modbus RTU; DCON
Процесор	
Вбудований процесор	ATMega128
Таймер	сторожовий
Гальванічна ізоляція	
Допустима напруга ізоляції між входами і лінією інтерфейсу	1500 В
Корпус	
Тип корпусу	На DIN-рейку
Ступінь захисту корпусу	IP20

Модуль виведення управляючий ОВЕН МУ110-220.16Р [11]

Технічні характеристики представлені в таблиці 5.9:

Таблиця 5.9 \_ Технічні характеристики модуля виведення управляючого  
ОВЕН МУ110-220.16Р

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

Модуль виведення управляючий ОВЕН МУ110-220.8Р

Таблиця 5.10 – Технічні характеристики модуля виведення управляючого

ОВЕН МУ110-220.8Р

Напруга живлення	220 В зм. струму
Споживана потужність	не більше 6 ВА
кількість виходів	8
Тип інтерфейсу	RS-485
Максимальна швидкість обміну	115200 біт/с
Протоколи передачі даних	ОВЕН; Modbus ASCII; Modbus RTU; DCON
Тип корпусу	На DIN-рейку або стіну
Ступінь захисту корпусу	IP20



## 6 РОЗРАХ УНКОВА ЧАСТИНА

### 6.1 Ідентифікація технологічного об'єкта управління (ТОУ)

Трудомісткість автоматизації технологічних процесів багато в чому визначається ступенем наявної інформації про ТОУ, їх статичних і динамічних характеристиках.

Найбільш повна інформація про ТОУ міститься в їх математичних моделях.

В якості ТОУ оберемо реактор синтезу мурашиної кислоти солі, як такий, що має одне з вирішальних значень в технологічному процесі виробництва мурашиної кислоти солі диметиламіну. Розрахуємо регулятор по каналу управління температурою реакційної суміші від витрати охолоджуючої води  $T(t) = f(F)$ .

При проектуванні нових технологічних установок такі характеристики мають бути розраховані аналітичними методами, тоді як із автоматизації діючих установок вони можуть бути визначені як аналітичним, і експериментальним шляхом

В результаті експериментальних досліджень об'єкта управління був отриманий вид перехідної характеристики. Після чого був нормований. Перехідна характеристика зображена на рис. 6.1.

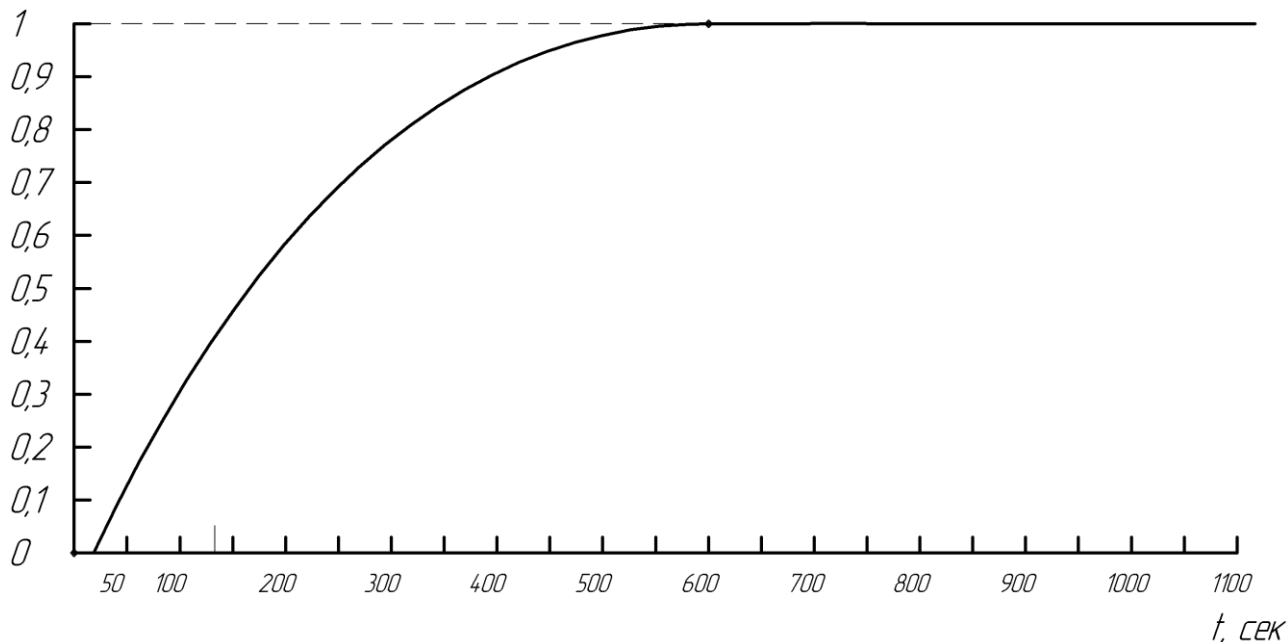


Рисунок 6.1 – Експериментально отримана перехідна характеристика.

