

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматичної, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістр .

(ступінь вищої освіти)

на тему **Розробка та дослідження автоматизованої системи виробництва капролактаму**

Виконав: студент б курсу, групи 601МЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Коваленко В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Кислиця С.Г.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Галай В.М.

(прізвище та ініціали)

Полтава - 2021 рік

ВСТУП

Актуальність теми. У хімічній промисловості комплексній механізації та автоматизації приділяється велика увага. Це пояснюється складністю і чутливістю до порушень технічних процесів, шкідливістю умов робіт. При автоматизації людина звільняється від безпосередньої участі у виробництві, а функції керування виробничим процесом передаються автоматичним пристроям.

Автоматизація – це впровадження у виробництво технічних засобів, які керують процесами без безпосередньої участі людини. Автоматизація призводить до поліпшення показників ефективності виробництва, поліпшення якості, збільшення кількості та зниження собівартості продукції, що випускається.

Високі темпи розвитку промисловості нерозривно пов'язані з проведенням автоматизації. Завдання, які вирішуються при автоматизації сучасних виробництв, складні та вимагають від фахівців технічні знання та знання загальних принципів складання систем автоматичного керування.

Впровадження АСК у виробництво забезпечує: скорочення втрат від браку та відходів, зменшення чисельності основних робітників, зниження капітальних витрат на будівництво будівель, збільшення міжремонтних термінів роботи обладнання. Завдяки автоматизації виробництва фізична праця робітників замінюється на легшу, що значно збільшує продуктивність праці та зменшує трудомісткість.

Для створення ефективних систем керування необхідні знання про методи керування та технічні засоби, про властивості об'єктів та процесів, що протікають в них, а також знання вимоги до протікання процесу. В результаті в деяких випадках комплексний аналіз технологічних процесів може привести до їх суттєвих зміни.

У найпростішому варіанті основна увага приділяється мінімізації відхилення регульованого параметра від заданого значення. У більшості

випадків такий підхід є достатнім. Але, такий підхід буде неприйнятним, якщо критерій якості включає економічні показники, а також якість керування іншими пов'язаних параметрів.

Завдання, які вирішуються при автоматизації сучасних хімічних виробництв, є складними. Для їх вирішення необхідні професійні знання фахівців безпосередньо приладів та загальних принципів складання систем автоматичного керування.

Метою магістерської роботи є дослідження можливості розробки автоматизованої системи виробництва капролактаму.

Об'єктом магістерської роботи є автоматизована система керування виробництвом капролактаму.

Предметом магістерської роботи є дослідження можливості контролю температури, кислотності та витрати води у технологічному процесі виробництва капролактаму.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- провести аналіз сучасного виробництва капролактаму;
- виявити недоліки роботи існуючої системи автоматизації;
- висунути вимоги до розробки нової системи автоматизації;
- розробити компактну систему автоматизації виробництва капролактаму з використанням сучасної елементної бази;
- обрати засоби автоматизації, що будуть контролювати необхідні параметри;
- обрати виконавчі пристрої;
- виконати економічне обґрунтування запропонованої автоматизації технологічного процесу.

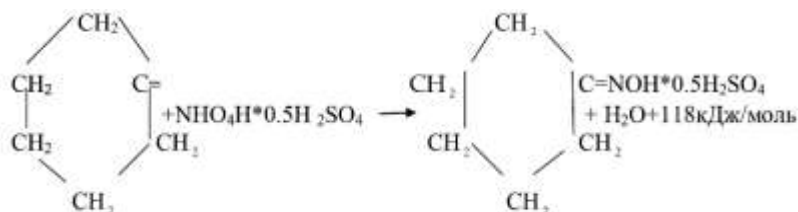
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз сучасного виробництва капролактаму

Процес оксимирування є загальним для фенольної, анілінової та окислювальної схем виробництва капролактаму. У кожній з них основним напівпродуктом є циклогексанон та гідроксиламінсульфат, що взаємодіють між собою.

Циклогексаноноксим отримують з реакції між гідроксиламінсульфатом та циклогексаном. У чистому вигляді циклогексаноноксим це біла кристалічна речовина з температурою плавлення 88,6°C, при нагріванні з мінеральними кислотами у водному розчині гідролізується з утворенням циклогексанону і гідроксиламіну [8].

Реакція оксимирування протікає по наступному рівнянню:



Взаємодія циклогексанону та гідроксиламінсульфату протікає по механізму електрофільного заміщення. Електрофільний характер атома вуглецю карбонільної групи молекули циклогексану посилюється протонуванням кисневого атома кислотою. При цьому вуглецевий атом набуває позитивний електричний заряд. Атом азоту в молекулі гідроксиламіну приєднується до нього не поділеною електронною парою. Водночас кисневий атом карбонільної групи приєднує до себе водень, і нарешті відбувається відщеплення молекули води.

При проведенні процесу оксимирування в першу чергу вкрай важливо домогтися досить повного перетворення циклогексанону в циклогексаноноксим. Підвищений вміст циклогексанону в циклогексанонксимі, окрім погіршення техніко-економічних показників

процесу, створює часом непереборні труднощі на стадії очищення капролактаму та перешкоджає отриманню кінцевого продукту високої якості. З огляду на викладене вище, процес оксимірування зазвичай проводять за противоточною схемою, в дві технологічні ступені.

На першій з них створюють надлишок циклогексанону, на другій – надлишок гідроксиламінсульфату.

У реакторі, де циклогексанон знаходиться в надлишку, температура підтримується близько 40°C [9]. При подальшому зниженні температури виникає небезпека кристалізації утворюючого циклогексанонксіму і забивання реактора та комунікацій.

Зрушення реакції в бік утворення циклогексанонксіму істотно залежить від рН середовища. Перевірені в лабораторних умовах вимірювання дали такі результати. (табл.1.1)

Таблиця 1.1 – Залежність рН

рН середовища	2	3	4	5	6,4
Ступінь оксимірування, %	65,0	88,0	94,5	97,8	99,5

На підставі ж виробничого досвіду встановлено, що залишковий вміст циклогексанону в циклогексанонксіму менше 0,1% досягається вже при рН 4–5.

При рН >4,5 гідроксиламін інтенсивно розкладається на газоподібні продукти. Крім втрат гідроксиламіна, газ, що виділяється, перемішує реакційну масу в сепараторах, що призводить до порушення кордону розділу фаз.

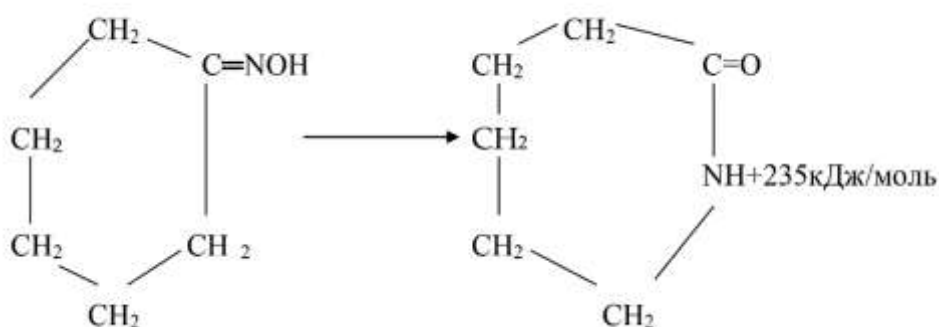
Крім рН середовища на швидкість протікання реакції впливає і швидкість перемішування реакційної маси, адже сама реакція оксимірування відбувається на кордоні фаз.

На ступені, що працює з надлишком гідроксиламінсульфату, підтримується температура 75–80° С [10].

Реактори оксимірування є вертикальними апарати циліндричної форми з турбінними мішалками, швидкість обертання яких близько 500 оборотів в хвилину. Всі трубопроводи, по яких проходить циклогексанооксим, обігріваються гарячою водою.

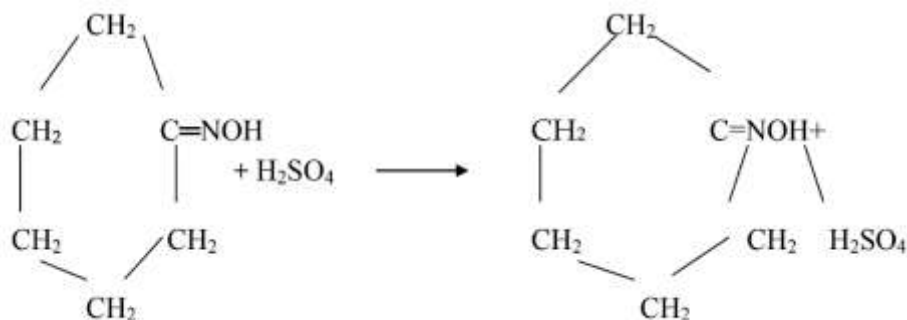
Ізомеризація циклогексанооксиму в капролактамі

В основі процесу переробки циклогексанооксиму в капролактамі лежить відкрита у 1886 році Бекманом реакція перетворення оксимів в амідні кислоти, що відома під назвою бекманівське перегрупування. Бекманівське перегрупування протягом останніх 30 років є основним промисловим методом отримання капролактаму:



Реакція протікає під дією ізомеруючого агента – олеума. Для запобігання вибуху в ході реакції, що протікає в цих умовах з великою швидкістю, вона проводиться при інтенсивному охолодженні.

Першою стадією процесу є утворення протонованої форми циклогексанонксиму:



Важлива роль фактору кислотності або концентрації сірчаного ангідриду в олеум. Небажаною реакцією, властивою оксиму в присутності кислот, є їх гідроліз. Як було встановлено, у міру підвищення кислотності швидкість гідролізу на початку зростає, а потім при подальшому підвищенні – падає.

Важливим фактором нормальної роботи є відмінне змішування циклогексаноксиму та олеуму при надійно працюючій системі відводу тепла.

При поганому перемішуванні в реакторі ізомеризації можуть виникати зони місцевих перегрівів, де буде відбуватися підвищене осмолення органічних продуктів, в першу чергу, циклогексаноксиму. В подібних випадках не виключена можливість викидів реакційної суміші з реактора внаслідок швидкого розігріву.

Крім незадовільного перемішування, причиною викидів може бути зниження температури в реакторі нижче $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, коли реакція практично припиняється. Для уникнення аварійних ситуацій реактори ізомеризації зазвичай забезпечені системою блокувань.

Після реактора ізомеризації перегрупований продукт надходить в реактор нейтралізації, де він нейтралізується та надходить на стадію переробки лактамного масла. Температура в реакторі нейтралізації підтримується в межах $40\text{--}55\text{ }^{\circ}\text{C}$, а сама нейтралізація перегрупованого продукту виробляється газоподібним аміаком [13].

Переробка лактамного масла

Капролактаму з лактамного шару сепаратора після стадії нейтралізації перегрупованого продукту екстрагують органічними розчинниками. Одночасно стадію екстракції можна розглядати як першу сходинку очищення капролактаму від сторонніх домішок.

В екстракційних процесах, широко застосовуваних у сучасній технології, найбільш важливим фактором, що визначає його апаратне та

технологічне оформлення, є, так званий, коефіцієнт розподілу, тобто відношення розчинності однієї і тієї ж речовини в двох розчинниках. Не можна розглядати цей коефіцієнт як постійну величиною для кожного конкретного процесу екстракції, адже його величина змінюється в залежності від робочих концентрацій.

Екстракційне виділення капролактаму може бути одно- та двох стадійним. Відомі схеми, в яких після екстракції капролактаму бензолом слідує видалення останнього ректифікацією з подальшою дистиляцією або ректифікацією самого капролактаму. Ці схеми відрізняються компактністю, хорошими енергетичними показаннями. У той же час, є недолік, що домішки, проникаючи в бензоловий екстракт залишаються в ньому, що ускладнює отримання капролактаму високої якості. Не всі домішки можуть бути видалені дистиляційними методами.

У зв'язку з цим в більшості сучасних промислових схем застосовується двоступенева екстракція: перша ступінь – екстракція органічним розчинником; друга – реекстракція капролактаму водою. Вибір екстрагента для першої стадії не має універсального однозначного рішення.

У промисловості використовуються такі органічні продукти, як бензол, толуол, трихлоретилен. При виборі екстрагента слід враховувати наступні фактори.

Трихлоретилен має, в порівнянні з бензолом і толуолом, велику щільність, в зв'язку з чим, обсяг екстракційної апаратури в разі його застосування менше. Велика щільність трихлоретилену забезпечує так само кращу роздільність водного і органічного шарів, особливо при реекстракції водою. Крім того, пожежна безпека трихлоретилену менше. У той же час при його регенерації, яка здійснюється при підвищених температурах, деяка частина трихлоретилену розкладається з виділенням невеликої кількості соляної кислоти. Це викликає корозію апаратури. Нарешті, трихлоретилен, в порівнянні з бензолом і толуолом, має велику вартість [14].

Очищення капролактаму

Чистота мономеру є неодмінною умовою отримання з нього високоякісних полімерних матеріалів. Така умова відноситься і до капролактаму. Стадія очищення капролактаму закінчує складний багатостадійний процес його отримання та закладає основи для переробки капролактаму в поліамідні вироби з високими якісними показниками. Властивості полікапроамиду, в значній мірі, залежать від домішок, навіть у незначних кількостях, що містяться в капролактамі. В першу чергу їх присутність позначається на процесі полімеризації.

При дослідженні впливу домішок зазвичай розрізняють два ефекти: неконтрольований обрив на молекулах домішок, адже концентраційний ефект має кінетичний, пов'язаний з впливом домішок на швидкість реакції полімеризації. Експериментально встановлено, що такі речовини як аміни, спирти, основи Шіфора, а також сульфат амонію, помітно впливають на кінетику полімеризації, особливо на початковій стадії процесу.

На термостійкість полімеру істотний вплив роблять іони заліза, в той же час вплив на цей показник з боку органічних домішок можна вважати незначним.

Домішки в капролактамі присутні в надзвичайно низьких концентраціях, та, крім того в продукті, що отримується за різними технологіями, можуть бути різними. У зв'язку з цим контроль якості капролактаму, як на його виробництві, так і в промисловості синтетичних волокон ведуть за спеціально розробленою методикою.

Важливим критерієм якості капролактаму є його стабільність, тобто сталість показників у часі. Стабільність капролактаму пов'язана з присутніми в ньому домішками. При зберіганні або транспортуванні капролактаму вони можуть вступати в різні хімічні реакції, що в результаті призводить до зміни показників [9].

Загальна характеристика домішок, присутніх в капролактамі

Деякі з проміжних продуктів синтезу капролактаму можуть потрапляти в кінцевий продукт. Хроматографічними, спектральними та іншими методами в капролактамі визначено велику кількість різних продуктів.

Наприклад, в капролактамі, що отримується за окислювальною схемою, крім напівпродуктів його синтезу (циклогексанону, циклогексанолу, циклогексанонксиму) спектральним методом був виявлений октагідрофеназін. При цьому доведено, що в капролактамі, з високими показниками, особливо з високим перманганатним числом, зазвичай немає домішки. І навпаки, в капролактамі з низьким перманганатним числом вміст октагідрофеназіну становить $(3-4) \cdot 10^{-4} \%$.

У капролактамі окисного походження ідентифікована домішка О-сульфани-2-окси-1,1-діфініл-2-сульфонової кислоти.

Було також показано, що при попаданні ефірів в циклогексанон в виробленому з нього капролактаму міститься підвищена кількість підстав.

Аміни можуть утворюватися також з алифанічних кетонів, що присутні в незначних кількостях в спиртовій фракції. Зокрема домішку гентанона-2, що потрапила в оксидат, важко відокремити від циклогексанону та на стадії оксимірування вона може давати відповідний оксим, а на стадії перегрупування – амід. Останній при дистиляції капролактаму гідролізується до метиламід, або до Н-аміламіну [13].

Капролактамам відноситься до числа термічно нестійких продуктів. При підвищених температурах капролактамам взаємодіє з киснем, утворюючи гідроперекисне з'єднання, яке під впливом іонів заліза або кобальту перетворюється в адінамід, нарешті, при взаємодії з лугом, адінамід перетворюється в адінат натрію з виділенням аміаку.

Можливість протікання таких реакцій диктує жорсткі умови для зберігання і перевезення капролактаму. Як правило, капролактамам зберігається та транспортується в розплавленому вигляді під «азотною подушкою» з вмістом в ній кисню не більше 50 млн^{-1} .

Поширення основних технологічних методів капролактаму продовжимо очищенням іонообмінними смолами.

Очищення іонообмінними смолами

На стадії реекстракції капролактаму водою отримують 30% водний розчин капролактаму, з яким зазвичай проводять іонообмінне очищення.

Як показники, що свідчать про ефективність очищення, вимірюється електропровідність розчину, оптична щільність, кислотність або лужність, перманганатна стійкість і зміст летючих підстав.

Потім з водного розчину капролактаму, пропущеного через колони з іонообмінними смолами, видаляється вода випарюванням.

Хімізм процесу іонообмінного очищення не цілком ясний. Відомо, що при його застосуванні з капролактаму видаляються сполуки кислого і основного характеру, в першу чергу, сульфат амонію, який в невеликих концентраціях ($\approx 0,02\%$) [14] присутній в водному розчині капролактаму. Домішки циклогексанон, циклогексанол, циклогексанонксим та інші органічних сполуки проходять через цю стадію незмінними.

Звичайна промислова схема іонообмінної очистки реалізована в трьох агрегатах по дві колони в кожному (один знаходиться в роботі, а другий на регенерації).

Установку іонообмінного очищення експлуатують при 40°C . Підвищення температури вище 50°C шкідливо впливає на іонообмінні смоли. У кожен колонку розчин надходить зверху вниз. Висота робочого шару в колонці 2 метри. На виході з останньої колони розчин надходить на фільтр для відділення механічних домішок. Цикл роботи кожного агрегату становить приблизно три доби. Про необхідність переключення на регенерацію судять по оптичній щільності (її підвищенні) і збільшенню електропровідності розчину.

Для витіснення домішок, які осіли на смолах, останні переводять в сольову форму обробкою азотною кислотою і їдким натром. У колони, заповнені аніонітом, подають азотну кислоту, а в колони, заповнені катіонітом

– їдкий натр. Надлишок HNO_3 і NaOH видаляють водою і проводять активацію смол: аніоніту–їдким натром, катіоніту–азотною кислотою. Потім в колони подають демінералізовану воду. Про закінчення промивання можна судити по рівності показників електропровідності на вході води в колону і на виході. Кислі та лужні стічні води після регенерації змішуються і направляються на біологічну очистку [10].

Стадія дистиляції капролактаму

Останнім етапом отримання готової продукції є виготовлення товарного капролактаму. На цьому етапі проводиться очищення капролактаму від води, легколетких і важко-киплячих домішок.

Як у вітчизняних, так і в зарубіжних виробництвах значне застосування отримала шести ступінчаста схема очищення капролактаму з застосуванням роторних тонко-плівкових випарників.

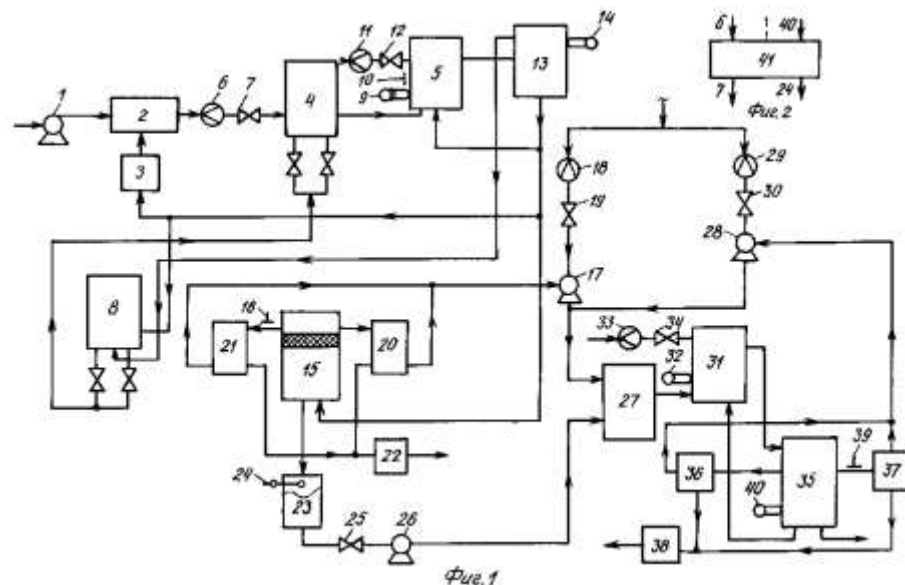


Рисунок 1.1 – Стадії дистиляції капролактаму

Упарений розчин капролактаму надходить на другу ступінь – зневоднення, що здійснюється в випарнику 1 при абсолютному тиску 4 кПа. Дистилат, що містить воду і частково капролактаму, повертається на стадію нейтралізації. Кубовий продукт збирається в збірнику 2, а потім насосом

подається на наступний ступінь – знесмолювання, яка здійснюється на двох послідовно включених випарників 6 і 7. Кубовий продукт, що містить значну кількість смол, змішується з кубовим продуктом 5 ступені в збірнику 16. Дистилят з конденсатора 8 стікає в напірну ємність 9 і далі, через барометричний збірник 10 надходить в проміжний збірник 11. З нього невелика частина капролактаму насосом закачується в барометричний збірник 12, звідки він надходить на змащення нижнього підшипника роторно-плівкових випарників всіх ступенів.

Іншим насосом продукт без смоли зі збірки 11 направляється на наступний етап – відгонку легколетких домішок. Ця операція здійснюється в тонко-плівкових випарниках 13 і 14. Пари, що утворилися в випарнику 14, пройшовши через випарник 13, конденсуються в конденсаторі 16. Утворений конденсат через барометричну ємність 17 і барометричний збірник 18 насосом подається в барометричний збірник 15. Дистилят відбирають при флегмовому числі (відношення флегма – дистилят) рівному 12–15.

Кубовий продукт насосом подається на четвертий ступінь – основну дистиляцію. Її проводять у випарнику 19. Дистилят четвертого етапу після конденсатора 21 і барометричного збічника 22 збирається в збірнику очищеного продукту 23. Ступінь відгону на цій стадії становить 70%. Кубовий продукт після випарника 19 через барометричний збірник 20 за допомогою насоса надходить на п'ятий ступінь – ректифікацію. Вона зазвичай виконана аналогічно третьому ступеню і проводиться в випарнику 24 і випарнику 25. Частина дистиляту їх конденсатора 28 через збірники 29 і 30 подається в збірник 27.

Кубовий продукт зі збірки 26 насосом подається на випарник шостого ступеня 31, де смоли відганяються (віджимаються від капролактаму). Сюди ж подають кубовий продукт з другого ступеня. Дистилят шостого ступеня повертається на одну з попередніх стадій, а кубовий залишок потрапляє в збірник 36, забезпечений мішалкою. У нього ж подається гаряча вода. Новоутворена суміш виводиться з установки на спалювання.

Кожна ступінь оснащена власною паро-ежекторною установкою. За винятком першої, на всіх сходинках підтримується абсолютний тиск 260–800 Па. Конденсація парів здійснюється водою, підігрітою до 70° С [5].

Шести-ступінчаста система очищення капролактаму складна і енергоємна. Зазвичай її розміщують в спеціальному виробничому корпусі.

Колони – випарники з падаючою плівкою, мають низький гідравлічний опір [13].

Властивості, характеристика та області застосування капролактаму Капролактаму (лакто ε -амінокапронової кислоти)

Формула:

Молекулярна маса	–113,06 г/моль;
Температура плавлення	–341,15 К;
Температура кипіння	–535,65 К;
Критична температура	–794,59 К;
Критичний тиск	–4765 КПа;
Теплота утворення	–1582,96 кДж/кг.

Капролактаму виходить шляхом бекманівського перегрупування циклогексанонксиму. Це безбарвна кристалічна речовина, добре розчинна у спирті, токсична. Гранично допустима концентрація парів капролактаму в повітрі –10 мг/м³.

Згідно нормативних документів капролактаму високого гатунку повинен відповідати наступним нормам та вимогам:

- перманганатний індекс – не більше 4;
- кольоровість водного розчину капролактаму з масовою часткою 50% од. Хазена – не більше 3;
- зміст летючих підстав, моль/кг, – не більше 0,4;
- температура кристалізації, ° С, – не нижче 68,8;
- масова частка заліза,%, – не більше 0,00002;
- масова частка циклогексанонксиму,%, – не більше 0,002;

- оптична щільність капролактаму з масовою часткою 50%, – не більше 0,04;
- кислотність, моль/кг, – не більше 0,05;
- лужність, моль/кг, – не більше 0,1;
- рН 20% -ного водного розчину – 6,6–7,6.

Капролактаму застосовується у виробництві капрону, захисних покриттів, штучної щетини, замінників шкіри, пластмас [14].

1.2 Аналіз існуючої системи автоматизації

Керування екстракцією здійснюють в двох ступенях, з'єднаних між собою при подачі лактамного масла, трихлоретилену і конденсату на екстрактори першого ступеня та реекстракції капролактаму з трихлоретилену водою на другому ступені з відведенням капролактаму на наступні стадії. Додатково містять насос подачі лактамного масла з датчиком витрати і клапаном, насос подачі регенованого трихлоретилену з датчиком витрати і клапаном, насос подачі циркуляційного трихлоретилену з датчиком витрати і клапаном. Пристрій подачі слабкого розчину трихлоретилену в середню частину вібраційного екстрактора першого ступеня з датчиком температури, перший вихід якого з'єднаний трубопроводом подачі рафінату в роторний екстрактор першого ступеня з датчиком температури, а другий його вихід з'єднаний з пристроєм розділу фаз вібраційного екстрактора першого ступеня, з'єднаного з роздільником першого ступеня, перший вихід якого з'єднаний з верхньою частиною вібраційного і роторного екстрактора другого ступеня з датчиками температури, а другий вихід з'єднаний з середньою частиною роторного екстрактора другого ступеня, при цьому в верхню частину роторного екстрактора першого ступеня подають регенований трихлоретилен. Насос подачі конденсату з датчиком витрати і клапаном: на вихід розчину капролактаму в трихлоретиленом з вібраційного екстрактора першого ступеня, вихід роторного екстрактора першого ступеня і через

трубопровід з датчиком і клапаном в середню частину вібраційного екстрактора другого ступеня, куди в нижню частину подається конденсат зі збірки з датчиком і клапаном. При цьому вихід роторного екстрактора першого ступеня з'єднаний з пристроєм розділу фаз роторного екстрактора першого ступеня, з'єднаного з роздільником другого ступеня, перший вихід якого з'єднаний з верхньою частиною вібраційного екстрактора другого ступеня, а другий вихід з'єднаний зі збіркою [8].

Виходи нижньої частині вібраційного і роторного екстрактора другого ступеня з'єднані з пристроєм розділу фаз вібраційного і роторного екстрактора, з'єднаного зі збіркою для відгону трихлоретилену з води. Вихід верхньої частині вібраційного екстрактора другого ступеня з'єднаний через збірник з насосом для відгону трихлоретилену. При цьому насосом з датчиком витрати і клапаном подають в нижню частину вібраційного екстрактора з датчиком температури для відгону сульфату амонію розчин сульфату амонію зі стадії перегрупування і нейтралізації, причому з нижньої частини потік подається через пристрій подачі слабкого розчину трихлоретилену в середню частину вібраційного екстрактора першого ступеня, а розчин сульфату амонію з верхньої частини вібраційного екстрактора подається в збірник сульфату амонію, при цьому задають витрати лактамного масла на екстрактори першого ступеня і коригують відповідно витрати регенованого і циркуляційного трихлоретилену, конденсату в екстрактори першого і другого ступенів впливом на клапани.

Винахід відноситься до способів виділення і очищення капролактаму з суміші з водою та домішками. Витяг капролактаму проводиться трихлоретиленом з лактамного масла з подальшою реекстракцією капролактаму водою.

Відомий спосіб виділення капролактаму з кубових продуктів його дистиляції при обробці розчином сірчанокислої солі з подальшою нейтралізацією і виділенням капролактаму. Для поліпшення якості і спрощення технологічного процесу обробку проводять при температурі $110 \div$

130 ° C протягом 1 ÷ 5 хв. Домішки відокремлюються на наступній стадії екстракції.

Недоліком вищенаведеного способу є поєднання схеми оксиміровання з очищенням капролактаму та зниження продуктивності при використанні його в промислових умовах.

Найбільш близьким є екстрагування капролактаму органічними розчинниками. Технологічна схема двоступеневої екстракції включає екстрактори, збірники, деемульгатори, холодильники, теплообмінники, відганяючи колони. На першій стадії концентрацію капролактаму підтримують 10 ÷ 12% (мас.), а на другій– до 30% в розчині, при реекстракції капролактаму.

Недоліком цього методу є мала продуктивність по кінцевому продукту і погіршення якості капролактаму по концентрації домішок при поділі органічного та неорганічного шару лактамного масла.

Завданням запропонованого винаходу є підвищення продуктивності та якості капролактаму, а також зниження витратних норм по трихлоретилену.

Поставлена задача способом керування екстракцією капролактаму, проведеного в двох ступенях, з'єднаних між собою трубопроводами при подачі лактамного масла, трихлоретилену та конденсату на екстрактори першого ступеня і реекстракції капролактаму в трихлоретиленом водою на другому ступені з відведенням капролактаму на наступні стадії. Додатково включають насос подачі лактамного масла з датчиком витрати і клапаном, насос подачі регенованого трихлоретилену з датчиком витрати і клапаном, насос подачі циркуляційного трихлоретилену з датчиком витрати і клапаном, пристрій подачі слабкого розчину трихлоретилену в середню частину вібраційного екстрактора першого ступеня з датчиком температури, перший вихід якого з'єднаний трубопроводом подачі рафінату в роторний екстрактор першого ступеня з датчиком температури, а другий вихід його з'єднаний трубопроводом з пристроєм розділу фаз вібраційного екстрактора першого ступеня, з'єднаного трубопроводом з роздільником першого ступеня, перший

вихід якого з'єднаний з верхньою частиною вібраційного і роторного екстрактора другого ступеня з датчиками температури, а другий його вихід з'єднаний з середньою частиною роторного екстрактора другого ступеня, при цьому в верхню частину роторного екстрактора першого ступеня подають регенерований трихлоретилен з датчиком витрати і клапаном. Насос подачі конденсату з датчиком витрати і клапаном: в трубопровід виходу розчину капролактаму в трихлоетилен з вібраційного екстрактора першого ступеня, в трубопровід виходу роторного екстрактора першого ступеня і в трубопровід з датчиком і клапаном в середню частину вібраційного екстрактора другого ступеня, куди в нижню частину подається конденсат зі збірки з датчиком і клапаном, при цьому вихід роторного екстрактора першого ступеня з'єднаний з пристроєм розділу фаз роторного екстрактора першого ступеня, перший вихід якого з'єднаний з верхньою частиною вібраційного екстрактора другого ступеня, а вихід – зі збіркою.

При цьому насосом з датчиком витрати і клапаном по трубопроводу подають в нижню частину вібраційного екстрактора з датчиком температури для відгону сульфату амонію розчин сульфату амонію зі стадії перегрупування і нейтралізації, причому з нижньої частини витрата подається через пристрій подачі слабкого розчину трихлоретилену в вібраційний екстрактор першого ступеня, а розчин сульфату амонію з верхньої частини вібраційного екстрактора подається в збірник для зберігання сульфату амонію, при цьому задають витрати лактамного масла на екстрактор першого ступеня і коригують витрати трихлоретилену, конденсату впливом на відповідні клапани першого та другого ступенів.

Дослідження екстракції капролактаму показали, що для очищення капролактаму від домішок, що входять в сульфат амонію, бензол, фенол (при використанні різних мономерів), а також видалення водорозчинних смол, необхідно використовувати роздільну екстракцію капролактаму з лактамного масла та капролактаму з розчину сульфату амонію. Як екстрагент застосовується трихлоретилен, який менш вибухонебезпечний (наприклад, в

порівнянні з бензолом). Для підвищення продуктивності і якості капролактаму необхідно використовувати вібраційні і роторні екстрактори. При цьому необхідна модернізація існуючого обладнання. Для регулювання рівня розділу фаз в екстракторах вводяться пристрої, що дозволяють виключити проскакування (концентрацію) органічної частини капролактаму по верхньому переливу з екстракторів та проникнення неорганічної частини знизу екстракторів, що зменшує втрати по капролактаму та знижує витрати ТХЕ при очищенні капролактаму. Для рівномірного розподілу ввідних потоків в екстрактори вводиться розподільний пристрій, що дозволяє подавати потоки в різні точки екстракторів. Отже, вищенаведене дозволяє підвищити продуктивність, поліпшити якість капролактаму та знизити витратні норми при отриманні капролактаму.

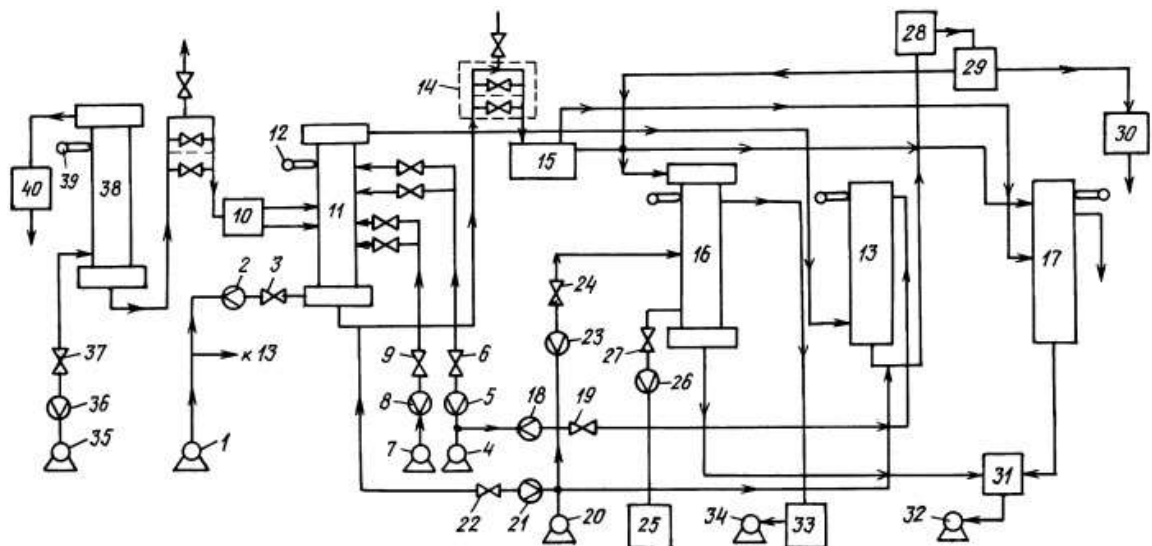


Рисунок 1.2 – Технологічна схема

У систему керування входять елементи 1–41.

- 1 – насос подачі лактамного масла з датчиком витрати 2 і клапаном 3;
- 4 – насос подачі регенованого трихлоретилену з датчиком витрати 5 і клапаном 6;
- 7 – насос подачі циркуляційного трихлоретилену з датчиком витрати 8 і клапаном 9;
- 10 – пристрій подачі слабкого розчину трихлоретилену (що представляє

перфоровані труби -введення один, а всередині два виводи, отвори в яких розподілені в кілька рядів і під різними кутами для максимального і рівномірного розподілу введених потоків трихлоретилену);

11 – вібраційний екстрактор першого ступеня з датчиком температури
12 (параметри: $P = 0,1-0,9$ Мпа і $T = 100$ ° С);

13 – роторний екстрактор першого ступеня з датчиком температури (параметри: $P = 0,1$ Мпа і $T = 45$ ° С);

14 – пристрій розділу фаз вібраційного екстрактора першого ступеня (необхідні пристрої потрібні для відділення органічної частини від неорганічної частини і дозволяють виключити «проскакування» органіки по верхньому переливу з екстрактора і «проскакування» неорганічної частини знизу екстрактора. Регулюється за допомогою вентилів, встановлених у верхній частині трубопроводу і не залежить від навантаження на екстрактор);

15 – роздільник першого ступеня (параметри: $P = 0,1-0,9$ Мпа і $T = 100$ ° С);

16, 17 – вібраційний і роторний екстрактори другого ступеня з датчиками температури;

18 – датчик витрати регенованого розчинника і клапан 19;

20 – насос подачі конденсату для наступних позицій: датчик витрати 21 і клапан 22 в трубопровід виходу розчину капролактаму в трихлоретиленому з вібраційного екстрактора першого ступеня і в трубопровід виходу розчину капролактаму в трихлоретиленому з роторного екстрактора першого ступеня 13, а також подача конденсату в трубопровід з датчиком 23 і клапаном 24 у середню частину вібраційного екстрактора другого ступеня 16, в нижню частину якого подається конденсат зі збірки 25 з датчиком витрати 26 і клапаном 27;

28 – пристрій розділу фаз роторного екстрактора першого ступеня 13 (працює аналогічно пристрою 14);

29 – роздільник другого ступеня;

30 – збірник;

31 – пристрій розділу фаз вібраційного і роторного екстрактора (працює аналогічно пристроям 14, 28);

32 – збірник трихлоретилену і води;

33 і 34 – збірник і насос для відгону трихлоретилену;

35 – насос подачі сульфату амонію зі стадії перегрупування і нейтралізації з датчиком витрати 36 і клапаном 37;

38 – вібраційний екстрактор з датчиком температури 39;

40 – збірник для зберігання сульфату амонію.

Для керування використовують контролер 41, з'єднаний з входами датчиків 2, 5, 8, 12, 18, 21, 23, 26, 36, 37 і виходами клапанів 3, 6, 8, 19, 22, 24, 27, 37, утворюючи контури регулювання. При виході з ладу контролера 41 керування ведеться оператором.

Лактамне масло насосом 1 через контур автоматичного регулювання 2, 3 (датчик витрата 2 і клапан 3) безперервно подається в нижню частину вібраційного екстрактора 11 (при необхідності в роторний екстрактор 13). У верхню частину екстрактора 11 в різні по висоті місця подається регенерований трихлоретилен (ТХЕ) від насоса 4, витрата якого регулюється (контур регулювання 5, 6) і циркуляційний ТХЕ від насоса 7 (контур регулювання 8, 9). У середню частину екстрактора 11 через пристрій подачі слабкого ТХЕ 14 (один вхід і два виходи) подається слабкий розчин ТХЕ в лактамів [9].

Вібраційний екстрактор 11 (аналогічно влаштовані екстрактори 16 і 38) являє собою вертикальний циліндричний апарат з верхньою та нижньою відстійними зонами, по вертикальній вісі яких розташований вал із зібраними тарілками, що мають просічки. Обертальний рух шківів електродвигуна перетворюється в зворотно-поступальний рух валу і тарілок по вертикальній вісі апаратів. В екстракторі 11 лактамне масло і трихлоретилен рухаються протитечією. Проходячи просічки «вібруючих тарілок», рідинні потоки дробляться і переходять в мілко-дисперсний стан, що веде до збільшення поверхні контактів компонентів. При цьому капролактан (КЛ) розчиняється в

ТХЕ та відбувається розшарування розчину капролактаму в ТХЕ і водного залишку. Водний залишок (рафінад) зверху екстрактора 11 надходить в нижню частину роторного екстрактора 13, що представляє собою вертикальний циліндричний апарат з обертовим ротором (аналогічно влаштований екстрактор 17). Для вилучення капролактаму, що уноситься рафінадом, в верхню частину екстрактора 13 подається насосом 4 регенерований ТХЕ, витрата якого регулюється контуром 18,19. Екстрактор 13 працює аналогічно екстрактора 11. Температура в екстракторах 11 і 13 контролюється датчиком 12 (умовно датчик температури в екстракторі 13 не пронумерований). Водний залишок, очищений від капролактаму (рафінад) з верхньої частини екстрактора 13 самопливом надходить до друку та далі на випарну колону (умовно не показані) для відгону ТХЕ. Розчин капролактаму в ТХЕ з концентрацією не більше 19% (мас.) і температурою не більше 50 ° С з нижньої частини екстракторів 11 і 13 через пристрій 14 розділу фаз вібраційного екстрактора 11 (має від 2 до 5 вентилів і залежить від навантаження на екстрактор) в роздільник 15 першого ступеня і через пристрій 28 розділу фаз роторного екстрактора першого ступеня в роздільник 29 другого ступеня [10].

Для відмивання розчину капролактаму в ТХЕ від сульфату амонію і водно-розчинних домішок в лінію виходу розчину капролактаму в ТХЕ з екстракторів 11 і 13 подається конденсат від насоса 20, кількість конденсату вимірюється і регулюється контуром 21,22. Верхній шар розчину сульфату амонію і капролактаму в воді з роздільник 15 відводиться в середню частину роторного екстрактора 17. Верхній шар з роздільник 29 відводиться в збірник 30. Нижній шар розчину капролактаму в ТХЕ з роздільників 15 і 29 надходять у верхню частину віброекстрактора 16 і в роторний екстрактор 17. У нижню частину екстракторів 16 і 17 подається конденсат або без солі вода зі збірки 25, який регулюється контуром 26, 27 при цьому конденсат охолоджується і потім направляється в збірник 25. У середню частину екстрактора 16 подається насосом 20 конденсат сокового пару (з інших стадій), який

регулюється контуром 23,24. Рухомий протivotоком розчин капролактаму в ТХЕ і конденсат перемішуються, при цьому капролактаму екстрагується водою. Трихлоретилен з вмістом капролактаму не більше 1% від низу до екстракторів 16 і 17 через пристрій 31 розділу фаз вібраційного і роторного екстрактора відводиться в збірник трихлоретилену і води 32. Водний розчин капролактаму з концентрацією 22 ÷ 32% зверху екстрактора 16 надходить до збірки 33, звідки насосом 34 на установку відгону ТХЕ з розчинів лактом-води.

Водний розчин капролактаму зверху (верхня частина) екстрактора 17 самопливом надходить до збірників (умовно не показані). При цьому передбачена подача легко-летучої фракції стадії дистиляції для зниження навантаження на стадію екстракції. Екстракція капролактаму з розчину сульфату амонію здійснюється трихлоретиленом в вібраційному екстракторі 38. Розчин сульфату амонію з температурою не більше 50 ° С і вмістом капролактаму не більше 1,5% з збірок стадії перегрупування і нейтралізації насосом 35 подають в нижню частину екстрактора 38, витрата регулюється контуром 36, 37. В екстракторі 38 рухомий протivotоком розчин сульфату амонію і трихлоретилен перемішуються, при цьому капролактаму розчиняється в трихлоретилені. Розчин капролактаму в ТХЕ з нижньої частини екстрактора 38 через пристрій розділу фаз (умовно не пронумеровано) і пристрій 10 подачі слабкого розчину ТХЕ подається в екстрактор 11.