Нормованим параметром від 0 до 1 на шкалі Y є зміна температури відповідно від 0 до 80 °C (за регламентом)..

Виходячи з вигляду перехідної характеристики (кривої розгону) задамося одним з видів передавальної функції об'єкта управління:

У вигляді передавальної функції інерційної ланки першого порядку з запізненням:

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

## 6.2 Визначення параметрів передавальної функції ТОУ.

Активні методи визначення динамічних характеристик об'єктів припускають подачу на вхід об'єкту пробних тестових сигналів. Залежно від виду пробного сигналу вибирають відповідні методи обробки вихідного сигналу об'єкта управління. У нашому випадку на вхід подається ступінчастий сигнал і знімається перехідна характеристика на виході.

Знявши перехідну характеристику, і оцінивши характер об'єкта управління можна визначити параметри відповідної передавальної функції.

Визначимо постійні часу об'єкта управління з експериментальної перехідній характеристикі. Дані для розрахунку параметрів розглянемо на рис. 6.2.

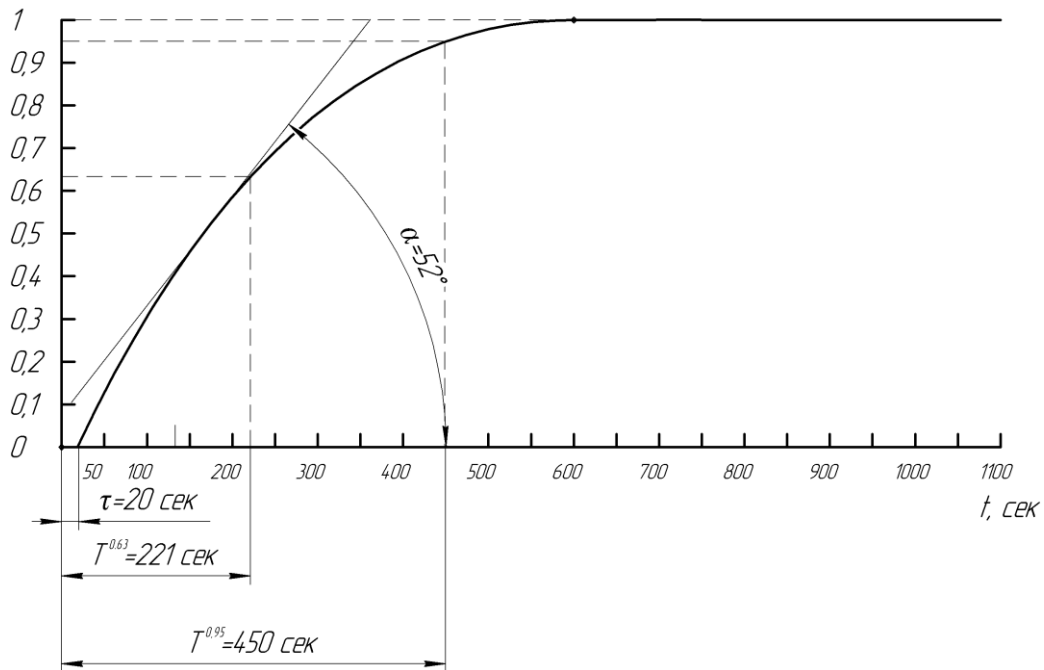


Рисунок 6.2 – Отримання даних для визначення параметрів передавальної функції.

$$T_{0.63}=221; T_{ob}=3 \times T_{0.63}$$

$$T_{0.95}=450; \quad T_{0.95} \leq T_{ob}$$

$$T_{ob} = \frac{3 \times T_{0.63} + T_{0.95}}{2} = 556.5 \quad ; \text{ - постійна часу об'єкта.}$$

Проведемо дотичну для розрахунку коефіцієнта посилення.