Температура в екстракторі 38 контролюється датчиком 39. Розчин сульфату амонію з верхньої частини екстрактора 38 надходить в роздільник 40, де від нього віддаляється віднесений ТХЕ. Нижній шар ТХЕ з роздільника 40 періодично дренається та відводиться в збірник. Верхній шар розчину сульфату амонію, що містить капролактаму не більше 0,4% і ТХЕ не більше 0,06%, самопливом направляють у відділення підготовки сировини.

1.3 Вибір параметрів, що підлягають контролю і регулюванню

Основними параметрами, що підлягають контролю є температура, кислотність та витрати води. Детальна інформація наведена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Параметри, що підлягають контролю і регулюванню

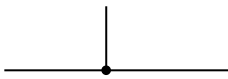

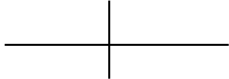
Найменування параметру	Одиниця виміру	Номінальне значення. Межа зміни	Контроль	Регулювання
Температура реакційної суміші на виході циркуляційного холодильника	° С	35–45	Так	Так
Температура зворотної оборотної води	° С	35–45	Так	–
Температура прямої оборотної води	° С	20–25	Так	–
Температура реакційної суміші на вході циркуляційного холодильника	° С	40–50	Так	–
Температура реакційної суміші в реакторі нейтралізаторі	° С	40–50	Так	–
Кислотність аміачної води	pH	4,5–6	Так	Так
Витрата технологічної води	м ³ /год	3–14	Так	Так

1.4 Основні вимоги до розробки автоматизованої системи

Схеми автоматизації є основними кресленнями, що відображають ідеологію побудови системи автоматичного контролю й керування технологічним процесом. Систему автоматизації на цих схемах представляють у вигляді функціональних блоків автоматичного контролю, керування й регулювання, які дають повне уявлення про обсяг автоматизації, включаючи обчислювальну й мікропроцесорну техніку. На схемі автоматизації зображають: технологічне устаткування, комунікації, органи керування, прилади й засоби автоматизації, а також зв'язки між ними, засоби телемеханіки, мікропроцесорної й обчислювальної техніки [15].

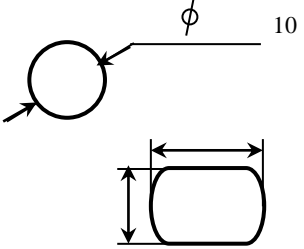

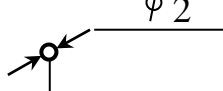
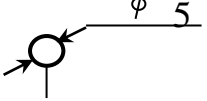
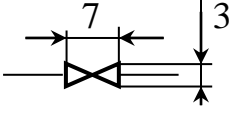
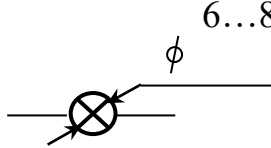
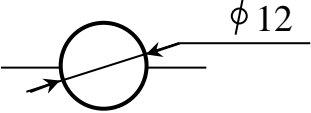
На технологічному устаткуванні й комунікаціях умовними позначками показують основні запірні й регулюючі органи, що необхідно для визначення відносного розташування відборів сигналів або з'ясування необхідності вимірювання.

Таблиця 1.3 – Умовні зображення з'єднання трубопроводів

Найменування	Позначення	
З'єднання трубопроводів		
Перетинання трубопроводів		

Основні умовні позначки приладів та засобів автоматизації за нормативними документами наведені в таблиці 1.4. У верхній частині кола проставляють літерні позначення вимірюваної величини й функціональної ознаки приладу, у нижній – позиційне позначення (цифрове або літерно-цифрове), що служить для нумерації елемента в схемі.

Таблиця 1.4 – Умовні графічні позначення приладів за ДСТУ 21.404–85

Найменування	Позначення
Первинний вимірювальний перетворювач (датчик) – прилад, встановлений по місцю: на технологічному трубопроводі, апарату, стіні, підлозі, колоні, металоконструкції (товщина лінії 0,5...0,6 мм)	<p>а) базове </p> <p>б) що допускається 10</p>
Прилад, встановлений на щиті, пульті (товщина горизонтальної лінії 0,2...0,3 мм)	<p>а) базове </p> <p>б) що допускається</p>
Добірний пристрій без постійного підключення приладу	
Місце розташування точки виміру параметра на технологічному об'єкті	
Виконавчий механізм (загальне позначення)	
Регулювальний орган (заслінка, шибер, клапан тощо)	
Дзвінок електричний	
Арматура (лампа) сигнальна	
Електродвигун	

Функціональну схему автоматизації виконують, як правило, на одному аркуші. Найменування схеми, що відповідає її змісту, пишуть у штампі – у правому нижньому куті креслення. Наприклад, «Регенеративний нагрівальний колодязь. Функціональна схема автоматизації». Над штампом розміщують таблицю умовних позначень, які не передбачені стандартом. Над цією таблицею розташовують пояснювальний текст (при необхідності) та експлікацію (специфікацію) елементів схеми.

Основні літерні умовні позначки вимірюваних величин і функцій, виконуваних приладом, наведені у таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Основні літерні умовні позначки вимірюваних величин та функцій, що виконуються приладом

	Вимірювана величина		Відображення інформації	Функціональна ознака	
	Основне позначення	Додаткове позначення		Формування вихідного сигналу	Додаткове значення
1	2	3	4	5	6
A	–	–	сигналізація	–	–
B	горіння	–	–	–	–
C	–	–	–	регулювання й керування	–
D	щільність	різниця	–	–	–
E	електрична величина	–	чутливий елемент	–	–
F	витрата	співвідношення, частка	–	–	–
G	розмір, положення, переміщення	–	–	–	–

Продовження таблиці 1.5

1	2	3	4	5	6
H	ручний вплив	–	–	–	верхня межа
I	–	–	індикація	–	–
J	–	перемикання, обіг	–	–	–
K	час	програма	–	станція керування	–
L	рівень	–	–	–	нижня межа
M	вологість	–	–	–	–
P	тиск, вакуум	–	–	–	–
Q	якість, склад	інтегрування	–	–	–
R	радіоактивність	–	реєстрація	–	–
S	швидкість, частота	–	–	перемикання, блокування	–

Висновки за розділом

Розглянуто процес отримання капролактаму на стадії синтезу технологічного потоку. Визначені основні стадії технологічного проекту. Основними параметрами, що підлягають контролю є температура, кислотність та витрати води. На даний час регулювання цих параметрів потребує більш високої точності.

РОЗДІЛ 2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Алгоритм розробки функціональної схеми автоматизації

Технологічне обладнання та комунікації при розробці функціональних схем зображено спрощено без вказівки окремих технологічних апаратів і трубопроводів допоміжного призначення. Технологічна схема повинна дати чітке уявлення про принцип її роботи і взаємодії із засобами автоматизації. На технологічних трубопроводах зазвичай показують регулюючу та запірну арматуру, яка безпосередньо бере участь у контролі та управлінні процесом, а також запірні та регулюючі органи, необхідні для визначення відносного розташування місць відбору імпульсів або пояснюючі необхідність вимірів.

Технологічні апарати та трубопроводи допоміжного призначення показують тільки у випадках, коли вони механічно з'єднуються або взаємодіють із засобами автоматизації. В окремих випадках деякі елементи технологічного обладнання допускається зображати на функціональних схемах у вигляді прямокутників із зазначенням найменування цих елементів чи не показувати взагалі.

Поряд із датчиками, відбірних, прийомних та інших подібних за призначенням пристроїв слід вказувати найменування того технологічного обладнання, до якого вони належать. Технологічні комунікації та трубопроводи рідини і газу зображують умовними позначеннями відповідно до державних стандартів України.

Для більш детальної вказівки характеру середовища до цифрового позначення може додаватися буквенний індекс, наприклад вода чиста – 1 ч, пар перегрітий – 2 п, пар насичений – 2 н тощо. Умовні числові позначення трубопроводів слід проставляти через відстані 50 мм.

Якщо позначення трубопроводів на технологічних кресленнях не стандартизовані, то на функціональних схемах автоматизації слід застосовувати умовні позначення, прийняті в технологічних схемах.

У зображеннях технологічного обладнання, окремих його елементів та трубопроводів слід давати відповідні написи, що пояснюють (найменування технологічного обладнання та його номер), а також вказувати стрілками напрямком потоків. Окремі агрегати та установки технологічного устаткування можна показувати відірвано один від одного з відповідними вказівками на їх взаємозв'язок. На трубопроводах, на яких передбачається установка відбірних пристроїв і регулюючих органів, вказують діаметри умовних проходів.

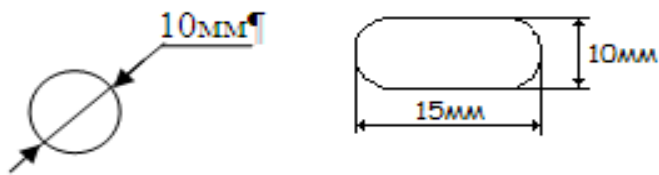


Рисунок 2.1– Позначення приладу

У окружності або овалі (позначення приладу) у верхній частині на першому місці вписується вимірюваний параметр, далі йдуть функції приладу по відображенню параметра та функції приладу по формуванню вихідного сигналу. У нижній же частині позначається позиційне позначення приладу на схемі (літери або цифри).

Для позначення фізичних параметрів прийняті наступні літери:

D–щільність;

E–будь-яка енергетична величина (конкретна величина вказується в верху з правого боку кола);

F–витрата;

G–розмір переміщення положення;

H–ручне керування;

K–тимчасова діаграма;

L–рівень;

M–вологість;

P–тиск;

Q–концентрація, склад, якість (праворуч від кола у верхній частині вказується назва вимірюваного параметра);

R–радіоактивність;

S–швидкість, частота обертання;

T–температура;

U–кілька різнорідних величин;

V–в'язкість;

W–вага, маса.

Потім проставляють уточнюючі позначення:

D, d–перепад, різниця;

F, f–частка, дріб, співвідношення;

J, j– відгинання, автоматичне перемикання;

Q, q–підсумовування, інтегрування за часом.

Функції, що виконуються приладом по відображенню інформації:

I – показуючий;

R – реєструючий, записуючий;

A – сигналізуєчий;

C – регулювання;

S – включення, виключення, перемикання, але не функції регулювання.

Позиційні позначення приладів та засобів автоматизації.

Всім приладам і засобам автоматизації, зображеним на функціональних схемах, присвоюються позиційні позначення (позиції), що зберігаються в усіх матеріалах проекту. На стадії проекту позиційні позначення виконують арабськими цифрами відповідно до нумерації та заявочної відомості приладів, засобів автоматизації і електроапаратури. На стадії робочої документації при одно-стадійному проектуванні позиційні позначення приладів і засобів автоматизації утворюються з двох частин. Арабськими цифрами позначаються номери функціональної групи, а малими літерами українського алфавіту позначаються номери приладів та засобів автоматизації в даній функціональній групі. Позначення літерами присвоюються кожному елементу функціональної групи в порядку алфавіту в залежності від послідовності проходження сигналу – від пристроїв отримання інформації до пристроїв

впливу на керований процес. Позиційні позначення окремих приладів і засобів автоматизації, таких як регулятор прямої дії, манометр, термометр тощо, складаються тільки з порядкового номера. Позиційні позначення повинні присвоюватися всім елементам функціональних груп, за винятком:

- а) відбірних пристроїв;
- б) приладів із засобів автоматизації, що поставляються комплектно з технологічним обладнанням;
- в) регулюючих органів і виконавчих механізмів, що входять до складу системи автоматичного керування, але на стадії замовлення та виготовлення в технологічних частинах проекту. Позначення на функціональних схемах електроапаратури на стадії робочої документації або при одно-стадійному проектуванні повинні відповідати позначенням, прийнятим в принципових електричних схемах.

При визначенні меж кожної функціональної групи слід враховувати таку обставину: якщо який-небудь прилад або регулятор пов'язаний з декількома датчиками або отримує додаткові впливи під іншим параметром (наприклад, коригувальний сигнал), то всі елементи схеми, які здійснюють додаткові функції, відносяться до тієї функціональної групи, на яку вони впливають.

Регулятор співвідношення, зокрема, входить до складу тієї функціональної групи, на яку оказує провідний вплив але незалежному параметру. Те саме можна відносити до прямого цифрового керування, де вхідним ланцюгам контуру регулювання присвоюється одна і та ж позиція.

В системах централізованого контролю із застосуванням обчислювальної техніки, в схемах телевимірювання, в складних схемах автоматичного керування із загальними для різних функціональних груп пристроями всі загальні елементи виносяться в самостійні функціональні групи.

Позиційні позначення в функціональних схемах проставляють поруч з умовними графічними позначеннями приладів та засобів автоматизації (з правого боку або над ними).

Результатом складання функціональних схем є:

- 1) вибір методів вимірювання технологічних параметрів;
- 2) вибір основних технічних засобів автоматизації, що повністю відповідають вимогам та умовам роботи об'єкта, що автоматизується;
- 3) визначення приводів виконавчих механізмів регулюючих і запірних органів технологічного обладнання, керованого автоматично або дистанційно;
- 4) розміщення засобів автоматизації на щитах, пультах, технологічному обладнанні та трубопроводах тощо та визначення способів подання інформації про стан технологічного процесу та обладнання.

Сучасний розвиток всіх галузей промисловості характеризується великою різноманітністю використовуваних в них технологічних процесів.

Практично не обмежені умови їх функціонування і вимоги з керування та автоматизації. Однак, спираючись на досвід проектування систем керування та автоматизації, можна сформулювати загальні принципи розробки функціональних схем автоматизації:

1) рівень автоматизації технологічного процесу визначатися не тільки доцільністю впровадження певного комплексу технічних засобів та досягнутим рівнем науково-технічних розробок, а також перспективою модернізації та розвитку технологічних процесів. Повинна зберігатися можливість нарощування функцій керування;

2) при розробці функціональних схем автоматизації та виборі технічних засобів повинні враховуватися: вид і характер технологічного процесу, умови пожежо- та вибухонебезпечні, агресивність і токсичність навколишнього середовища тощо; параметри і фізико-хімічні властивості вимірюваного середовища; відстань від місць установки датчиків, допоміжних пристроїв, виконавчих механізмів, приводів машин і запірних органів до пунктів керування і контролю; необхідна точність і швидкодія засобів автоматизації;

3) система автоматизації технологічних процесів повинна будуватися на базі серійно випускаючих засобів автоматизації та обчислювальної техніки. Необхідно застосовувати однотипні засобів автоматизації та уніфіковані

системи, які характеризуються простотою поєднання, взаємозамінністю і зручністю компонування на щитах керування. Використання однотипної апаратури дає значні переваги при монтажі, наладці, експлуатації, забезпечення запасними частинами тощо;

4) в якості локальних засобів збору та накопичення первинної інформації (автоматичних датчиків), вторинних приладів, регулюючих та виконавчих пристроїв слід використовувати прилади та засоби автоматизації Державної системи промислових приладів (ДСПП);

5) у випадках, коли функціональні схеми автоматизації не можуть бути побудовані на базі тільки серійної апаратури, в процесі проектування видаються відповідні технічні завдання на розробку нових засобів автоматизації;

б) вибір засобів автоматизації, що використовують допоміжну енергію (електричну, пневматичну і гідравлічну), визначається умовами пожежо- та вибухонебезпечними автоматизуемого об'єкту, агресивності навколишнього середовища, вимог до швидкодії, дальності передачі сигналів інформації та керування тощо;

7) кількість приладів, апаратури керування та сигналізації, яка встановлюється на оперативних щитах і пультах, має бути обмежена. Надлишок апаратури ускладнює експлуатацію, відволікає обслуговуючий персонал від спостереження за основними приладами, що визначають хід технологічного процесу, збільшує вартість установки та терміни монтажних та налагоджувальних робіт.

2.2 Розробка функціональної схеми автоматизації

Функціональні схеми роз'яснюють певні процеси, що протікають в окремих функціональних колах виробу або у виробі безпосередньо. Цими схемами користуються для вивчення принципів роботи виробу, а також при їх наладці, контролі, ремонті.

Функціональна схема в порівнянні з структурною більш детально розкриває функції окремих елементів і пристроїв.

Функціональні схеми є основним технічним документом, що визначає функціонально-блокову структуру окремих вузлів автоматичного контролю, керування і регулювання технологічного процесу та оснащення об'єкта керування приладами і засобами автоматизації (в тому числі засобами телемеханіки та обчислювальної техніки).

Об'єктом керування в системах автоматизації технологічних процесів є сукупність основного та допоміжного обладнання разом з вбудованими в нього запірними і регулюючими органами, а також енергії, сировини та інших матеріалів, які визначаються особливостями використовуваної технології.

Завдання автоматизації вирішуються найефективніше тоді, коли вони опрацьовуються в процесі розробки технологічного процесу.

У цей період нерідко виявляється необхідність зміни технологічних схем з метою пристосування їх до вимог автоматизації, встановленими на підставі техніко-економічного аналізу.

Створення ефективних систем автоматизації зумовлює необхідність глибокого вивчення технологічного процесу не тільки проектувальниками, а й фахівцями монтажних, налагоджувальних та експлуатаційних організацій.

При розробці функціональних схем автоматизації технологічних процесів необхідно вирішити наступне:

- отримання первинної інформації про стан технологічного процесу і обладнання;
- безпосередній вплив на технологічний процес для керування ним;
- стабілізація технологічних параметрів процесу;
- контроль та реєстрація технологічних параметрів процесів і стану технологічного обладнання.

Капролактам використовується, в основному, для отримання поліамідних пластмас, волокон. Основна частина світового споживання

припадає на нитки і волокна, у виробництво конструкційних пластмас та для виготовлення пакувальних плівок та інших матеріалів.

Поліамідні волокна і нитки, як правило, застосовуються у виробництві текстилю, килимових покриттів, промислових ниток для виготовлення шинного корду. Кордна нитка – перспективний сегмент ринку ПА6.

Смола ПА6 також використовується у виробництві конструкційних пластиків, використовуваних для виробництва компонентів електронної та електричної техніки, автомобільних деталей. У пакувальній галузі застосовується орієнтована поліамідна плівка, також виготовлена на основі смоли ПА6.

Невеликі обсяги капролактаму йдуть на синтез лізину, а також в якості агенту у виробництві поліуретану.

Розглянемо процес отримання капролактаму на стадії синтезу технологічного потоку А, на підприємстві ВАТ «Гродно Азот».

Перегрупований продукт 3 дозрівач поз. 1 надходить в реактор нейтралізації поз. 3 (обсяг 2,5 м³), який обладнаний не глухою вертикальною перегородкою для виключення попадання не продукту, що не прореагував, далі по технологічному ланцюжку в сепаратор.

Нейтралізація продукту, що прореагував в реакторі поз. 3, ведеться аміачною водою за показником рН від 4,5 до 6,0 од. рН (поз. ЗІС 7-3). Таке значення рН є оптимальним для найкращого поділу суміші, отриманої після нейтралізації і складається з лактамного «масла» і сульфату амонію. Процес нейтралізації здійснюється при температурі від 40 ° С до 50 ° С. При більш високій температурі відбувається гідроліз лактамного «масла» в ε-амінокапронову кислоту, що знижує вихід корисного продукту.

Температура в реакторі нейтралізації поз. 3 підтримується за рахунок циркуляції реакційної суміші насосом поз. 4 через холодильник поз. 2 (площа теплообміну 434 м²) назад в реактор нейтралізації поз. 3 над вертикальною перегородкою та контролюється за показаннями приладу поз. ПІР 1-3.

Температура циркуляційної суміші після холодильника від 35°C до 45°C регулюється клапаном, встановленим на виході оборотної води з холодильника поз. 2.

В реактор нейтралізації поз. 3 може подаватися водний залишок (рафінад) зі збірки і лактом-вода – нижній шар сепаратора, а також обезсолена вода з колектора знесоленої води. В реактор нейтралізації поз. 3 постійно надходить лактом-вода – нижній шар сепаратора стадії екстрагування.

З реактора нейтралізації поз. 3 суміш самопливом надходить в сепаратор (обсяг 4 м^3), в якому відбувається поділ продуктів нейтралізації, що складаються з лактамного «масла» та розчину сульфату амонію. Щільність розчину сульфату амонію в межах від $1\,215$ до $1\,235\text{ кг/м}^3$ контролюється за показаннями приладу і підтримується витратою процесної води від 3 до $14\text{ м}^3/\text{год}$ (приладом поз. FRC 8-3) в реактор нейтралізації поз. 3. Витрата процесної води встановлюється за завданням. При щільності розчину сульфату амонію більше $1\,235\text{ кг/м}^3$ виникає небезпека кристалізації сульфату амонію в обладнанні вузла нейтралізації. Щільність менше $1\,215\text{ кг/м}^3$ призводить до погіршення поділу лактамного «масла» і розчину сульфату амонію.

Рівень поверхні розділу фаз в сепараторі в межах від 30% до 50% регулюється автоматично за завданням регулятором видачі розчину сульфату амонію з масовою часткою лактаму близько 2%, насосом в екстрактор стадії екстрагування. В лінію всмоктування насоса врізана лінія для відкачування водного шару (мікро-відмивка) зі збірки лактам-бензолу.

Для кращого поділу продуктів, кислотність лактамного «масла» в сепараторі підтримується в межах від 3 до 30 ммоль/кг за рахунок подачі аміачної води на всмоктування насосів. При лужному середовищі в сепараторі виникає стійка емульсія лактамного «масла» з розчином сульфату амонію, що призводить до порушення НТР на стадії бензольної екстракції, погіршення якості лактаму, забруднення розчину сульфату амонію лактамів. Підвищена кислотність в сепараторі призводить до підвищення електропровідності

розчину лактаму на стадії екстрагування і погіршення якості готового продукту.

Лактамне «масло» з верхньої частини сепаратора по переливу надходить до збірника (обсяг 25 м³), звідки насосом подається в екстрактор. У разі потрапляння розчину сульфату амонію до збірника, розчин можна повернути насосом в реактор нейтралізації.

При порушенні одного з показників, що характеризують якість лактамного «масла» в збірнику, схемою передбачена можливість відкачування вмісту збірника в дренажний збірник.

До збірника лактамного «масла» подається лактам-вода – нижній шар сепаратора стадії дистиляції бензолу, передбачена подача і нижнього шару з сепаратора. Крім цього існує можливість приймати лактам-воду (розчинений некондиційний лактам) зі збірника корпусу 2011.

Конденсат пару тиском не більше 0,6 МПа зі змійовика дренажного збірника і з змійовика дренажної ємності надходить в збірник конденсату.

2.3 Опис контурів контролю та регулювання

Контур регулювання температури реакційної суміші на виході циркуляційного холодильника (1).

Дане регулювання необхідно для підтримки коректного ходу технологічного процесу. Як датчик температури використовується мідний термометр опору ТСМ Метран-203 (50М) (1–1). Далі сигнал надходить на вхід термоперетворювача ТСПУ Метран-276 (1–2), після якого на виході виходить стандартний струмовий сигнал 4–20 мА. Сигнал з термоперетворювача надходить на вхід показуючого та реєструючого приладу Метран-910 (1–3), після якого передається в операторську по засобу інтерфейсу «струмова петля» і на регулятор Omron E5CN-CMT-500 (1–4). Після обробки отриманої інформації сигнал з регулятора посилається на пусковий пристрій ПБР-3а (1–5) за рахунок чого і здійснюється керування ВМ. В якості ВМ був обраний

виконавчий привід ГЕРЦ 1 7712 62 (1–6), призначений для установки на трубопроводах з метою безперервного регулювання витрати робочого середовища.

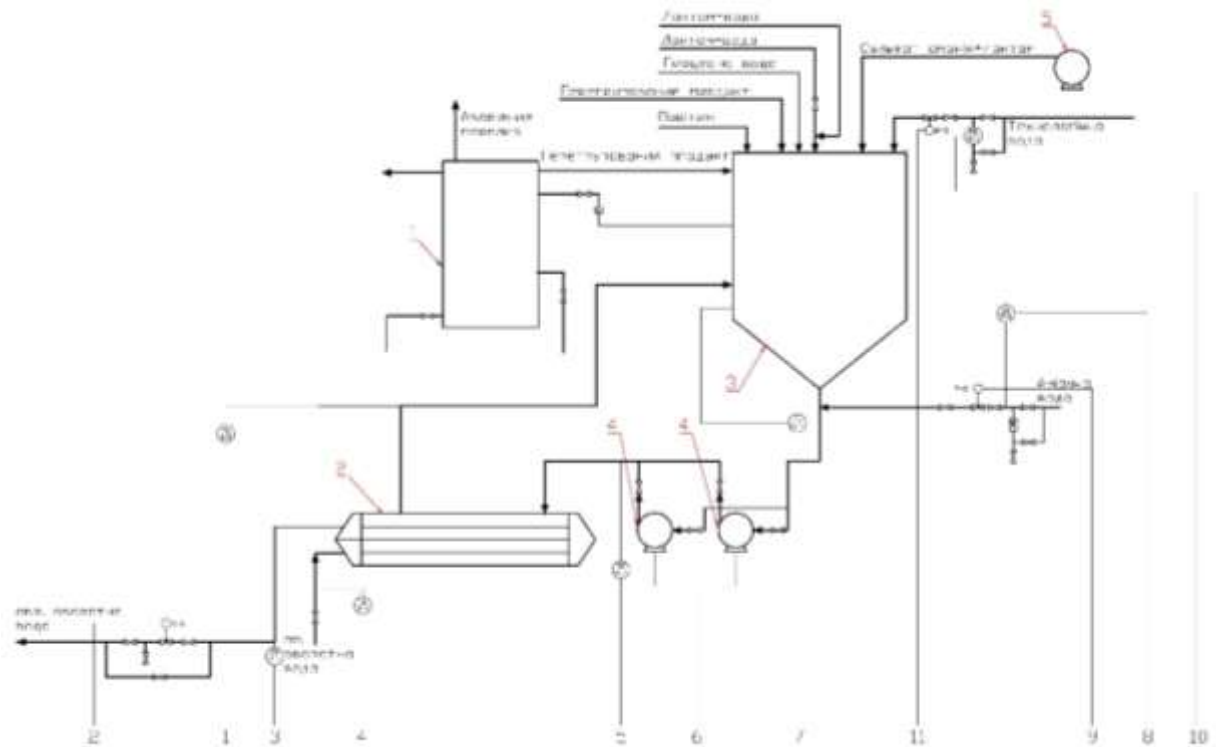


Рисунок 2.2 – Функціональна схема системи автоматизації

Контур контролю температури зворотної оборотної води (2).

Необхідність контролю даного параметра обумовлена особливістю технологічного процесу. Як датчик температури застосований ТСП Метран-203 (50М) (2–1). Далі сигнал надходить на перетворювач сигналу термометра опору в уніфікований сигнал постійного струму 4–20 мА ТСПУ Метран-276 (2–2). Струмовий сигнал подається на вхід реєстратора з цифровою індикацією моделі Метран-910 (2–3). Після якого передається в операторську по засобу інтерфейсу «струмова петля».

Контур контролю температури прямої оборотної води (3).

Необхідність контролю даного параметра обумовлена особливістю технологічного процесу. Як датчик температури застосований ТСП Метран-203 (50М) (3–1). Далі сигнал надходить на перетворювач сигналу термометра

опору в уніфікований сигнал постійного струму 4–20 мА ТСПУ Метран-276 (3–2). Струмовий сигнал подається на вхід реєстратора з цифровою індикацією моделі Метран-910 (3–3). Після якого передається в операторську по засобу інтерфейсу «струмова петля».

Контур контролю температури реакційної суміші на вході циркуляційного холодильника (4).

Необхідність контролю даного параметра обумовлена особливістю технологічного процесу. Як датчик температури застосований ТСП Метран-203 (50М) (4–1). Далі сигнал надходить на перетворювач сигналу термометра опору в уніфікований сигнал постійного струму 4–20 мА ТСПУ Метран-276 (4–2). Струмовий сигнал подається на вхід реєстратора з цифровою індикацією моделі Метран-910 (4–3). Після якого передається в операторську по засобу інтерфейсу «струмова петля».

Контур переходу на ручне керування (5).

Якщо необхідно переключення циркуляційних насосів поз.4 в ручний режим передбачений блок ручного керування БРУ 32 (5–1) та сигналізуючий про перехід в ручний режим пристрій (5–2).

Контур контролю температури реакційної суміші в реакторі нейтралізаторі (6).

Необхідність контролю даного параметра обумовлена особливістю технологічного процесу. Як датчик температури застосований ТСП Метран-203 (50М) (6–1). Далі сигнал надходить на перетворювач сигналу термометра опору в уніфікований сигнал постійного струму 4–20 мА ТСПУ Метран-276 (6–2). Струмовий сигнал подається на вхід реєстратора з цифровою індикацією моделі Метран-910 (6–3). Після якого передається в операторську по засобу інтерфейсу «струмова петля».

Контур регулювання кислотності аміачної води (7).

Дане регулювання необхідно для підтримки коректного ходу технологічного процесу. Як датчик кислотності використовується скляний електрод Kelilong E201 (7–1), який на виході надає інформацію у вигляді

дискретного діапазону 0–14 рН. Потім сигнал надходить на комплексний пристрій Create PH-662 (7–2 та 7–3), який перетворює його в уніфікований сигнал постійного струму 4–20 мА, відображає його на 11 сегментному дисплеї і реєструє отриманий параметр, після якого передається в операторську по засобу інтерфейсу «струмова петля», а потім відбувається контроль. Далі сигнал надходить на електро-пневмоперетворювачі ІРС-21 (7–4), де зі стандартного струмового, перетворюється в пневмосигнал, а потім потрапляє на пневмо ІМ (7–5).

Контур регулювання витрати технологічної води (8).

Дане регулювання необхідно для підтримки коректного ходу технологічного процесу. Як датчик витрати використовується Метран 3095MV (8–1) уніфікований струмовий сигнал після якого комплексний прилад контролю і індикації/реєстрації витрати Метран-350Р (8–2 і 8–3). Далі сигнал направляєється в операторську по засобу інтерфейсу «струмова петля». Після обробки отриманої інформації сигнал з регулятора посилається на пусковий пристрій ПБР-3а (8–4) за рахунок чого і здійснюється керування ВМ. В якості ВМ був обраний виконавчий привід ГЕРЦ 1 7712 62 (8–5), призначений для установки на трубопроводах з метою безперервного регулювання витрати робочого середовища.

2.4 Вибір вторинних приладів і регуляторів

Вибір вторинних приладів і регуляторів представлений в таблиці 2.1. В таблиці представлено призначення приладу, найменування і тип приладу, технологічна характеристика та кількість приладів.

Вказаний позитивний вплив автоматизації виявляється у тій чи іншій мірі в залежності від технічного рівня виробництва, його машинно-апаратної схеми, характеру технології, рівня і об'єму запроектованої системи автоматизації.

Таблиця 2.1– Вторинні прилади та регулятори

№	Призначення приладу	Найменування і тип приладу	Технологічна характеристика	Кількість, штук
1-2 2-2 3-2 4-2 6-2	Термоперетворювач	ТСПУ Метран-276	Вихід 4–20 мА	5
1-3 2-3 3-3 4-3 6-3	Прилад індикації та реєстрації	Метран-910	Вхід 4–20 мА	5
7-2 і 7-3	Комплексний прилад контролю і індикації / реєстрації рН	Create PH-662	Вихід 4–20 мА	1
8-2 і 8-3	Комплексний прилад контролю і індикації / реєстрації витрати	Метран-350Р	Вихід 4–20 мА	1
1-4	Прилад автоматичного регулювання температури	Omron E5CN- СМТ-500	Вихід 0–10 В	1
7-4	Електро-пневмоперетворювач	ІРС-21	Вхід 4–20 мА Вихід 20-100 кПа	1

2.5 Короткий опис і основні характеристики обраних приладів

Аналоговий перетворювач температури з уніфікованим вихідним сигналом ТСПУ Метран-276 [20].



Рисунок 2.3– ТСПУ Метран-276

Призначені для вимірювання температури нейтральних та агресивних середовищ, по відношенню до яких матеріал захисної арматури є корозійностійким. Чутливий елемент первинного перетворювача і вбудований в головку датчика вимірювальний перетворювач перетворює вимірювану температуру в уніфікований вихідний сигнал постійного струму, що дає можливість побудови АСУТП без застосування додаткових нормуючих перетворювачів.

Основні особливості:

– Вихідний сигнал 4–20 мА.

Первинні перетворювачі:

– 100М, 50М з можливістю вимірювання температури до 180 ° С;

– Pt100, з можливістю вимірювання температури до 500 ° С;

– ТХА (к) з можливістю вимірювання температури до 1000 ° С;

– жароміцні і корозійностійкі захисні арматури;

– вибухозахищені виконання Exd або Exi.

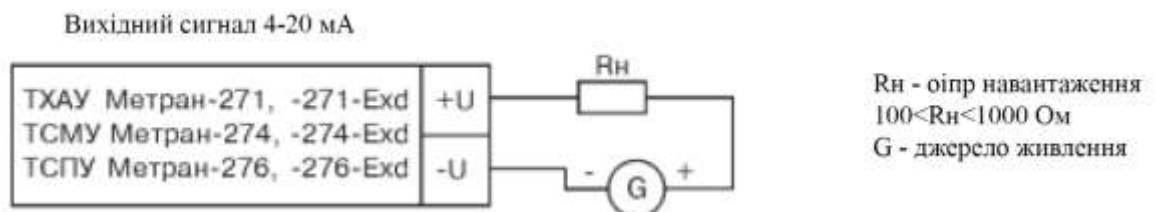


Рисунок 2.4– Схема зовнішніх підключень ТСПУ Метран-276 по струмовій петлі

Таблиця 2.2– Параметри ТСПУ Метран-276 в різному виконанні

Тип і виконання термоперетворювача	ТСПУ Метран-276	ТСПУ Метран-276-Exia ТСПУ Метран-276-Exd
НСХ	100П, Pt100	
Вихідний сигнал, мА	0–5; 4–20	4–20
Діапазон перетворюючих температур, °С	-50...100,-50...150,0...150,0...50,- 50...50,0...100,0...200,0...300, 0...400,0...500	
Допустима приведена похибка, $\pm \psi$, %	0,25; 0,5	
Залежність вихідного сигналу від температури	лінійна	

Прилад індикації та реєстрації Метран – 910



Рисунок 2.5– Прилад індикації та реєстрації Метран – 910

Метран – 910 легко інтегрується в системи АСУТП, є зручним при автономному застосуванні, володіє розвинутою системою екранних меню керування та роботи з архівом, великою внутрішньою пам'яттю і інтерфейсом до зовнішньої Flash-пам'яті [20].

Визначимо основні моменти:

– контрастний кольоровий дисплей на TFT-матриці (5,6 або 10,4) з широким кутом огляду;

- вільне програмування аналогових каналів під різні типи вхідних сигналів і між-канальна гальванічна ізоляція;
- висока швидкодія;
- математична обробка по кожному каналу;
- відповідність вимогам ЕМС;
- до 20 універсальних аналогових входів;
- між-канальна гальванічна ізоляція;
- повний цикл опитування всіх каналів 0,1 с;
- дискретні входи та виходи;
- математична обробка даних;
- обчислення витрати середовищ;
- суматори, лічильники, таймери, робота за розкладом;
- перенесення архіву на USB-Flash карту або SD/MMC карту;
- представлення даних на екрані: тренди, шкали (bargraph), комбінації із трендів і шкал, числові значення;
- вбудовані інтерфейси RS485 (Modbus RTU + OPC Server), Ether-net (Modbus TCP / IP), USB Host, CAN 2.0;
- можливість збору і реєстрації даних від зовнішніх пристроїв по інтерфейсу RS485 (Modbus).

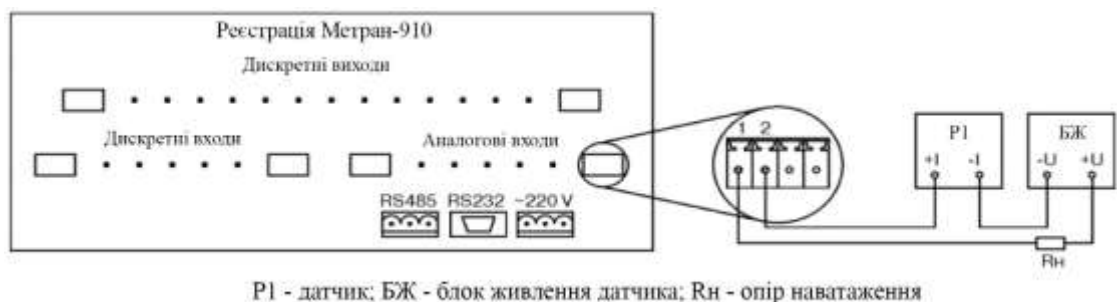


Рисунок 2.6 – Схема підключення реєстратора при вимірюванні уніфікованого струмового сигналу датчика

Таблиця 2.3 – Вимірювання електричних сигналів у вигляді сили, напруги постійного струму і опору постійного струму

Функція	Діапазон	Одиниця молодшого розряду	Межі основної похибки в діапазоні температур від 15 до 35 °С, ± (% ІВ + % ВП)
Вимірювання сили постійного струму	± (0 – 20) мА	0,001 мА	0,06% + 0,04%
Вимірювання напруги постійного струму	± (0 – 100) мВ ± (0 – 1) В	0,01 мВ 0,1 мВ	0,06% + 0,04%
Вимірювання опору постійному струму	0 – 325 Ом	0,1 Ом	0,06% + 0,04%
Примітки ВВ – значення вимірюваної величини. ВМ – верхня межа діапазону			

Монітор-контролер рН Create PH-662



Рисунок 2.7– Монітор-контролер рН Create PH-662

pH-метр PH-662 – це промисловий онлайн монітор-контролер водневого показника рН. Прилад простий в монтажі та використанні, не вимагає додаткового обладнання.

Особливості приладу pH-метр PH-662:

- компактний розмір електронного блоку;
- можливість підключення ОВП-електрода і роботи в режимі контролера ОВП;
- РК-монітор з цифрами, що легкі сприймаються;
- автоматичне або ручне калібрування по трьох точках, що дозволяє проводити високоточні вимірювання;
- функція контролю рН верхнього або нижнього значення з управляючим виконавчим механізмом (реле), а також звуковою і світловою сигналізацією;
- електрод в комплекті, врізного типу з зовнішньою різьбою 3/4;
- функція ручної компенсації температури.

Основні характеристики:

Діапазон вимірювань: 0–14 рН;

Ціна поділки: 0,01 рН;

Похибка: $\pm 0,05$ рН;

Робочий тиск: 0–0,6 МПа;

Живлення: змінний струм, 220В, 50Гц.

Таблиця 2.4 – Додаткові характеристики

Виробник	V-Create
1	2
Додаткові характеристики	
Гранична дистанція для вимірювань	40 метрів
Довжина кабелю електрода в комплекті	10 метрів
Реле	3А 240В

Продовження таблиці 2.4

1	2
Вихідний сигнал	4–20 мА (навантаження, <500 Ом)
Температура вимірюваної рідини	0–80°C
Умови роботи: навколишня температура	0–50°C
Вологість	< 85 %
Ручна компенсація температури	від 0 до 99°C
Розміри	48 x 96 x 80 мм
Розміри для монтажу	44 x 92 мм
Вага	170 гр.

Комплексний прилад контролю і індикації/реєстрації витрати Метран-350Р.



Рисунок 2.8 – Витратомір Метран-350М

Регулятор потоку Метран-350 (спільне виробництво з компанією Emerson Process Management) призначений для роботи в системах автоматичного контролю, регулювання та керування технологічними процесами в різних галузях промисловості, а також в системах комерційного обліку рідин, пара та газів.

Основні переваги:

- проста установка в трубопровід через один отвір; можливість установки в трубопровід без зупинки процесу (спеціальна конструкція);
- мінімальна ймовірність витоків вимірюваного середовища;
- нижчі втрати тиску і менші довжини прямолінійних ділянок в порівнянні з витратомірами на базі звужуючих пристроїв;
- істотне зниження вартості монтажу і обслуговування завдяки інтегральній конструкції;
- легкість взаємодії з існуючими контрольними системами або обчислювачами витрати за допомогою інтелектуального протоколу комунікацій HART;
- простота переналаштування динамічного діапазону;
- висока надійність, відсутність рухомих частин.

Вимірювані середовища: газ, пар, рідини.

Параметри вимірюваного середовища:

1. Температура:

- -40 ... 260 ° C інтегральний монтаж;
- -40 ... 450 ° C віддалений монтаж датчика;
- максимальний надлишковий тиск в трубопроводі 10 МПа;

2. Діаметр умовного проходу трубопроводу (Ду), мм:

- для всього модельного ряду 50...1820;
- для вбудованих в трубопровід моделей (варіант з ділянкою труби) 12,5 ... 50;
- межі вимірювань витрати розраховуються для конкретного застосування.

3. Межі основної відносної похибки при через вимір масової (об'ємної) витрати: $\pm 1,5\%$

4. Середній термін служби – 10 років

Регулятор потоку Метран-350-Р складається з сенсора, монтажного і з'єднуючого обладнання та датчика перепаду тиску 3051 CD, який забезпечує:

– вимір створюваного на сенсорі перепаду тисків, пропорціонального об'ємній витраті при реальних значеннях тиску і температури вимірюваного середовища;

– перетворення значення об'ємної витрати в вихідний сигнал 4–20 мА і/або цифровий код по протоколу HART, а також в показання поточних значень витрати на вбудованому рідкокристалічному індикаторі (РКІ).

Прилад автоматичного регулювання температури E5CN-CMT-500.



Рисунок 2.9 – Omron E5CN-CMT-500

Основні переваги Omron E5CN-CMT-500:

- прості в налаштуванні, надійні, повнофункціональні 11-сегментні дисплеї;
- в контролерах тепер передбачені аналогові входи;
- більш висока частота дискретизації: 250 мс;
- виходи по напрузі (для перемикання твердих реле) для регулювання як нагрівання, так і охолодження;
- допускають застосування для видачі сигналу тривоги за трьома сигнальними виходами;
- передбачені моделі з датчиком перегорання трифазного нагрівача і датчиком відмов твердого реле;
- просте налаштування за допомогою 11-сегментних дисплеїв;
- підключення до однієї і тієї ж моделі терморпарі або платиного резистивного датчика температури;

- зручна, добре помітна на видаленні від дисплея індикація стану з функцією триколірного перемикачання;
- індикатор захисту параметрів повідомляє оператору про включення захисту;
- передбачений ручний вивід даних;
- передбачений контролер з виходом довговічного реле.