К дорівнює тангенсу кута нахилу дотичної

$$K = \text{Tan}(\alpha) = 1.28.$$

В результаті отримаємо передавальну функцію об'єкта відповідно до виду передавальної функції інерційної ланки першого порядку:

$$W(p) = \frac{K^{-\tau^* p}}{Tp + 1} ;$$

$$W_o = \frac{1.28^{-20^* p}}{556.5p + 1}.$$

Промодельюємо отриманий результат в пакеті Matlab(simulink) і проаналізуємо роботу об'єкта управління при подачі ступінчатого сигналу на його вхід.

Цей пакет має широкі можливості для реалізації методів теорії автоматичного регулювання при дослідженні динаміки автоматичних систем

Оскільки під час проведення досліджень реальний керуючий вплив замінюється одиничним ступінчастим сигналом, обліку факту корекції не потрібно [25], і всі результати, отримані для прийнятої системи, будуть справедливими й для вихідної.

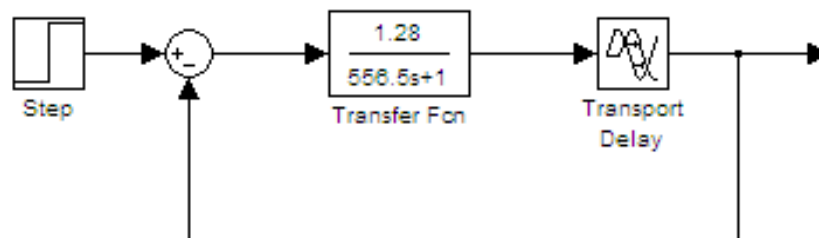


Рисунок 6.3 – Модель ОУ в пакеті Matlab.

В результаті моделювання отримали осцилограму перехідного процесу при подачі ступінчатого сигналу. Перехідний процес має великий час і запізнювання дорівнює 20 с.

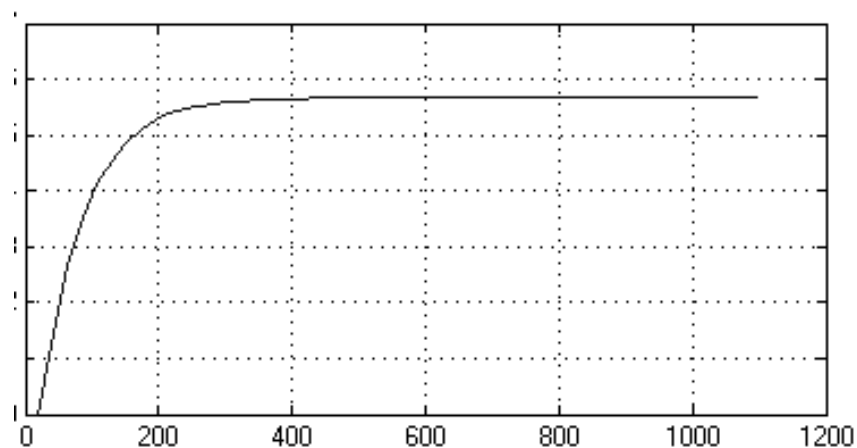


Рисунок 6.4 –Графік перехідного процесу при подачі ступінчатого сигналу

### 6.3 Перевірка адекватності моделі

Зробимо перевірку адекватності моделі отриманої шляхом розрахунку і моделі отриманої шляхом реального експерименту. Для цього використовуємо метод перевірки адекватності за критерієм Фішера.

1) Розділимо графік перехідної характеристики, отриманий експериментальним способом (рис. 6.1) і перехідну характеристику, отриману в результаті моделювання (рис. 6.4) по осі X на 14 рівних інтервалів.

2) Запишемо значення точок перетину прямих на функції для кожної ділянки. І занесемо їх в табл. 1.