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики

Опис	Напруга живлення	100 – 240 В 50/60 Гц	24 В 50/60 Гц або 24 В
1	2	3	4
Діапазон робочої напруги		85% – 110% номінальної напруги живлення	
Енергоспоживання	E5CN	макс. 7,5 ВА (E5CN-R2T: 3,0 ВА при 100 В ~)	макс. 5 ВА/3 Вт (E5CN-R2T: 2,7 ВА при 24 В ~)
	E5CN-U	макс. 6 ВА	макс. 3 ВА / 2 Вт
Вхід датчика		Моделі з входами температури термопари: К, J, Т, Е, L, U, N, R, S або В платиновий резистивний датчик температури Pt100 або JPt100 Інфрачервоний датчик температури: 10 – 70 ° С, 60 – 120 ° С, 115 – 165 ° С або 160 – 260 ° С Вхід по напрузі: 0 – 50 мВ	
		Моделі з аналоговими входами Вхід по струму 4 – 20 мА або 0 – 20 мА Вхід по напрузі: 1 – 5 В, 0 – 5 В або 0 – 10 В	
Вхідний імпеданс		Вхід по струму: 150 Ом, вихід по напрузі: 1 МОм (при підключенні ES2-НВ використовуйте з'єднання 1: 1.)	

Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4
Вихід регулювання		Вихід по струму E5CN	4 – 20 мА / 0 – 20 мА, навантаження: 600 Ом (макс.), дозвіл: прибл. 2700
Вихід аварійного сигналу		SPST-NO, 250 В ~, 1 А (омічне навантаження), термін служби електричних деталей: 100000 циклів, мінімальне прикладаюче навантаження: 1 В, 1 мА	
Метод регулювання		Регулювання ВКЛ/ВИКЛ або 2-ПІД регулювання (з автоматичним налаштуванням)	
Спосіб налаштування		Налаштування цифрових параметрів за допомогою клавіш передньої панелі	
Робоча температура навколишнього середовища		-10 – 55 ° С (без утворення інею або конденсату), з гарантією трирічної експлуатації: -10 – 50 ° С	
Спосіб індикації		11 – сегментний цифровий дисплей і окремі індикатори (передбачені також 7-сегментні дисплеї) Висота символів: Параметр технічного процесу: 11 мм, уставка: 6,5 мм	
Інші функції		Ручний вивід, регулювання нагріву і охолодження, вихід передачі даних (в деяких моделях), аварійний сигнал розриву контуру, кілька заданих значень, обмежувач MV, вхідний цифровий фільтр, самоналаштування, зміщення вхідного сигналу температури, робота/зупинка, функції захисту тощо.	
Робоча вологість навколишнього середовища		від 25% до 85%	

Таблиця 2.6 – Діапазони значень моделей з аналоговими входами

Тип входу	Струм		Напруга		
	Вхідні характеристики	4 – 20 мА	0 – 20 мА	1 – 5 В	0 – 5 В
Діапазон значень	Масштабування дозволяє працювати в наступних діапазонах: -1999 – 9999, -199,9 – 999,9, -19,99 – 99,99 або -1,999 – 9,999				

Електро-пневмоперетворювачі ІРС-21



Рисунок 2.10 – Електро-пневмоперетворювачі ІРС-21

(А – зовнішній вигляд; б – внутрішня будова)

Призначені для перетворення електричного струмового сигналу в пневматичний з високою точністю і повторюваністю перетворення.

Основні переваги:

- висока точність і швидкодія;
- вбудований регулятор тиску для стабілізації;
- коливань тиску живильного повітря;
- низька витрата повітря;
- монтаж на рейку DIN.

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики

Керуючий сигнал:	4...20 мА
Вихідний сигнал:	0...1,0 Бар / 0,2...1,0 Бар / 0,4...2,0 Бар / 0,2...3,0 Бар
Характеристика перетворення:	лінійна
Точність перетворення:	0,3%
Тиск живлячого повітря:	1,5...3,5 Бар
Вимоги до повітря:	сухий, очищений, без домішок масла
Матеріал корпусу	алюміній
Ступінь захисту:	IP55
Температурний діапазон:	-20...+70°C
Монтаж	DIN рейка 35 мм

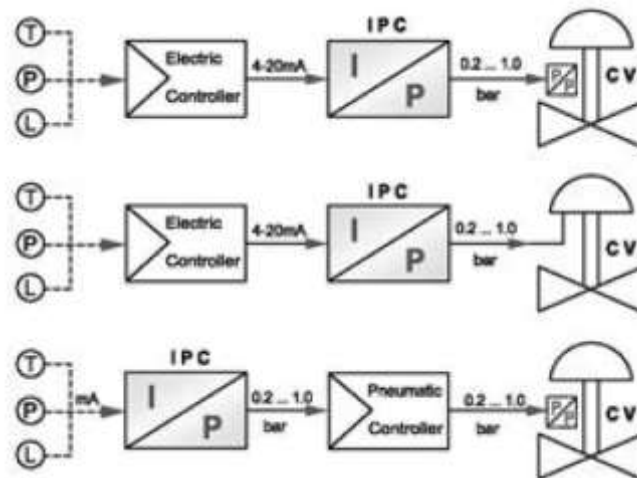


Рисунок 2.11 – Приклад застосування електро-пневмоперетворювачі в системі промислового автоматичного регулювання

Передача даних отриманих в ході протікання технологічного процесу.

Для передачі інформації від приладів індикації/реєстрації і контролю технологічних параметрів в операторську, з метою запису, редагування, налаштування та регулювання процесу, використовуємо інтерфейс «струмова петля».

Аналогова «струмова петля» використовується для передачі аналогового сигналу по парі проводів в системах керування виробництвом.

Застосовується зміщений діапазон 4–20 мА, тобто найменше значення сигналу (наприклад, 0) відповідає струму 4 мА, а найбільше – 20 мА. Таким чином весь діапазон допустимих значень займає 16 мА. Нульове значення струму в ланцюзі означає обрив лінії і дозволяє легко діагностувати таку ситуацію.

Інтерфейс аналогової «струмової петлі» дозволяє використовувати різноманітні датчики (тиску, потоку, кислотності тощо) з єдиним електричним інтерфейсом. Також, даний інтерфейс може використовуватися для керування реєструючими і виконавчими пристроями (самописами, заслінками тощо).

Основною перевагою «струмової петлі» є точність, яка не залежить від довжини і опору лінії передачі, оскільки кероване джерело струму буде автоматично підтримувати необхідний струм в лінії. Така схема дозволяє жити датчик безпосередньо від лінії передачі. Кілька приймачів можна з'єднувати послідовно, джерело струму буде підтримувати необхідний струм у всіх одночасно (відповідно до закону Кірхгофа). Якщо в ланцюзі з'являться витоки, робота «струмової петлі» порушиться, а засобами реалізації самої «струмової петлі» це не виявляється, то необхідно враховувати при проектуванні відповідальних виробничих ділянок.

2.6 Вибір датчиків

Всі датчики класифікуються за параметром, що вимірюється. Крім цього, вони також можуть бути класифіковані як пасивні чи активні. У пасивних датчиках потужність, необхідна отримання виходу, забезпечується самим вимірним фізичним явищем (наприклад, температурою), тоді як активних датчиків потрібне зовнішнє джерело живлення.

Таблиця 2.8 – Датчики

№	Призначення приладу	Призначення приладу	Найменування і тип приладу	Технологічна характеристика	Кількість, штук
1	2	3	4	5	6
1-1 2-1 3-1 4-1 6-1	T	Вимірювання температури	TSM Метран-203 (50М)	Діапазон вимірювань: -50–120 °С	5
7-1	Z	Вимірювання кислотності	Kelilong E201	Діапазон вимірювання: 0–14 рН	1
8-1	F	Вимірювання витрати	Метран 3095MV	Вихід 4–20 мА	1

2.6.1 Короткий опис використовуваних датчиків

Термоперетворювачі опору мідні ТСМ Метран-203 (50М) [20].



Рисунок 2.12 – ТСМ Метран-203 (50М)

Термоперетворювач опору мідний ТСП Метран-203 призначений для вимірювання температури рідких і газоподібних хімічно-агресивних середовищ, а також агресивних, які не руйнують матеріал захисної арматури.

Основні особливості:

- кількість чутливих елементів: 1, 2.
- НСХ: 50М;
- клас допуску: В або С.
- схема з'єднань:
 - 2-х, 3-х, 4-х-дротова – для одного чутливого елемента;
 - 2-х, 3-х-дротова – для двох чутливих елементів.
- діапазон вимірюваних температур: $-50...150$ °С (для класу допуску В), $-50...180$ °С (для класу допуску С).
- матеріал головки: пластик АБС.
- ступінь захисту від впливу пилу і води: IP65 по ДСТУ 14254.
- маса: від 0,5 до 1,3 кг в залежності від довжини монтажної частини.
- повірка: періодичність – не рідше одного разу на рік.
- середній термін служби: не менше 5 років.

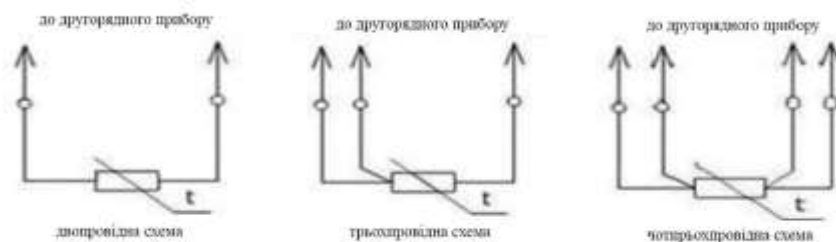


Рисунок 2.13 – Схеми підключення ТСП Метран-203 до вторинного перетворювача

Скляний електрод Kelilong E201.



Рисунок 2.14 – Електрод Kelilong E201

Електроди служать для комплектації вимірювальних приладів – ОВП-метрів, солемірів, рН-метрів і кондуктометрів. Скляний електрод, призначений для рН метрів, модель E201, є важливим комплектуючим пристроєм. Електрод заповнений електролітом KCl, безпосередньо готовий до роботи. Пристрій підійде будь-якої моделі рН-метрів, маючи роз'єм BNC. Діапазон рН-вимірювань електрода E201 становить 0–14. Оптимальна температура середовища вимірювань становить від 0 до 60 ° С.

Елемент комплексу Метран-350Р – датчик 3095MV

Датчик 3095MV забезпечує:

- вимір статичного тиску (надлишкового або абсолютного);
- вимір виникаючого на сенсорі перепаду тисків;
- вимір температури середовища за допомогою термоперетворювача опору, розміщеного в сенсорі, або окремого термоперетворювача опору типу Pt 100;
- обчислення масової витрати і сумарної маси при реальних значеннях тиску і температури вимірюваного середовища;
- обчислення об'ємної витрати і сумарного обсягу газу, приведенного до нормальних умов;
- перетворення значення масової витрати в вихідний сигнал 4–20 мА і/або цифровий код по цифровому протоколу HART, а також в показання поточного значення об'ємної, масової витрати, сумарної маси (об'єму)

вимірюваного середовища, перепаду тисків, статичного тиску, температури на РКІ.

Основні характеристики та зображення представлені в описі витратоміра Метран-350Р.

2.7 Вибір виконавчих пристроїв

Виконавчий пристрій – це одна з ланок автоматичних систем регулювання, призначених для безпосереднього впливу на об'єкт регулювання. У загальному випадку виконавчий пристрій складається з виконавчого механізму (ВМ) і регулюючого органу (РО). Виконавчі пристрої в залежності від використовуваної енергії поділяються на такі види:

- пневматичні з пневматичним ВМ;
- гідравлічні з гідравлічним ВМ;
- електричні з електричним ВМ;
- електропневматичні з пневматичним ВМ і електропневматичним перетворювачем;
- електрогідравлічні з гідравлічним ВМ і електрогідравлічним перетворювачем;
- пневмогідравлічні з гідравлічним ВМ та пневмогідравлічним перетворювачем.

Виконавчий механізм є приводною частиною регулюючого органу. Застосовуються ВМ наступних видів:

- 1) електричні (електромагнітні та електродвигунні);
- 2) пневматичні (мембранні, поршневі і лопатеві);
- 3) гідравлічні (прямохідні і кривошипні).

Регулюючим органом називається ланка виконавчого пристрою, призначена для зміни витрати речовини або енергії в об'єкт регулювання. Розрізняють дозуючі і дросельні РВ. До дозуючих відносяться такі пристрої, які змінюють витрати речовини за рахунок зміни продуктивності агрегатів

(дозатори, живильники, насоси, компресори, плужкові скидачі тощо). Дросельний РО є змінний гідравлічний опір, який змінює витрати речовини за рахунок зміни свого прохідного перетину; до них відносяться регулюючі клапани, поворотні заслінки, шибери та крани. Регулюючі органи характеризуються багатьма параметрами, основними з яких є: пропускна і умовна пропускна здатність, умовний і робочий тиск, перепад тиску на РВ і умовний прохід.

Пропускною спроможністю K_v називається витрата рідини з щільністю 1000 кг/м^3 , що пропускає РВ при перепаді тиску на ньому 105 Па . Пропускна здатність вимірюється в кубічних метрах на годину ($\text{м}^3/\text{год}$).

Умовною пропускною спроможністю називається номінальне значення пропускної здатності РВ при максимальному (умовному) ході затвора, виражене в кубічних метрах на годину ($\text{м}^3/\text{год}$).

Умовна пропускна здатність залежить від типу РВ і розміру його умовного проходу D_y .

Умовним тиском P_y називається найбільший допустимий тиск середовища на РВ при нормальній температурі. Міцність металів з підвищенням температури знижується. Тому для арматури і сполучних частин передбачається також максимальний робочий тиск.

Максимальний робочий тиск – це найбільший встановлений тиск середовища на РВ при фактичній температурі. Робочий тиск при однаковому умовному тиску залежить від властивостей металу деталей РВ і температури середовища. Дозволяється перевищення фактичного робочого тиску до 5% понад встановленого для заданої температури.

Перепад тиску на РО визначає зусилля, на які розраховують ВМ, а також знос дросельних поверхонь. Для багатьох видів виконавчих пристроїв, в яких затвор розвантажений від статичного і динамічного впливів середовища, гранично допустимий перепад тиску установлюють в залежності від потужності ВМ.

Умовним проходом D_y в РВ називається номінальний діаметр проходу в приєднувальних патрубках. Стандартні розміри умовних проходів не поширюються на розміри проходу всередині корпусу.

Крім наведених параметрів РО, що визначають в їх конструкцію та розміри, є параметри, які враховують при виборі РВ залежно від конкретних умов їх застосування.

Пропускна характеристика (внутрішня або ідеальна) встановлює залежність пропускної здатності щодо переміщення затвора S при постійному перепаді тиску; $K_v = f(S)$.

Конструктивна характеристика встановлює залежність зміни щодо прохідного перетину РВ від ступеня його відкриття, тобто $F_s/F_{\max} = f(S)$, де: F_s – площа прохідного перетину при переміщенні S РВ; F_{\max} – прохідний перетин РВ при повному відкритті. При відповідній профілізації дросельні пристрої регулюючих клапанів можуть мати будь-які конструктивні характеристики, пристосовані до конкретних умов роботи автоматичних систем регулювання. Дросельні пристрої серійно випускаючих регулюючих клапанів профілюються зазвичай з лінійною або рівнопропорційною пропускною характеристикою.

При лінійній пропускній характеристиці приріст пропускної здатності пропорційна переміщенню затвора $dK_y = CdS$, де: C – постійна величина.

При рівнопропорційній пропускній характеристиці приріст пропускної здатності при переміщенні затвору пропорційна поточним значенням пропускної здатності: $dK_y/dS = CK_y$. Регулюючі заслінки відносяться до непрофільючим РВ і мають пропускні характеристики, близькі до рівнопроцентним.

Видаткова характеристика. У робочих умовах вид пропускної характеристики змінюється в залежності від зміни перепаду тиску на клапані. При цьому РВ характеризуються видатковою характеристикою, яка представляє собою залежність відносної витрати середовища від ступеня

відкриття РВ $\mu = f(S)$, де: $\mu = Q/Q_{\text{макс}}$ – відносна витрата середовища; Q – витрата середовища при ступені відкриття РВ μ ; $Q_{\text{макс}}$ – витрата середовища при повністю відкритому РВ.

Мінімальною пропускною спроможністю $K_{V\text{МИН}}$ називається найменше значення пропускної здатності, при якій зберігається пропускна характеристика в межах встановленого допуску. Вона визначається як витрата середовища з щільністю 1000 кг/м^3 , що пропускається РВ при перепаді тиску на ньому 105 Па .

У багатьох випадках автоматизації виробничих процесів РВ повинні мати широкий діапазон зміни пропускної здатності, яким називається відношення умовної пропускної здатності K_{vy} до мінімальної пропускної здатності.

Негерметичність затвору через пропуск середовища при повністю закритому проході, також є характеристикою РВ. Для надійного і якісного регулювання негерметичність затвора повинна бути мінімальною.

Загальні вимоги до РВ залежать від фізико-хімічних властивостей регульованою середовища. Матеріал РО, що контактує з середовищем, повинен бути стійким до хімічного впливу середовища. Корозія ущільнювачів дросельних і напрямних поверхонь затворів, сідел та штоків неприпустима.

Регулюючий орган повинен надійно працювати при регулюванні середовища з високою або низькою температурою. Неприпустимі відмови в роботі через забруднення, відкладення тощо. В РВ для середовищ з високою температурою необхідно передбачати, щоб температура сальникової набивки, ущільнюючий шток, не піднімалися вище допустимої температури для змащення, яка додається в набивання. Для зниження температури в зоні сальника між ним і фланцем кришки поміщають ребристу трубу.

При регулюванні середовища з мінусовою температурою необхідно передбачати захист від обмерзання частини штока РВ, яка виступає з сальникової камери, або застосування РВ спеціальної конструкції.

Вибір виконавчого механізму.

Таблиця 2.9 – Структура позначення МЕВ

Тип механізму	Вид датчика положення	Кліматичне виконання	Вид напруги живлення	Величина напруги живлення
МЕВ	Реостатне, індуктивне, струмове	ОЗ, Т2, Т3	Трьохфазне, однофазне	220В, 50 Гц 200/380В, 50Гц 230В, 50 Гц 240В, 50 Гц

В якості ВМ використовуємо МЕВ 16/25-0.25-94.



Рисунок 2.15 – МЕВ 16 25-0.25-94

Виконавчі інструменти електричного типу та одно-оборотної конструкції, що відносяться до класу МЕВ-16, є спеціальними виробами, що використовуються для руху регулюючих (і/або керуючих) елементів в певних просторових позиціях. Їх встановлюють в обладнання, вузли установок для автоматичного регулювання або контролю будь-яких типів і видів операцій виробництва. Керують операціями по командним сигналам з регульованих пристосувань і приладів.

Таблиця 2.10 – Технічні характеристики

Тип механізму	Крутний момент, Нм	Час повного ходу, с	Повний хід	Живлення	Споживана потужність, Вт, не більше
МЕО 16/25-0.25- 94	16	25	0,25	220 В 50 Гц	70

Для належного функціонування приладів даного класу необхідні певні умови:

- напруга в мережі 220 В при частоті 50 Гц;
- рівень захисту IP 54 за класифікатором в відповідності з вимогами–ДСТУ 14254.

Режим функціонування S4 (за класифікатором), кількість включень не перевищують 630 раз/год, ПВ до 25%. Допускається максимальне число включень – до 1200 разів/ год при ПВ до 5%.

Керування цими приладами буває контактним та безконтактним. Керуючі елементи – пускачі моделей ПБР-2М або ПБР-2М1 (безконтактно).

Ці вироби встановлюють в обладнанні, що використовується в нафтовій, нафтогазовій або хімічній галузях, в ЖКГ та енергетичній сфері, а також в системах опалення та вентиляції – сферах, для функціонування яких необхідна трубопровідна арматура.

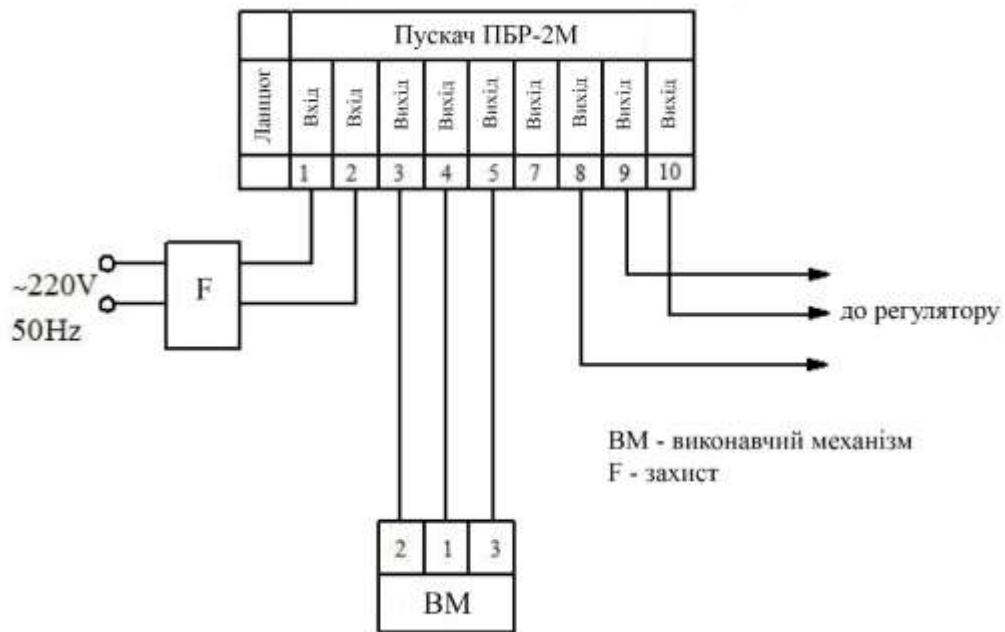


Рисунок 2.16 – Схема зовнішніх підключень

2.8 Вибір пускової, захисної апаратури і блоку живлення

Таблиця 2.11 – Пускова, захисна апаратура і блоки живлення

Призначення приладу	Найменування і тип приладу	Кількість, штук
Пускач	ПБР-2М	3
Блок живлення	Метран-604	1
<u>Вимикач</u> автоматичний	<u>Вимикач</u> автоматичний ВА47-29	1
Блок ручного керування	БРУ-32	1

Блок ручного керування БРУ-32.

Ручне перемикання з автоматичного режиму керування, кнопкове керування інтегруючими виконавчими механізмами, світлова індикація вихідного сигналу регулюючого пристрою з імпульсним вихідним сигналом, відображення положення регулюючого органу на стрілочному індикаторі.

Таблиця 2.12 – Характеристики БРУ-32

Умовне позначення блоку	Кліматичне виконання	Вхідний сигнал стрілочного індикатора	Межі зміни	Вхідний опір
БРУ-32-03; -08 БРУ-42-03; -08;-12	УХЛ	Струмівий	(4–20) мА	<200 Ом
БРУ-32-05 БРУ-42-05	УХЛ (експорт)			
БРУ-32-04; -09 БРУ-42-04; -09; -13	О			

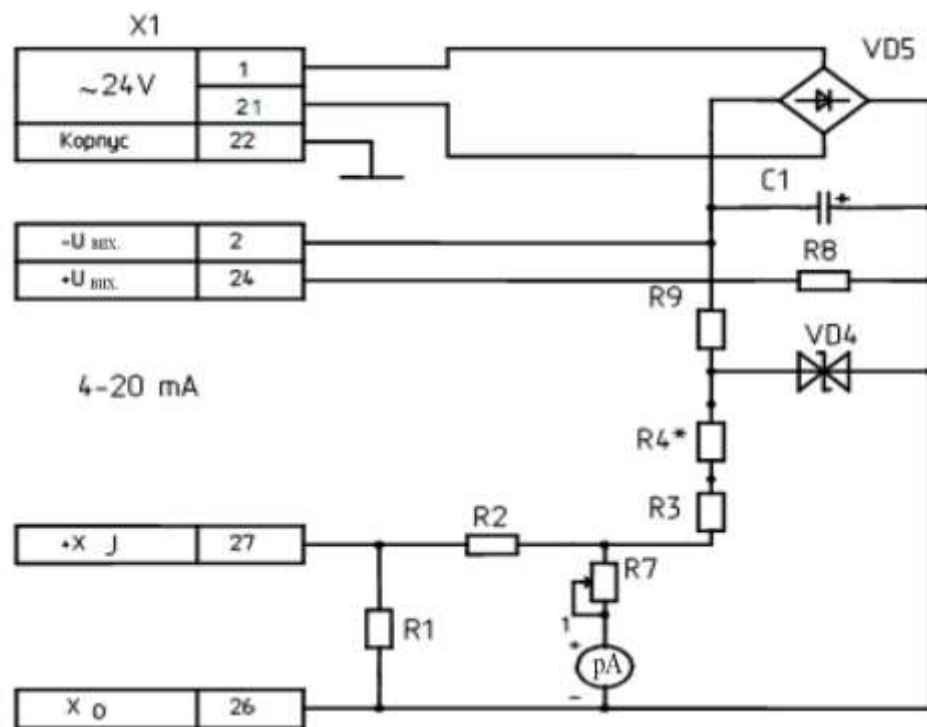


Рисунок 2.17 – Електрична схема БРУ-32

Опишемо блок живлення Метран-604 [20].



Рисунок 2.18 – Блок живлення Метран-604

Призначення блоку живлення Метран-604.

Блоки живлення Метран-604 призначені для перетворення напруги 220В в стабілізовану напругу 24 або 36 В та живлення датчиків з уніфікованим вихідним сигналом: датчиків тиску серії, датчиків температури серії Метран 270, Метран-2700, Метран-280 тощо.

- кількість каналів 2, 4, 8;
- канали гальванічно розв'язані;
- кожен канал має схему електронного захисту;
- від перевантажень і коротких замикань;
- індикація включення блоку;
- живлення по кожному каналу;
- блоки живлення для монтажу на рейці DIN;
- виконані в євростандарті DIN 43700;
- блоки живлення щитового монтажу конструктивно і функціонально замінюють блоки живлення бпД-40.

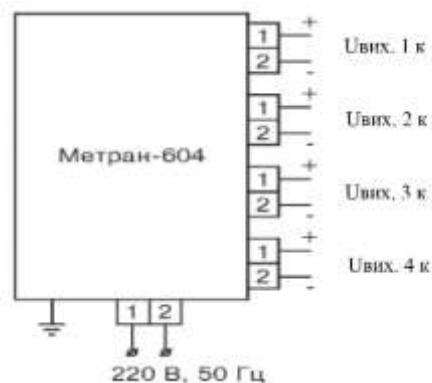


Рисунок 2.19 – Схема електричних підключень БЖ Пускач ПБР-2М.



Рисунок 2.20 – Пускач ПБР-2М

Пускач призначений для безконтактного керування електричними виконавчими механізмами, в приводі яких використовуються.

Область застосування: автоматизовані системи керування технологічними процесами (АСК ТП), АСК ТП для атомних електростанцій (АЕС), в енергетичній та інших галузях промисловості.

Технічні дані пускача безконтактного реверсивного ПБР-2М.

– Живлення пускача – однофазна мережа змінного струму з номінальною напругою 220V з частотою 50Hz. Допустиме відхилення напруги живлення від номінальної від -15% до $+10\%$. Не симетрія трифазної системи складає не більше 5% .

Таблиця 2.12 – Номери контактів

Номери контактів	Вхідні сигнали	Величина напруги на контактах	
		включено	відключено
8–7 8–9	Середнє значення двохнапівперіодичної випрямленої синусоїдальної напруги	$(24 \pm 6) \text{ V}$	від 0 до 2 V
7–10 9–10	Стан контактних або безконтактних ключів	від 0 до 3 V	$(24 \pm 4) \text{ V}$

Примітка – амплітудна напруга на ключах не більше 50V, комутований струм вхідного ланцюга – не більше 50 mA.

Джерело живлення ланцюгів керування допускає підключення зовнішнього навантаження з опором до 240 Ом між контактами 8 і 10 пускача. Форма напруги джерела, при опорі навантаження 240 Ом – двохнапівперіодична випрямлена із середнім значенням $(24 \pm 6) \text{ V}$ при номінальній напрузі.

Вхідний опір пускача 750 Ом.

- максимально комутований струм – 4А.
- динамічні характеристики пускача:
- різниця між тривалістю вхідного і вихідного сигналів не більше 20ms.
- пускач допускає роботу в повторно-короткочасному реверсивному режимі з частотою включень до 630 в годину при ПВ 25%.
- напруга, споживана пускачем при відсутності сигналу керування, не більше 7W.
- норма середнього напрацювання на відмову з урахуванням технічного обслуговування 100 000 годин.
- середній термін служби пускача – 10 років.
- маса пускача не більше 2 кг.

Схема підключення представлена на рисунку 2.21.

Вимикач автоматичний ВА47-29.



Рисунок 2.21 – Вимикач автоматичний ВА47-29

Автоматичні вимикачі ВА 47-29 – сучасне покоління апаратів, призначених для захисту електричних ланцюгів від перевантажень і струмів короткого замикання (надструмів), а також для здійснення оперативного

керування ділянками електричних ланцюгів. Вимикачі випускаються із захисними характеристиками В, С, D. Всі вироби відповідають ДСТУ Р 50345-99 і виготовляються по ДСТУ 2000 АГІЕ.641.235.003.

Таблиця 2.13 – Технічні характеристики ВА47-29

Технічні характеристики	Значення
Номинальна робоча напруга U_e , В	230/400
Номинальний робочий струм I_n , А	0,5; 1,6; 2,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 13; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63
Номинальна частота струму мережі, Гц	50
Напруга постійного струму на один полюс, не більше, В	48
Найбільша відмикаюча здатність, не менше, кА	4,5
Електрична зносостійкість, циклів включення/виключення (В-О), не менше	6000
Механічна зносостійкість, циклів, не менше	20000
Число полюсів	1, 2, 3, 4
Ступінь захисту по ДСТУ 14254-96	IP 20
Максимальний перетин проводу, який приєднується до затискачів, мм ²	25
Температура налаштування t , °С	30
Діапазон робочих температур, °С	-40...50

2.9 Розробка принципової електричної схеми

Блок живлення (БП) Метран-604 підключений до мережі та до нього підключається обладнання. Як датчик температури використовується мідний термометр опору ТСМ Метран-203 (50М) на виході якого формується вимірне значення у вигляді неуніфікованого сигналу.

Сигнал з ТСМ Метран-203(50М) надходить у термоперетворювач ТСПУ Метран-276 для нормування, після якого на виході виходить стандартний струмовий сигнал 4-20 мА.

Отриманий уніфікований сигнал надходить на вхід показувального і реєструючого приладу Метран-910, після якого передається в операторську за допомогою інтерфейсу "струмова петля". Одночасно з передачею в операторську цей сигнал надходить на вхід регулятора Omron E5CN-CMT-500 для контролю та регулювання.

При відхиленні технологічного параметра від норми регулятор подає сигнал на пусковий пристрій ПБР-2М, який запускає ІМ (МЕО 16/25-0.25-94). Між ПБР і ІМ стоїть автоматичний вимикач ВА47-29, щоб уникнути перепадів напруги та виникнення струмів короткого замикання.

Висновки за розділом

Для контролю та регулювання параметрів було підібрано відповідне обладнання. Використано нові розробки вітчизняних та зарубіжних виробників у галузі приладобудування.

РОЗДІЛ 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Розробка імітаційних моделей електроприводу зі скалярним керуванням

На рисунку 3.1 наведено функціональну схему реалізації асинхронного частотно-регульованого електроприводу зі скалярним керуванням без датчика швидкості. Основними функціональними елементами регульованого асинхронного електроприводу з частотним скалярним керуванням є [3]:

- перетворювач частоти;
- блок керування перетворювачем, що включає в себе формувач 3-фазної системи керуючих напруг u_{1a} , u_{1b} і u_{1c} , формувач 6-канального ШІМ-сигналу та блок драйверів;
- формувач U/f^2 – характеристики;
- датчики в загальному випадку лінійного струму двигуна;
- блок розрахунку фактичного значення чинного фазного струму двигуна;
- елемент порівняння допустимого максимального та фактичного значення діючого фазного струму двигуна та регулятор обмеження струму;
- блок компенсації ковзання;
- блок корекції керування напругою інвертора у функції фактичного значення напруги ланки постійного струму U_d перетворювача.

У функціональній схемі асинхронного електроприводу з скалярним керуванням використовуються такі варіанти реалізації моделей:

- імітаційна модель електричної частини силового каналу насоса системи перетворювач частоти синхронного електродвигуна (рис. 3.2);
- імітаційна модель механічної частини силового каналу системи перетворювач частоти – асинхронний електродвигун з насосним навантаженням (рис. 3.3);

- імітаційна модель електричної частини двофазного асинхронного електродвигуна у нерухомій системі координат (рис. 3.4);
- імітаційна модель блоку одномасової механічної системи з моментом навантаження реактивного характеру (рис. 3.5);
- імітаційна модель задатчика інтенсивності з S-подібною вихідний характеристикою представлена на рисунку 3.6;
- модель завдання на силовий канал системи перетворювач частоти асинхронного електродвигуна (рис. 3.7) [4].

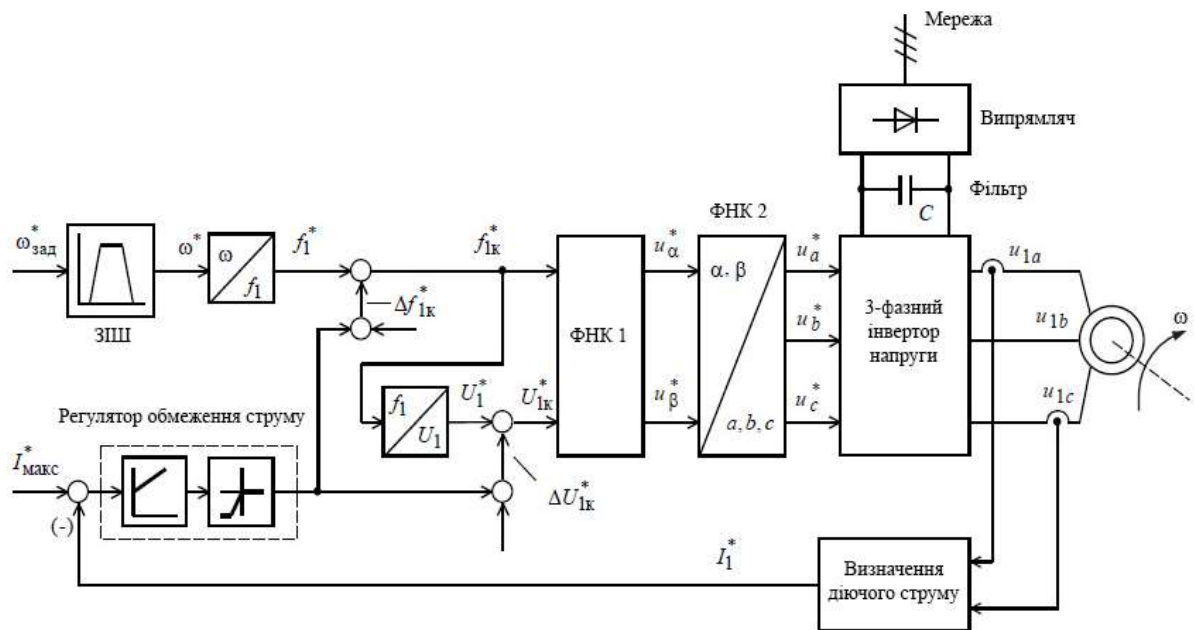


Рисунок 3.1 – Функціональна схема асинхронного електроприводу зі скалярним частотним керуванням без датчика швидкості

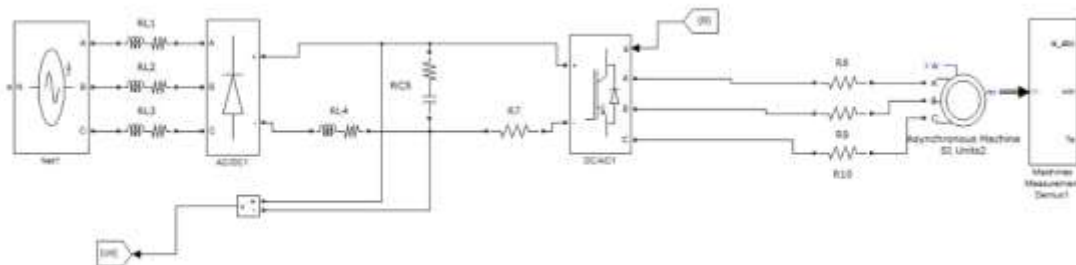


Рисунок 3.2 – Імітаційна модель електричної частини силового каналу насоса системи перетворювач частоти синхронного електродвигуна

Імітаційна модель електричної частини силового каналу зображена на рисунку 3.2 складається з: джерела змінного струму, вхідного дроселя, випрямляча, RC фільтра, інвертора, провідників з їх опорами та бібліотечної моделі асинхронного двигуна.

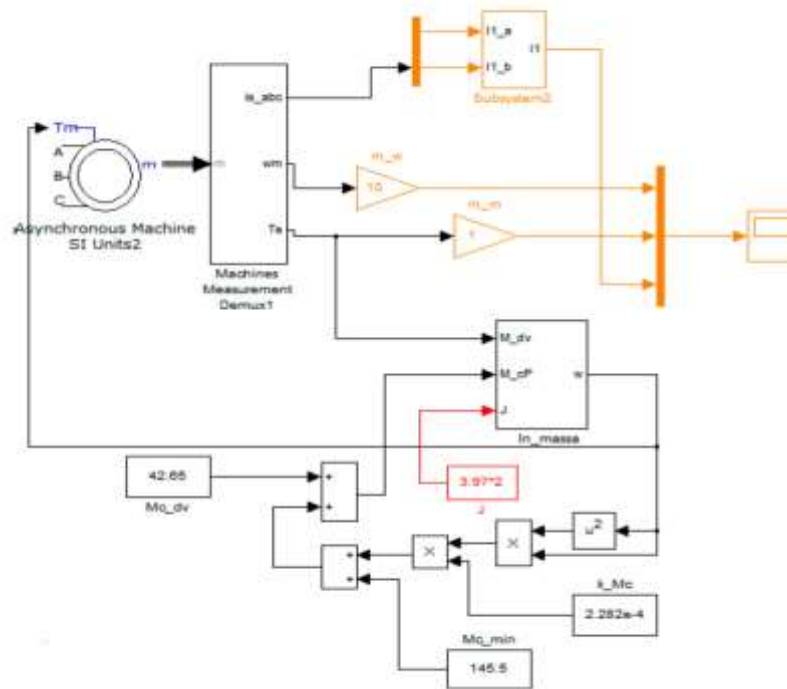


Рисунок 3.3 – Імітаційна модель механічної частини силового каналу системи перетворювач частоти – асинхронний електродвигун з насосним навантаженням

3.2 Одномасова механічна система з реактивним навантаженням

Імітаційна модель блоку одномасової механічної системи з моментом навантаження реактивного характеру, що використовується при моделюванні систем електроприводу, представлена на рисунку 3.4.

На схемі рисунка 3.4 прийняті такі додаткові позначення [11]:

M_{em} – електромагнітний момент двигуна, Н·м;

M_{cp} – наведений до валу двигуна статичний момент реактивного характеру, Н·м;

J_e – приведений до валу двигуна еквівалентний момент інерції рухомих мас, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

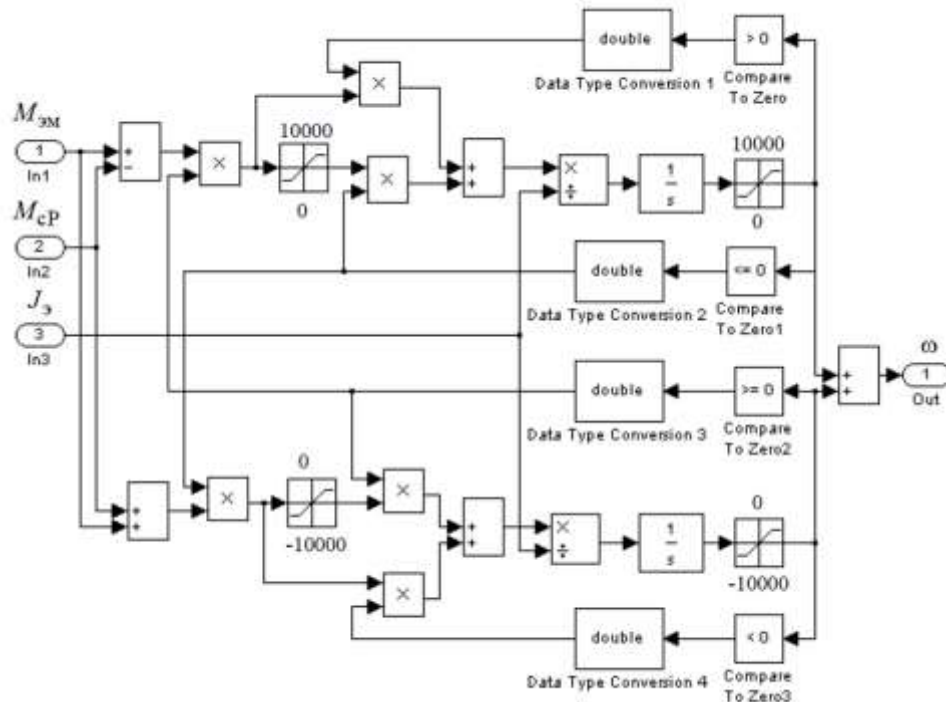


Рисунок 3.4 – Імітаційна модель одномасового блоку механічною системи з моментом навантаження реактивного характеру

3.3 Імітаційна модель задатчика інтенсивності з S-подібною характеристикою

Схема набору імітаційної моделі задатчика інтенсивності з S-образною вихідною характеристикою представлена рисунку 3.5.