Таблиця 6.1 - Значення за отриманими точками

ti	75	150	225	300	375	450	525	600	675	750	825	900	975	1050
Yi1	0.27	0.48	0.65	0.78	0.88	0.95	0.98	1	1	1	1	1	1	1
Yi2	0.61	0.85	0.94	0.97	0.98	0.991	0.996	0.998	1	1	1	1	1	1

де ti – значення точок по осі X; Yi1 – значення точок по осі Y на експериментальній кривій; Yi2 значення точок по осі Y на змодельованій кривій;

3) За формулами, викладеними в даному методі визначимо оцінку дисперсії по кожній кривій, і розрахуємо критерій Фішера. Розрахунки проведемо за допомогою математичного пакета MathCad.

$$S1 = \frac{1}{n-1} \times \sum_N (Y1_N - Y1_{sred})^2 \quad S2 = \frac{1}{n-1} \times \sum_N (Y2_N - Y2_{sred})^2$$

$$S1 = 0.054$$

$$S1 = 0.011$$

$$F_{ras} = \frac{S2}{S1} = 0.209,$$

де:

S1 – оцінка дисперсії експериментальної кривої;

S2 - оцінка дисперсії змодельованої кривої;

n – кількість точок;

N – діапазон точок масиву 0-13;

Y1sred – середнє значення точок експериментальної кривої;

Y2sred - середнє значення точок змодельованої кривої;

Fras – розрахункове значення критерію Фішера.

4) За таблицями наведеними в даному методі розрахунку знайдемо  $F_{крит} \geq F_{ras}$ .

Таблиця 6.2-значення критерію Фішера (F-критерію) для рівня f1 - число ступенів свободи більшої дисперсії, f2 - число ступенів свободи меншої дисперсії

	$f_1$										
$f_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
1	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54	241.88	245.95
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.43
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.70
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.86
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.62
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	3.94
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.51
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.22
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.01
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.85
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.72
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.62
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.53
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.46
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.40
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.35
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.31
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.27
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.23
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.20

$F_{ras}=0,209 < F_{krit}=2.56$ , що свідчить про те, що модель отримана шляхом розрахунку, за критерієм Фішера адекватна об'єкту.

#### 6.4 Розрахунок параметрів регулятора

Розрахунок налаштувань регулятора будемо проводити методом Ротача. (Метод мінімуму коливальності).

Завдання розрахунку в тому, що потрібно підібрати такі настройки регулятора, щоб АФХ розімкнутої системи доторкнулася до кола з заданим показником коливальності. Найбільш просто таку побудову можна виконати для П-регулятора, який не змінює фазних співвідношень в системі, а змінює лише масштаб.

6.4.1 Побудуємо АФХ розімкнутої системи.

6.4.2 Проводимо промінь ON під кутом  $\alpha = \arcsin \frac{1}{M}$ .

де M - показник коливальності системи 1,62, що приблизно відповідає ступеню загасання 0.9.

6.4.3. Методом підбору додаткових параметрів, що дозволяють оперативно змінювати параметри кола забороненої області, будуємо коло радіусом  $r$ , яке одночасно дотикалося б прямої лінії і АФХ (з центром на негативній півосі.).

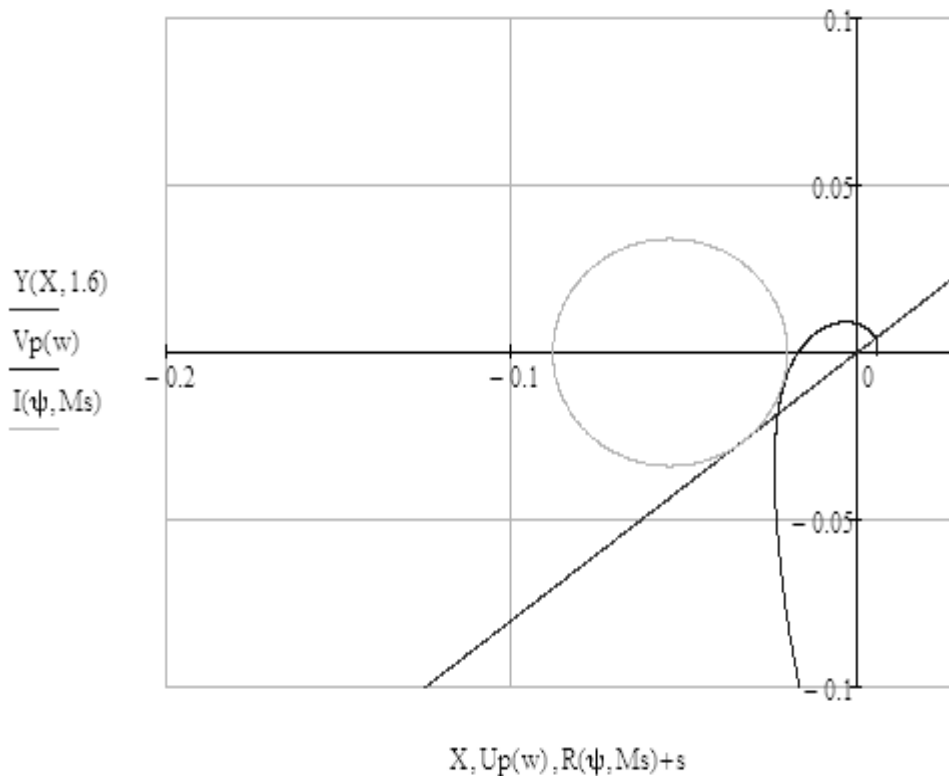


Рисунок 6.5 – АФХ системи з виконаними побудовами

6.4.4 Розрахуємо настройки П-регулятора за допомогою математичного пакета MathCad:

$$M_z = 1.6 \quad T = 556.5$$

$K = 1.28 \quad \tau = 20$  - задаємо вихідні дані: ступінь коливальності  $M$  і параметри передавальної функції об'єкта управління.

$W(w) = \frac{1.28^{-\tau \cdot (j \cdot w)}}{556.5 \cdot (j \cdot w) + 1}$  - формуємо частотну передавальну функцію об'єкта управління шляхом виконання заміни  $s = j \cdot \omega$ .

$W_p(k1, w) = k1 \cdot W(w)$  - формуємо частотну передавальну функцію розімкнутої системи як послідовне з'єднання об'єкта і П регулятора. Коефіцієнт посилення  $k1$  використовуємо як параметр функції  $W_p(k1, w)$  для зручності побудови АФЧХ.

$$U_p(w) = \text{Re}(W_p(1, w))$$

$V_p(w) = \text{Im}(W_p(1, w))$  - отримуємо функціональні залежності для дійсної і уявної частин АФЧХ розімкнутої системи при коефіцієнті посилення регулятора, що дорівнює одиниці.

$\gamma(M) = a \sin\left(\frac{1}{M}\right)$   $Y(X, M) = \tan(\gamma(M)) * X$  - формуємо функціональну залежність, що описує лінію в залежності від значення показника коливальності  $M$ .

$r(M) = \frac{M}{M^2 - 1}$   $u(M) = \frac{M^2}{M^2 - 1}$  - запишемо вирази для визначення радіусу кола забороненої області та положення її центру як функцію показника коливальності  $M$ .

$w = 0.010, 0.011..1$  - задаємо діапазон частот і крок зміни для побудови АФЧХ з метою відображення тієї частини, яка припадає на третій квадрант.

$$R(\psi, M) = r(M) * \sin(\psi) - u(M)$$

$I(\psi, M) = r(M) * \cos(\psi)$  - формуємо рівняння кола забороненої області в прямокутній системі координат (параметричне рівняння кола як функція кута повороту  $\psi$ ).

$s = 0.947$   $Ms = 29.5$  - уводимо додаткові параметри, що дозволяють оперативно змінювати параметри кола забороненої області з метою отримання одночасного дотику її з АФЧХ і променем.

$\frac{Mz}{Mz^2 - 1} * \frac{1}{r(Ms)} = 30.222$  - визначення граничного коефіцієнта посилення П-регулятора.

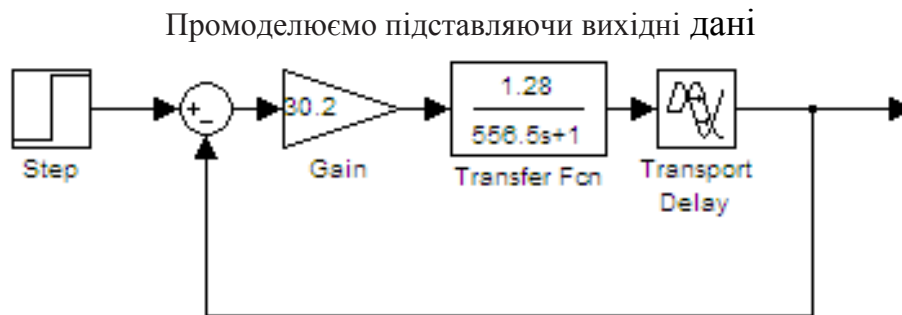


Рисунок 6.6 - Модель об'єкта з П-регулятором в середовищі Simulink.