Параметри налаштування імітаційної моделі задатчика інтенсивності з S-образною характеристикою визначаються за виразами [11]:

$$\begin{aligned}
 T_{и1} &= t_1 \cdot c; \\
 T_{и2} &= t_1 + t_2 \cdot c; \\
 k &= 0,5 \cdot \frac{t_1}{t_1 + t_2};
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

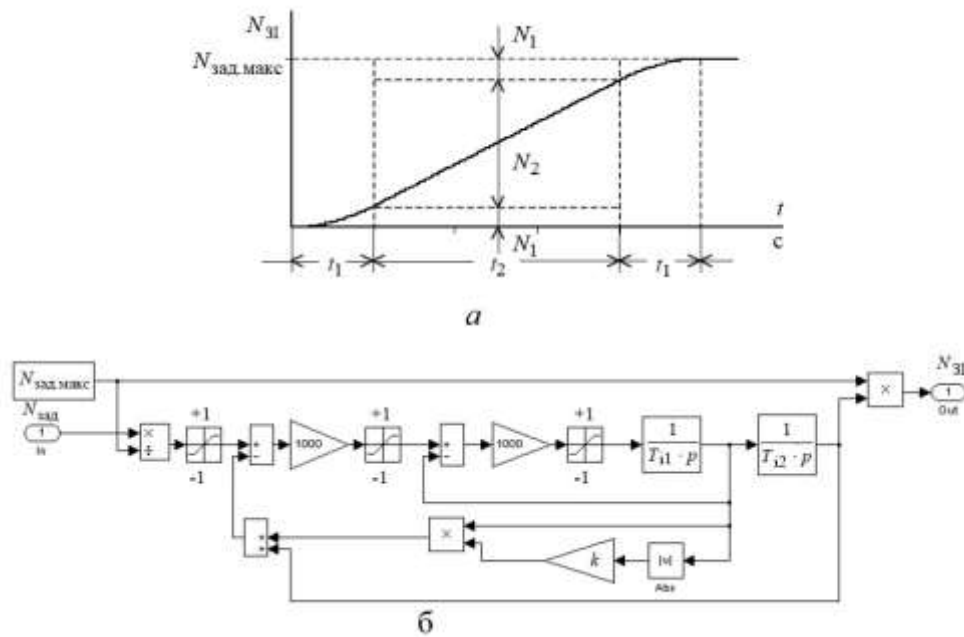


Рисунок 3.5 – Задатчик швидкості з S – образною характеристикою
а – тимчасова характеристика; б – імітаційна модель

3.4 Імітаційна модель завдання на силовий канал системи перетворювач частоти – асинхронного електродвигуна

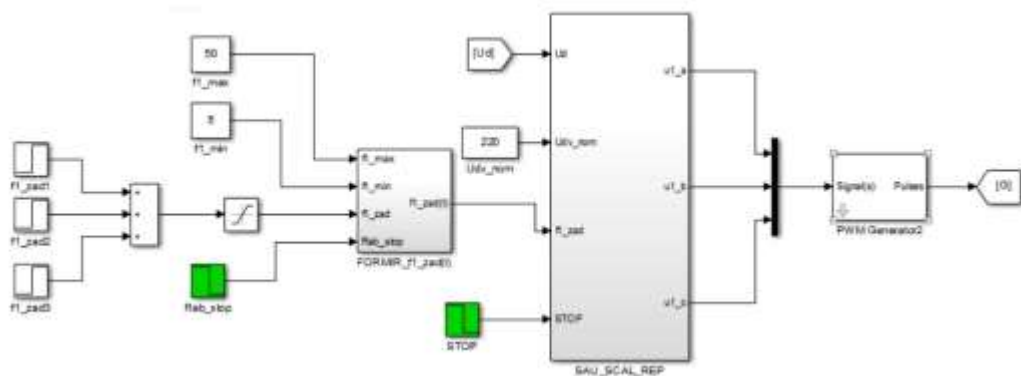


Рисунок 3.6 – Імітаційна модель завдання на силовий канал системи перетворювач частоти – асинхронного електродвигуна

У імітаційній моделі зображеної рисунку 3.6 відбувається формування завдання зміни вихідний частоти з перетворювача.

У блоці SAU_SCAL_REP реалізовано скалярне керування, а також настроювання вольт-частотних характеристик за допомогою компенсації напруги на низьких частотах до 30 Гц.

У блоці FORMIR_f1_zad(t) укладено задатчик швидкості з S – образною характеристикою.

З допомогою імітаційної моделі отримуємо динамічні характеристики представлені рисунку 3.7 і рисунку 3.8.

3.5 Динамічні характеристики електроприводу подачі лактамного масла

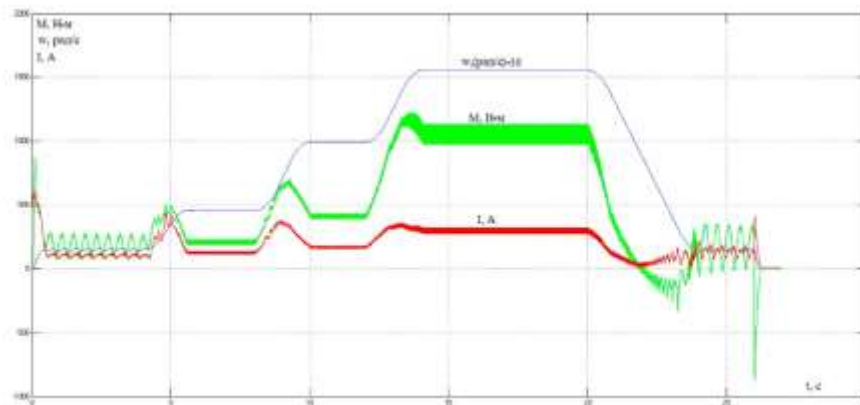


Рисунок 3.7 – Діаграми відпрацювання електроприводом насоса ступінчастого циклу 5 Гц, 15 Гц, 32 Гц, 50 Гц; робочий стоп двигуна до 5 Гц, повної зупинки

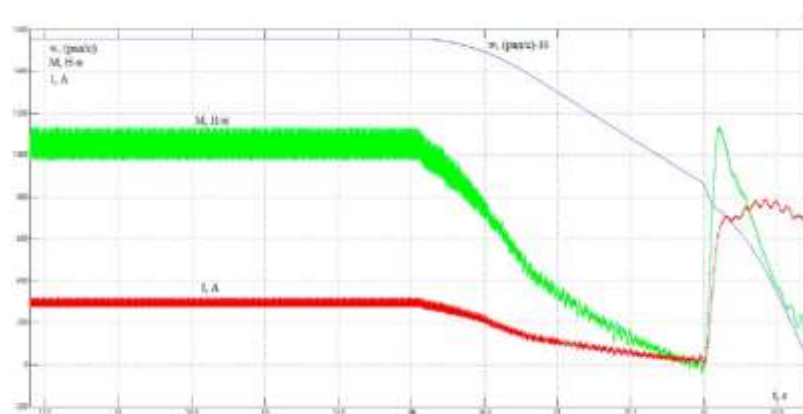


Рисунок 3.8 – Діаграми відпрацювання електроприводом насоса без компенсації вольт-частотних характеристик

На рисунку 3.7 представлені діаграми відпрацювання електроприводом насоса лактамного масла насоса ступінчастого циклу з компенсацією за напругою. Компенсація дозволяє працювати відповідно до заданих вимог приводу циркуляційного насоса. У циклі роботи приводу простежується змінне навантаження, що відповідає навантажувальній характеристики насоса. Цикл роботи починається із запуску електродвигуна на частоту 5 Гц при цьому продуктивність насоса дорівнюватиме нулю, робота на цій швидкості потрібна нам щоб тримати тиск лактамного масла, що нагнітає, доки не закриється засувка інакше масло зіллється назад в при цьому насос розкрутить у зворотний бік, що спричиняє несправність насоса, а саме ослаблення затягування робочого колеса насоса з подальшим заклинюванням. У 4 секунди відбувається розгін до 15 Гц, що відповідає мінімальній продуктивності насоса і подачі масла в реактор-нейтралізатор, що обертається, в 8 секунд починається розгін двигуна на частоту 32 Гц при цій частоті обертання двигуна насос робить подачу масла в реактор-нейтралізатор і заключний розгін електродвигуна на частоту 50 Гц при цій швидкості обертання електродвигуна насос працює зі 100% продуктивністю та здійснює подачу масла в реактор-нейтралізатор після відпрацювання на 50 Гц в 20 секунд здійснюється робочий стоп і в 26 секунд повна зупинка.

На рисунку 3.8 представлені діаграми відпрацювання електроприводом насоса подачі лактамного масла без компенсації вольт-частотних характеристик, з яких видно, що без компенсації напруги при низьких частотах двигун не утримує момент навантаження.

Висновки за розділом

Провели дослідження електропривода насоса подачі лактамного масла в реактор-нейтралізатор. З допомогою імітаційної моделі отримали динамічні характеристики електропривода насоса подачі лактамного масла.

РОЗІДЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Техніко-економічне обґрунтування

Основна ідея магістерського дослідження полягає в удосконаленні автоматизованої системи керування виробництва капролактаму, а саме наступних контурів:

- 1) контур регулювання температури реакційної суміші на виході циркуляційного холодильника;
- 2) контур контролю температури зворотної оборотної води;
- 3) контур контролю температури прямої оборотної води;
- 4) контур контролю температури реакційної суміші на вході циркуляційного холодильника;
- 5) контур контролю температури прямої оборотної води;
- 6) контур контролю температури реакційної суміші в реакторі нейтралізаторі;
- 7) контур регулювання кислотності аміачної води;
- 8) контур регулювання витрати технологічної води.

Після провадження нової автоматизованої системи керування:

- скоротиться штат працівників на 1 особу;
- зменшиться кількість ремонтів чи технічних обслуговувань за міжремонтний період;
- збільшиться продуктивність лінії виробництва капролактаму за рахунок точного регулювання параметрів.

4.2 Визначення витрат на розроблення та дослідження САК виробництва капролактаму

Для розроблення та дослідження САК виробництва капролактаму закуплені комплектуючі, перелік яких зведений у таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Перелік необхідних комплектуючих

Призначення	Найменування приладу	Ціна, грн.	К-ть	Сума, грн.
Термоперетворювач	ТСПУ Метран-276	2600	1	2600
Прилад індикації та реєстрації	Метран-910	47300	1	47300
Комплексний прилад контролю і індикації / реєстрації рН	Create PH-662	9000	1	9000
Комплексний прилад контролю і індикації / реєстрації витрати	Метран-350P	31300	1	31300
Прилад автоматичного регулювання температури	Omron E5CN-CMT-500	10000	1	10000
Електропневмоперетворювач	IPC-21	2500	1	2500
Вимірювання температури	ТСМ Метран- 203 (50М)	300	1	300
Вимірювання кислотності	Kelilong E201	1100	1	1100
Вимірювання витрати	Метран 3095MV	30000	1	30000
Пускач	ПБР-2М	300	1	300
Блок живлення	Метран-604	1500	1	1500
Вимикач автоматичний	Вимикач автоматичний ВА47-29	250	1	250
Блок ручного керування	БРУ-32	1100	1	1100
Всього:				137250

Таким чином, витрати на придбання комплектуючих для розроблення та дослідження САК виробництва капролактаму дорівнюють:

$$Z_k = 137\,250 \text{ грн.}$$

Розрахунок заробітної платні з нарахуваннями.

Для встановлення системи необхідно виконати роботи по встановленню, монтажу системи керування, демонтажу старого обладнання, наладці та пуску системи. Вказані роботи будуть проводити бригада з 5-ми слюсарів 4-го розряду протягом 5-ти днів.

Витрати на заробітну плату з нарахуваннями визначимо за формулою:

$$S_{\text{ЗПМ}} = K_{\text{нз}} \cdot \lambda \cdot t \cdot \sum_{i=1}^m C_{\text{ті}} (1 + H); \quad (4.1)$$

де: $K_{\text{нз}}$ – коефіцієнт, який враховує накладні витрати на заробітну плату, $K_{\text{нз}} = 1,3$;

λ – коефіцієнт, який враховує премії, $\lambda = 1,25$;

t – час виконання робіт, год;

$C_{\text{ті}}$ – часова тарифна ставка працівника i -го розряду.

H – норма нарахування на заробітну плату, $H = 0,22$;

m – кількість робочих, чоловік.

$$S_{\text{ЗПМ}} = 1,3 \cdot 1,25 \cdot 5 \cdot (25,17 \cdot 5) \cdot (1 + 0,22) = 9979,91 \text{ грн.}$$

Визначення загальної суми витрат.

Витрати на розроблення та дослідження САК виробництва капролактаму як суму витрат на купівлю комплектуючих та витрат на заробітну плату з нарахуваннями робітникам, які проводять модернізацію:

$$Z_M = Z_k + Z_{\text{ЗПМ}}; \quad (4.2)$$

$$Z_M = 137\,250,00 + 9979,91 = 147\,229,91 \text{ грн.}$$

4.3 Розрахунок річного фонду роботи лінії виробництва капролактаму

Розрахунок річного фонду часу роботи лінії виробництва капролактаму проведемо за формулою:

$$T_p = \frac{T_\Phi}{\frac{1}{t_{cm} \cdot K_{cm}} + D_p}; \quad (4.3)$$

де: T_Φ – річний фонд робочого часу, $T_\Phi = 251$ днів;

t_{cm} – тривалість зміни в машино-годинах, $t_{cm} = 8$;

K_{cm} – коефіцієнт змінності роботи устаткування, $K_{cm} = 1$;

D_p – простої в машино-днях у всіх видах технічного обслуговування і ремонту, який приходить на одну машино-годину, визначимо за формулою:

$$D_p = \frac{\sum_{i=1}^n d_{pi} \cdot a_i}{T_u}; \quad (4.4)$$

де: n – число різновидів технічних обслуговувань та ремонтів за міжремонтний період;

d_{pi} – тривалість перебування в i -му ремонті чи технічному обслуговуванні;

a_i – кількість i -х ремонтів чи технічних обслуговувань за міжремонтний період;

До та після модернізації час міжремонтного циклу складає 8760 годин. До удосконалення САК проводилось 10 оглядів впродовж 1,0 години, а після 3 оглядів впродовж 1,0 години. Враховуючи наведене, розраховуємо простої в машино-днях при всіх видах технічного обслуговування до і після модернізації:

$$D_{p1} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 10}{8760} = 0,0011 \frac{\text{маш.днів}}{\text{маш.год}};$$

$$D_{pl} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 3}{8760} = 0,0003 \frac{\text{маш.днів}}{\text{маш.год}};$$

Тоді річний фонд часу роботи лінії виробництва капролактаму дорівнюватиме відповідно:

$$T_{pl} = \frac{251}{\frac{1}{8 \cdot 1} + 0,0011} = 1990,48 \text{ год},$$

$$T_{pl} = \frac{251}{\frac{1}{8 \cdot 1} + 0,0003} = 2003,19 \text{ год},$$

4.4 Розрахунок річної експлуатаційної лінії виробництва капролактаму

Річна експлуатаційна продуктивність лінії виробництва капролактаму визначається за формулою:

$$B = B_{\text{Е.Г.П}} \cdot T_{\text{Р}} \cdot K_{\text{ПР}}; \quad (4.5)$$

де: $B_{\text{Е.Г.П}}$ – годинна експлуатаційна продуктивність, (2,5 т/год),

$K_{\text{ПР}}$ – коефіцієнт, що враховує простій, не враховане в годинній експлуатаційній продуктивності.

Після вдосконалення САК виробництва капролактаму з'явилась можливість більш точно витратити компоненти. Така нова функція дозволить збільшити продуктивність до 3 т/год.

Таким чином, до та після розроблення та дослідження САК виробництва капролактаму складає:

$$B_1 = 2,5 \cdot 1990,48 \cdot 0,9 = 4826,91 \text{ т/рік}.$$

Після модернізації:

$$B_2 = 2,6 \cdot 2003,19 \cdot 0,9 = 5052,05 \text{ т/рік}.$$

4.5 Розрахунок поточних річних витрат

Поточні річні експлуатаційні витрати визначаються для лінії виробництва капролактаму до та після модернізації.

За процесом виробництва капролактаму спостерігає два оператори 5-го розряду, після вдосконалення САК виробництва капролактаму буде спостерігати 1 оператор.

Витрати на заробітну плату до та після модернізації складають:

$$S_{зп} = 1,3 \cdot 1,25 \cdot 4826,91 \cdot 37,87 \cdot 2 \cdot (1 + 0,22) = 298879,63 \text{ грн.}$$

$$S_{зп} = 1,3 \cdot 1,25 \cdot 5052,05 \cdot 37,87 \cdot 1 \cdot (1 + 0,22) = 325593,15 \text{ грн.}$$

Визначення витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт САК виробництва капролактаму.

Витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт САК визначимо за формулою:

$$S_{ТО} = S_{ТОЗ} + S_{ТОМ}; \quad (4.6)$$

де: $S_{ТОЗ}$ – витрати на заробітну плату ремонтників з нарахуваннями;

$S_{ТОМ}$ – витрати на матеріали та запасні частини.

Витрати на заробітну плату ремонтних робітників з нарахуваннями визначаються за формулою:

$$S_{ТОЗ} = \frac{T_P}{T_{Ц}} \cdot K_{НЗ} \cdot \lambda \cdot C_P \cdot \sum_{i=1}^m a_{pi} \cdot \tau_{pi} \cdot (1 + H); \quad (4.7)$$

де: C_P – середня тарифна ставка ремонтного робітника, що обслуговують установку, грн/год;

a_{pi} – кількість техобслуговувань і поточних ремонтів без капітального ремонту;

τ_{pi} – трудомісткість і-го технічного обслуговування та поточного ремонту, до і після – $\tau_{pi} = 5,7$.

Витрати на матеріали та запасні частини визначаються за формулою:

$$S_{ТОМ} = K_{П} \cdot \frac{S_{ТОЗ} \cdot (1 - H)}{K_{НЗ}} \cdot K_{ЗР}; \quad (4.8)$$

де: $K_{\text{П}}$ – норма накладних розходів за всіма видами витрат, крім заробітної плати, $K_{\text{П}} = 1,1$;

$K_{\text{ЗР}}$ – коефіцієнт переходу від витрат на заробітну плату до витрат на матеріали та запасні частини, $K_{\text{ЗР}} = 1,25$.

До модернізації для технічного огляду та поточного ремонту необхідно один слюсар КВПіА п'ятого розряду. Після модернізації їх склад не змінився. Огляд проводиться 10 разів на рік до модернізації та 3 після.

$$S_{\text{ТОЗ1}} = \frac{1990,48}{8760} \cdot 1,3 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 10 \cdot 5,7 \cdot 37,87 \cdot (1 + 0,22) = 972,38 \text{ грн.}$$

$$S_{\text{ТОЗ2}} = \frac{2003,19}{8760} \cdot 1,3 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 5,7 \cdot 37,87 \cdot (1 + 0,22) = 293,58 \text{ грн.}$$

Витрати на матеріали та запасні частини до модернізації складають:

$$S_{\text{ТОМ1}} = 1,1 \cdot \frac{972,38 \cdot (1 - 0,22)}{1,3} \cdot 1,25 = 802,21 \text{ грн.}$$

Витрати на матеріали та запасні частини після модернізації:

$$S_{\text{ТОМ2}} = 1,1 \cdot \frac{293,58 \cdot (1 - 0,22)}{1,3} \cdot 1,25 = 242,20 \text{ грн.}$$

Таким чином, витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт САК виробництва капролактаму до модернізації склали:

$$S_{\text{ТО1}} = 972,38 + 802,21 = 1774,59 \text{ грн.}$$

після модернізації:

$$S_{\text{ТО2}} = 293,58 + 242,20 = 535,78 \text{ грн.}$$

Величину витрат на електроенергію визначимо за формулою:

$$S_{\text{ЕЛ}} = K_{\text{П}} \cdot W_{\text{ЕЛ}} \cdot B_{\text{ЕЛ}} \cdot T_{\text{Р}}; \quad (4.9)$$

де: $B_{\text{ЕЛ}}$ – ціна 1 кВт/год електроенергії – 3,17 грн;

$W_{\text{ЕЛ}}$ – витрата за годину енергії, кВт/год.

Енергообладнання лінії виробництва капролактаму споживало 25кВт/год, після вдосконалення САК виробництва капролактаму кількість енергоспоживачів збільшилось, тому споживання збільшилось до 25,5 кВт/год.

Виходячи з цього витрати на електроенергію до модернізації склали:

$$S_{\text{ЕЛ1}} = 1,1 \cdot 25 \cdot 3,17 \cdot 1990,48 = 173520,09 \text{ грн.}$$

після модернізації:

$$S_{\text{ЕЛ2}} = 1,1 \cdot 25,5 \cdot 3,17 \cdot 2003,19 = 178120,65 \text{ грн.}$$

Розрахунок суми річних витрат на експлуатацію САК виробництва капролактаму зведений у таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Сума річних витрат на експлуатацію

Найменування статті витрат	Величина витрат	
	До впровадження САК, грн.	Після впровадження САК, грн.
Зарплата з нарахуваннями	298879,63	150394,05
ТО та поточний ремонт	1774,59	535,78
Електроенергія	173520,09	178120,65
Разом	474174,31	329050,48

4.6 Розрахунок вартості машино–години роботи лінії виробництва капролактаму

Розрахунок вартості машино–годин розрахуємо за формулою:

$$S_{\text{МГ}} = \frac{S}{T_p}. \quad (4.10)$$

До модернізації вартість однієї машино-години складала:

$$S_{\text{МГ1}} = \frac{474174,31}{1990,48} = 238,22 \text{ грн. / год}$$

Після модернізації вартість однієї машино-години змінилась і складає:

$$S_{\text{МГ2}} = \frac{474174,31}{2003,19} = 164,26 \text{ грн. / год}$$

4.7 Розрахунок вартості технологічної операції на одиницю продукції

Вартість технологічної операції визначається за формулою:

$$S_{\Pi} = \frac{S}{B}. \quad (4.11)$$

До модернізації вартість складала:

$$S_{\Pi 1} = \frac{474174,31}{4826,91} = 98,24 \text{ грн. / т. .}$$

Після модернізації вартість складає:

$$S_{\Pi 2} = \frac{474174,31}{5052,05} = 65,13 \text{ грн. / т. .}$$

4.8 Розрахунок економічного ефекту від проведення модернізації

Річний економічний ефект від проведення модернізації визначається за формулою:

$$E = (S_{\Pi 1} - S_{\Pi 2}) \cdot B; \quad (4.12)$$

$$E = (98,24 - 65,13) \cdot 5052,05 = 167273,38 \text{ грн / рік.}$$

Термін окупності витрат по модернізації розраховуємо за формулою:

$$T = \frac{Z_M}{E}; \quad (4.13)$$

$$T = \frac{147229,91}{167273,38} = 0,88 \text{ років} \approx 11 \text{ місяців.}$$

Отже, термін окупності приблизно 11 місяців.