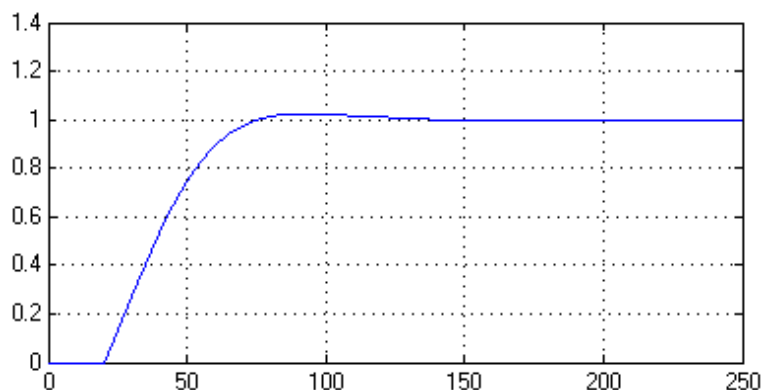


Рисунок 6.7 – Перехідна характеристика об'єкта управління з П-регулятором.

Бачимо що час перехідного процесу зменшився. Але при застосуванні П-регулятора можемо отримати нестійкий процес при коефіцієнті посилення більшому, ніж Ккрит.

6.4.5 Розрахуємо настройки ІІІ-регулятора за допомогою математичного пакету MathCad:

Особливість розрахунку для ІІІ - регулятора полягає в необхідності виконання обчислень, аналогічних зазначеним для П-регулятора для різних фіксованих значень другого параметра настройки, в даному випадку - часу ізодрому  $T_i$ .

Відповідно, в програмі необхідно модифікувати вираз для визначення АФЧХ розімкнутої системи:

$$Wp(k1, w) = (k1 * \frac{1}{Ti * (j * w)}) * W(w)$$

$$Up(w, Ti) = \text{Re}(Wp(1, Ti, w))$$

$$Vp(w, Ti) = \text{Im}(Wp(1, Ti, w))$$

Величини граничного коефіцієнта посилення ІІІ - регулятора визначаємо відповідно до

формули  $\frac{Mz}{Mz^2 - 1} * \frac{1}{r(Ms)}$  для кожного значення  $T_i$ . Отримані пари налаштувань зводимо у табл.

6.3.

Таблиця 6.3 - розраховані пари налаштувань ІІІ-регулятора.

K		3.02	6.04	12.06	15.08	18.1	21.12	23.15	25.17	28.19	30.2
Ti		0.145	0.298	0.425	0.562	0.701	0.848	0.99	1.125	1.23	1.36

Далі шляхом підстроювання вибираємо потрібну пару налаштувань ІІІ-регулятора, яка задовольняє вимоги.

Промодельуємо підставляючи вихідні дані.

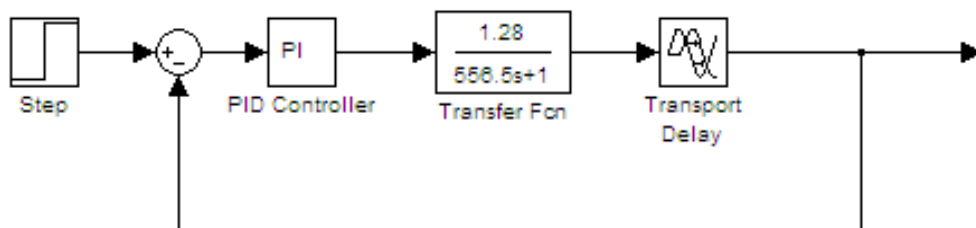


Рисунок 6.8 - Модель об'єкта з ІІІ-регулятором в середовищі Simulink.



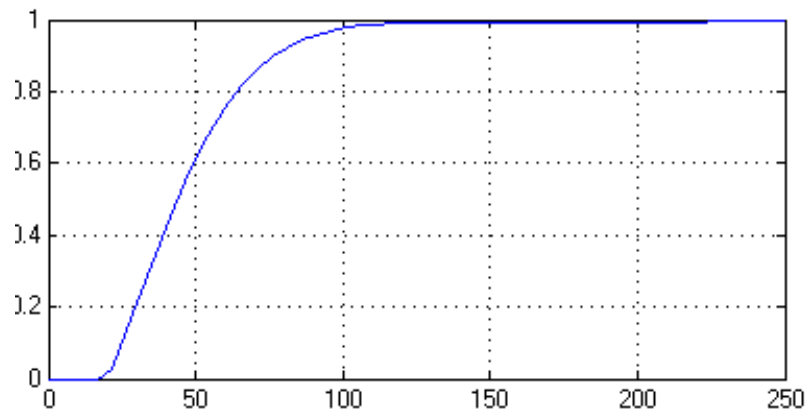


Рисунок 6.9 – Перехідна характеристика об'єкта управління з ПІ-регулятором.  
Бачимо, що час перехідного процесу зменшився, вдалося позбутися від перерегулювання.

Процес є стійким.

В результаті дослідження робимо висновок, що для даного процесу ПІ-регулятор забезпечує достатні показники якості перехідного процесу.

## **ВИСНОВОК**

В роботі виконано розробку проєкту системи управління виробництвом мурашиної кислої солі диметиламіну. Виконаний аналіз технологічного процесу, обрані канали управління, зроблено вибір засобів автоматизації, а саме, датчиків, виконавчих механізмів і контролера. Також були розроблені структурна схема автоматизації, функціональна схема автоматизації, схеми шаф, монтажно-комутаційна схема і схема з'єднань, розрахований і вибраний закон регулювання температури реакційної маси у реакторі синтезу мурашиної кислої солі.

## Література

1. Регламент технологічного процесу виробництва мурашиної кислоти солі диметиламіну.
2. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою ДСТУ Б В.1.1-36:2016  
<http://ngpu.org.ua/sites/default/files/%20D0%B2%D0%B8%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B3%D0%BE%D1%80%D1%96%D0%B9%20D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BC%D1%96%D1%89%D0%B5%D0%BD%D1%8C.pdf>
3. Категорії виробництв з точки зору пожежовибухонебезпеки [Електронний ресурс]. - Режим доступу:  
[https://pidru4niki.com/15931106/bzhd/kategoriyi\\_virobnitstv\\_tochki\\_zoru\\_pozhezhovibuhonebezpeki](https://pidru4niki.com/15931106/bzhd/kategoriyi_virobnitstv_tochki_zoru_pozhezhovibuhonebezpeki)
4. Перелік будівель, споруд, приміщень і відкритих технологічних майданчиків з установленням їх категорій за вибухопожежною та пожежною небезпекою, а також класів вибухо- і пожежонебезпечних зон - класифікація вибухонебезпечних та пожежонебезпечних зон [Електронний ресурс]. - Режим доступу:  
<https://leg.co.ua/instrukcii/ohrana-truda/perelik-budivel-sporud-primischen-i-vidkritih-tehnologichnih-maydanchikiv-z-ustanovlenniam-yih-kategoriiv-za-vibuhopozhezhnoyu-ta-pozhezhnoyu-nebezpekoyu-a-takozh-klasiv-vibuho-i-pozhezhonebezpechnih-zon-7.html>
5. Process Control of Technological Processes [Електронний ресурс]. - Режим доступу:  
[https://www.ispatguru.com/process-control-of-technological-processes/?utm\\_source=rss&utm\\_medium=rss&utm\\_campaign=process-control-of-technological-processes](https://www.ispatguru.com/process-control-of-technological-processes/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=process-control-of-technological-processes)
6. Deciding Upon Control-System Technology [Електронний ресурс]. - Режим доступу:  
<http://www.ethanolproducer.com/articles/1456/deciding-upon-control-system-technology>
7. В.А. Голубятников, В.В. Шувалов Автоматизация производственных процессов в химической промышленности, – М.: Химия, 1972. – 248с.
8. Проектування систем автоматизації: Навч пос. / М.С. Пушкар, С.М. Проценко, 2013.- 268 с.
9. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справ пос. / А.С. Клюев Б.В. Глазов, А.Х. Дубровский, А.А. Клюев; под ред. А.С. Клюева – М.: Энергоатомиздат, 1990.-464 с.
10. A Guide to the Automation Body of Knowledge (2nd Edition) Trevathan, Vernon L. (2006) [Електронний ресурс]. - Режим доступу:

[https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpAGABKE07/viewerType:toc//root\\_slug:guide-automation-body?b-cat-name=Process%20Design%2C%20Control%20%26%20Automation&b-cat-slug=process-design-control-automation&b-cat-id=197&b-order-by=name&b-sort-by=ascending&b-filter-by=all-content](https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpAGABKE07/viewerType:toc//root_slug:guide-automation-body?b-cat-name=Process%20Design%2C%20Control%20%26%20Automation&b-cat-slug=process-design-control-automation&b-cat-id=197&b-order-by=name&b-sort-by=ascending&b-filter-by=all-content)