Таблиця 4.3 – Техніко-економічні показники розроблення та дослідження САК виробництва капролактаму

Показники	Одиниці виміру	Значення		
		до модернізації	після модернізації	абсолютне відхилення
1. Капітальні витрати на модернізацію	грн.	х	147229,91	х
2. Річний фонд часу роботи	год.	1990,48	2003,19	-12,71
3. Річна експлуатаційна продуктивність	т.	4826,91	5052,05	-225,14
4. Річні експлуатаційні витрати, усього:	грн.	474174,31	329050,48	+145123,83
у тому числі:				
витрати на оплату праці	грн.	298879,63	150394,05	+148485,58
витрати на ТО та ТР	грн.	1774,59	535,78	+1238,81
витрати на електроенергію	грн.	173520,09	178120,65	-4600,56
5. Вартість однієї машино-години роботи	грн./год.	238,22	164,26	+73,96
6. Вартість технологічної операції	грн./ т.	98,24	65,13	+33,11
7. Річний економічний ефект	грн.	х	167273,38	х
8. Строк окупності капітальних вкладень	місяців	х	11	х

Висновки за розділом

1. Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт електрообладнання зменшились на 69,81%.

2. Витрати на електроенергію електропривода збільшились на 2,65%.

3. Вартість машино-години роботи електропривода зменшились на 31,05%.

4. Вартість технічної операції для одиниці продукції після модернізації знизилась на 33,70%.

5. Економічна ефективність від проведеної автоматизації склала 167273,38 грн.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі проаналізовано процес отримання капролактаму на стадії синтезу технологічного потоку. На основі вивченого процесу було складено функціональну схему. Відповідно до перебігу технологічного процесу були визначені параметри, що підлягають контролю та регулюванню. Для контролю та регулювання цих параметрів було підібрано відповідне обладнання. У роботі використано нові розробки вітчизняних та зарубіжних виробників у галузі приладобудування. Було розроблено функціональну схему автоматизації, електричну схему та складено специфікацію використаного обладнання.

Для роботи електропривода подачі лактамного масла на низьких частотах було здійснено налаштування вольт-частотних характеристик за допомогою підбору напруги компенсації. Була побудована імітаційна модель перетворювач частоти-асинхронний двигун з скалярним керуванням, за допомогою даної моделі були отримані динамічні характеристики ступінчастого циклу роботи електропривода подачі лактамного масла з подальшою зупинкою двигуна, а також отримані динамічні характеристики зупинки двигуна без налаштування вольт-частотних характеристик, з яких видно, що на низьких частотах двигун не може утримати момент навантаження.

У економічному розділі виконали техніко-економічне обґрунтування розробки та дослідження автоматизованої системи виробництва капролактаму та довели економічну ефективність запропонованих заходів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Галай М. В. Імпульсні, цифрові та релейні системи автоматичного керування: навчальний посібник: – Полтава: ПолтНТУ, –2002. – 222 с.
2. Галай М. В. Лінійні неперервні системи автоматичного керування: навчальний посібник: – Полтава: ПолтНТУ, – 2001. – 140 с.
3. Грабко В. В. Мікропроцесорні системи керування електроприводами. Розрахунок цифрової системи керування електроприводом постійного струму. Курсове та дипломне проектування : навчальний посібник / В. В. Грабко, М. П. Розводюк, В. В. Грабко. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 97 с.
4. Грабко В. В. Системи керування електроприводами. Розрахунок системи підпорядкованого керування електроприводом постійного струму. Курсове та дипломне проектування : навчальний посібник / В. В. Грабко, М. П. Розводюк, В. В. Грабко. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 89 с.
5. Зеленов А. Б. Синтез та цифрове моделювання систем управління електроприводів постійного струму з вентильними перетворювачами : навч. посібник / А. Б. Зеленов, І. С. Шевченко, Н. І. Андрєєва. – Алчевськ : ДГМІ, 2002. – 400 с
6. Півняк Г. Г. Сучасні частотно-регульовані асинхронні електроприводи з широтно-імпульсною модуляцією / Г. Г. Півняк, О. В. Волков. – Дніпропетровськ, НГУ, 2006. – 470 с.

7. Шибітченко В. Г., Стрижеус Д. Розрахунок статичних параметрів елементів автоматизованого електропривода: навчальний посібник: – Полтава: ПОЛТНТУ, – 2010. - 107 с.
8. Шибітченко В. Г., Шефер О. В., Бороздін М. К. Датчики й регулятори в автоматизованому електроприводі: навчальний посібник: –Полтава: ПОЛТНТУ, – 2011. - 88 с.
9. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» – Полтава: Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2021. – 25 с.
10. <http://www.maksvel.com.ua/index.php/statti/79-datchyky-temperatury>
11. <http://tekua.com.ua/ru/product/pbr2m1-257.html>
12. <http://www.doka.lviv.ua/?chapter=prod&prod=157&t=1>

ДОДАТКИ

- **Метою магістерської роботи** є дослідження можливості розробки автоматизованої системи виробництва капролактаму.
- Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні **завдання**:
 - провести аналіз сучасного виробництва капролактаму;
 - виявити недоліки роботи існуючої системи автоматизації;
 - висунути вимоги до розробки нової системи автоматизації;
 - розробити компактну систему автоматизації виробництва капролактаму з використанням сучасної елементної бази;
 - обрати засоби автоматизації, що будуть контролювати необхідні параметри;
 - обрати виконавчі пристрої;
 - виконати економічне обґрунтування запропонованої автоматизації технологічного процесу.
- **Об'єктом магістерської роботи** є автоматизована система керування виробництвом капролактаму.
- **Предметом магістерської роботи** є дослідження можливості контролю температури, кислотності та витрати води у технологічному процесі виробництва капролактаму.

Існуюча система автоматизації виробництва капролактаму

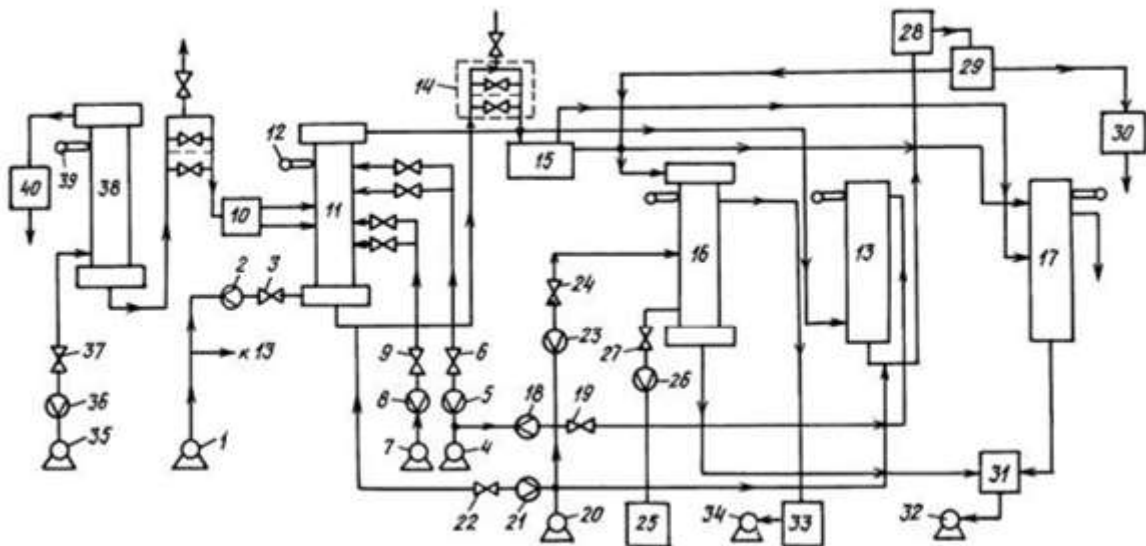


Схема підключення приладу автоматичного регулювання температурою

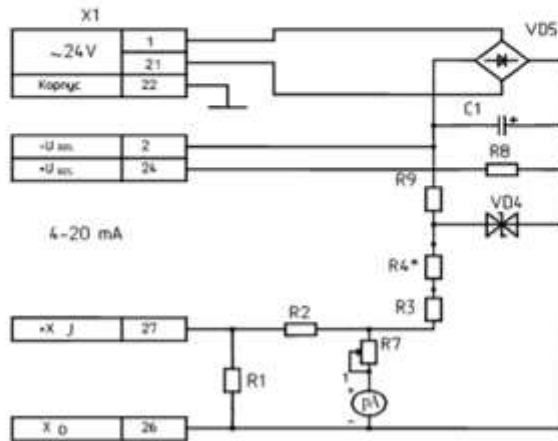
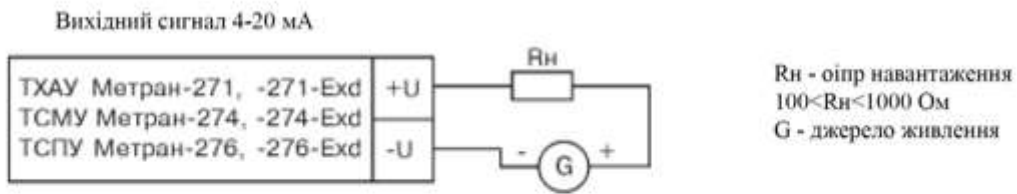


Схема підключення блоку ручного керування

Схема зовнішніх підключень пускача

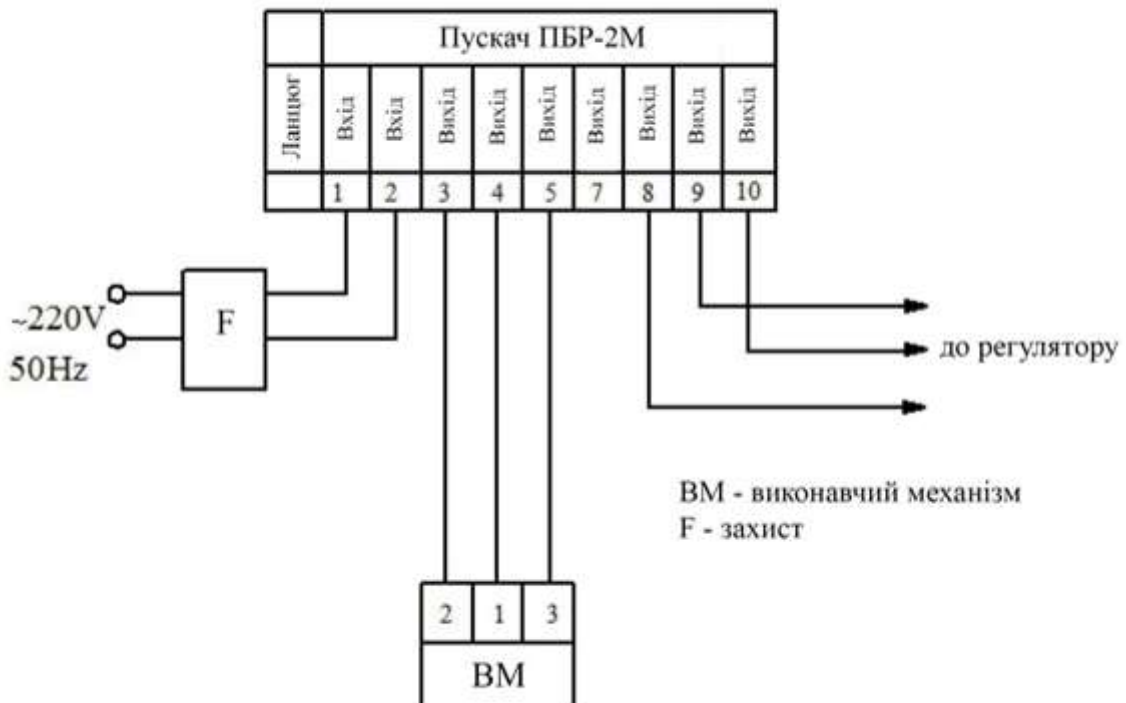
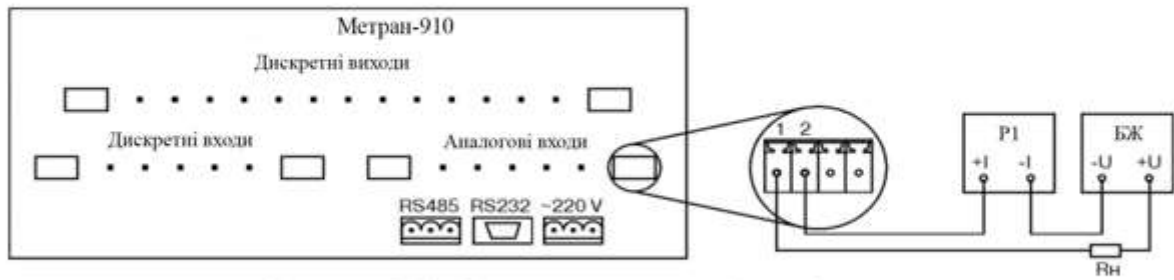
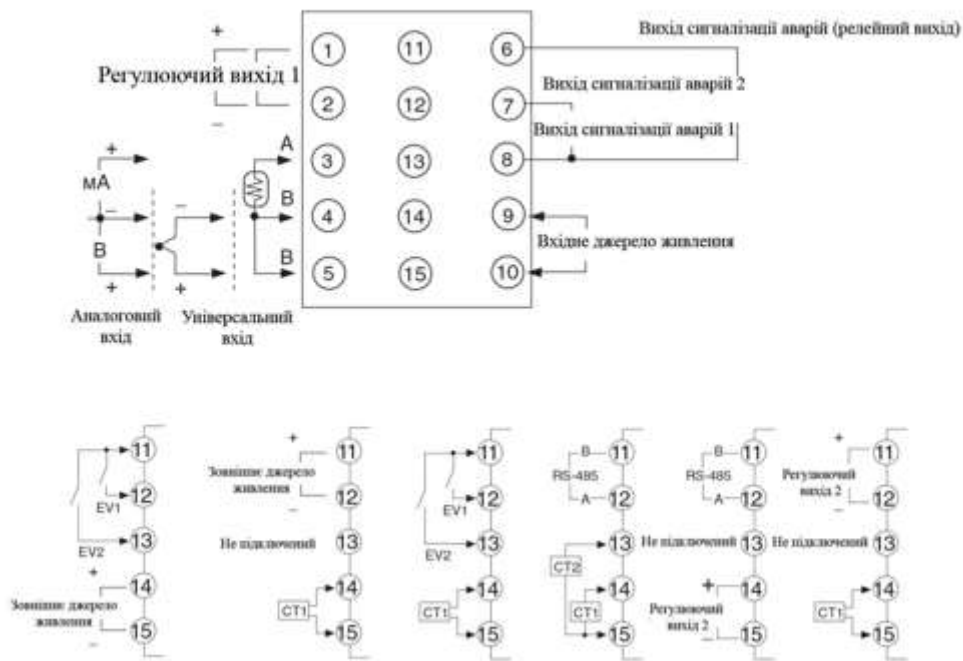


Схема підключення ресстратора Метран 910

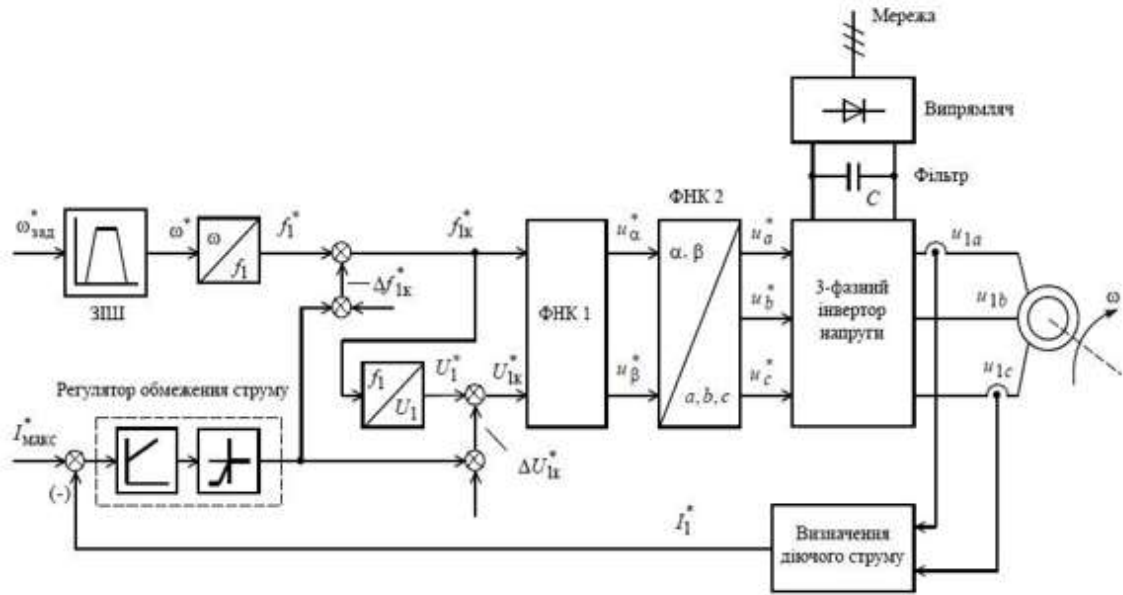


P1 - датчик; БЖ - блок живлення датчика; R_n - опір навантаження

Схема зовнішніх підключень Отрон E5CN-CMT-500

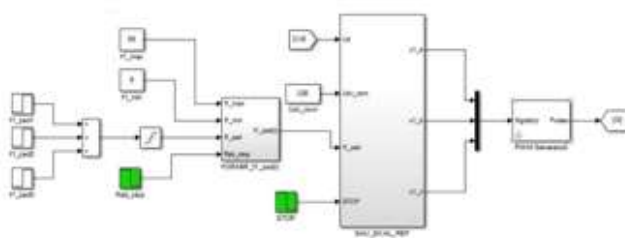


Функціональна схема САК електропривода насосу

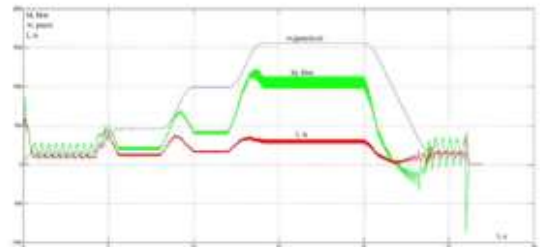


ЗШ – задатчик інтенсивності швидкості; ФНК1 – формувач напруги керування; ФНК 2 – перетворювач напруги керування

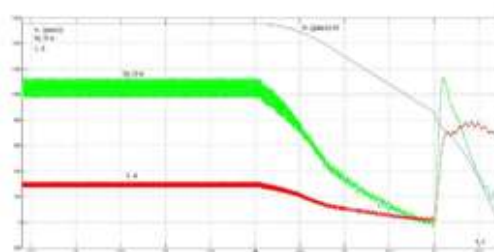
Дослідження динамічних режимів роботи насоса



Імітаційна модель завдання на силовий канал системи перетворювач частоти – асинхронного електродвигуна



Діаграми відпрацювання електроприводом насоса ступінчастого циклу 5 Гц, 15 Гц, 32 Гц, 50 Гц, робочий стоп двигуна до 5 Гц, повної зупинки



Діаграми відпрацювання електроприводом насоса без компенсації вольт-частотних характеристик

Алгоритм роботи автоматизованої системи

Алгоритм регулювання температури реакційної суміші на виході циркуляційного холодильника



Алгоритм контролю температури зворотної оборотної води



Алгоритм регулювання витрати технологічної води



Таблиця техніко-економічних показників

Показники	Одиниці виміру	Значення		
		до модернізації	після модернізації	абсолютне відхилення
1. Капітальні витрати на модернізацію	грн.	x	147229,91	x
2. Річний фонд часу роботи	год.	1990,48	2003,19	-12,71
3. Річна експлуатаційна продуктивність	т.	4826,91	5052,05	-225,14
4. Річні експлуатаційні витрати, усього:	грн.	474174,31	329050,48	+145123,83
у тому числі:				
витрати на оплату праці	грн.	298879,63	150394,05	+148485,58
витрати на ТО та ТР	грн.	1774,59	535,78	+1238,81
витрати на електроенергію	грн.	173520,09	178120,65	-4600,56
5. Вартість однієї машино-години роботи	грн./год.	238,22	164,26	+73,96
6. Вартість технологічної операції	грн./ т.	98,24	65,13	+33,11
7. Річний економічний ефект	грн.	x	167273,38	x
8. Строк окупності капітальних вкладень	місяців	x	11	x