11. Автоматизация производственных процессов: Пособие. / И.В. Ельперин, О.М. Пупена, В.М. Сидлецкий, С.М. Швед. — К.: Издательство Лира-К, 2015— 340 с.
12. Термопреобразователи с унифицированным выходным сигналом погружаемые [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://termopribor.com/termopreobrazovateli-s-unifitsirovannim-vihodnim-signalom-pogruzaemie-i-podshipnikovie-tsmu-014-tspu-014-tsmu-015-tspu-015/>.
13. Датчики тиску BD SENSORS DMP 331 (ДМП 331) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.ukrteh.kiev.ua/page/prod/name=66>
14. Цифровой преобразователь “DSP-01 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://grempis.com.ua/dsp/>
15. Уровнемеры Сапфир-22 ДУ, 22 ДУ-Вн, 22 ДУ-Ех [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.ukrteh.kiev.ua/page/text/category=level>
16. Датчик САПФИР-22 ДУ [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://standart-m.com.ua/kipia/datchiki-davleniya/datchik-sapfir-22-du>
17. Универсальный газоанализатор токсичных та горючих газов ГАНК-4 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://proflab.com.ua/produkt/product-details/2282-gazoanalizatory-gank-4-a-r-ar.html>.
18. Клапан регулирующий с пневмоприводом PV25I PN40 Valsteam ADCA [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://primatrading.com.ua/product/klapan-reguliruyuschiy-pv25i-pn16-dn15-valsteam-adca>
19. Преобразователь частоты Delta Electronics VFD007EL43A [https://chastotnik.com.ua/media/manuals/%D0%9F%D1%80%D0%B5%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B%D0%B8%20%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D1%8B/Delta\\_Electronics/VFD-E/chastotnik\\_VFD\\_E.pdf](https://chastotnik.com.ua/media/manuals/%D0%9F%D1%80%D0%B5%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B%D0%B8%20%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D1%8B/Delta_Electronics/VFD-E/chastotnik_VFD_E.pdf).
20. Преобразователь частоты Delta Electronics VFD022E43A [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://ewi-engineering.com.ua/delta-vfd022e43a-22-kvt-400-v.html>.
21. Каталог. Продукция ОВЕН, – М.: 2008. – 256 с.
22. Каталог. Продукция фирмы Микрол, – Россия.: 2009. – 194 с.

23. А.И. Бояринов, В.В. Кафаров Методы оптимизации в химической технологии, – М.: Химия, 1969. – 564с.
24. Каталог. Устройства плавного пуска фирмы АББ, – М.: 2009 – 54 с.
25. Худoley Г.М. Конспект лекцій і практик з ТАУ, 2015.
26. Advanced PID Control Åström, Karl J.; Hägglund, Tore (2006)  
[https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpAPIDC001/viewerType:toc//root\\_slug:advanced-pid-control?b-cat-name=Process%20Design%2C%20Control%20%26%20Automation&b-cat-name=Process%20Design%2C%20Control%20%26%20Automation&b-cat-slug=process-design-control-automation&b-cat-id=197&b-order-by=name&b-sort-by=ascending&b-filter-by=all-content](https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpAPIDC001/viewerType:toc//root_slug:advanced-pid-control?b-cat-name=Process%20Design%2C%20Control%20%26%20Automation&b-cat-name=Process%20Design%2C%20Control%20%26%20Automation&b-cat-slug=process-design-control-automation&b-cat-id=197&b-order-by=name&b-sort-by=ascending&b-filter-by=all-content)
27. Методические указания по оформлению курсовых и дипломных проектов. Инструктивные материалы. Для студентов специальности 6.091401 "Компьютеризованные системы управления и автоматики". - Сумы.: СумГУ, 1998. – 77 с.
28. Інструктивні вказівки до виконання курсових і дипломних проектів / укладачі : В. Д. Черв'яков, О.Ю. Журавльов, І.В. Щокотова. – Суми : Сумський державний університет, 2013. – 69с.
29. ДСТУ Б А.2.4-3:2009 Національний стандарт України. Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів.
30. Усатенко С.Т., Каченюк Т.К., Терехова М.В. Выполнение электрических схем по