

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування

Навчально-науковий інститут енергетики, автоматики та водного
господарства
Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-
інтегрованих технологій

04-03-408М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсового проєкту
«Автоматизація технологічних процесів»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за освітньо-професійною програмою «Автоматизація, комп'ютерно-
інтегровані технології та робототехніка»
спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка»
денної та заочної форми навчання

Рекомендовано
науково-методичною радою
з якості ННІ ЕАВГ
Протокол № 4 від 17 .12.2024 р.

Рівне – 2024

Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Автоматизація технологічних процесів» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» денної та заочної форми навчання. [Електронне видання] / Клепач М. І., Клепач М. М. – Рівне : НУВГП, 2024. – 27 с.

Укладачі: Клепач М. І. к.ф.-м.н., доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій;
Клепач М. М. к.т.н., доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Відповідальний за випуск: Древецький В. В., д.т.н., проф., професор кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Керівник групи забезпечення спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» Христюк А. О. к.т.н., доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Попередня версія МВ : 04-03-158.

© М. І. Клепач,
М. М. Клепач, 2024
© НУВГП, 2024

Метою виконання курсового проєкту «Автоматизація технологічних процесів» є:

- закріплення знань, отриманих при вивченні одноіменної та сумісних дисциплін і вміння їх використовувати для вирішення завдань автоматизації технологічних процесів;

- засвоєння методів аналізу технологічного процесу як об'єкта управління;

- засвоєння методів розробки автоматизованих систем керування технологічними об'єктами;

- обґрунтування вибору комплексу технічних та програмних засобів автоматизації;

- розрахунок і моделювання контуру автоматичного регулювання технологічного параметра;

- розробка алгоритму та програмного забезпечення для реалізації функцій програмного управління технологічними об'єктами.

В результаті виконання курсового проєкту студент повинен вміти аналізувати технологічний процес як об'єкт автоматизації, визначати вхідні і вихідні координати об'єкта та основні збурення, виявляти фактори, що визначають ефективність технологічного процесу, синтезувати контури автоматичного регулювання, реєстрації, сигналізації і блокування, вибирати комплекс засобів автоматизації та розробляти алгоритми і програмне забезпечення для реалізації функцій управління технологічним процесом.

1. Загальні методичні положення

1. Курсовий проєкт виконується відповідно до теми, затвердженої в установленому порядку.

2. Тема курсового проєкту може бути запропонована студентом та погоджена з керівником проєкту.

3. При формулюванні теми курсового проєкту заповнюється бланк завдання на курсовий проєкт; форма завдання приведена в Додатку А. Після вибору теми курсового проєкту її назва і прізвище виконавця розміщують на навчальній платформі.

4. Додаткові дані для виконання курсового проєкту студент отримує самостійно на основі детального вивчення технічної і патентної літератури, стандартів на норми та правила розроблення систем автоматизації технологічних процесів.

5. Курсовий проєкт виконується здобувачем вищої освіти самостійно. Викладач консулює студента з найбільш складних питань та контролює виконання проєкту.

6. У процесі курсового проєктування студент зобов'язаний дотримуватися графіка проєктування, який затверджується до початку проєктування, і своєчасно представляти результати виконаної роботи на перевірку керівникові проєкту.

7. Закінчений курсовий проєкт повинен бути перевірений на наявність текстових збігів, розміщений на навчальній платформі Moodle та захищений студентом у встановлені терміни. За результатами виконаної роботи та захисту курсового проєкту студентів виставляється оцінка за 100-бальною шкалою.

Курсовий проєкт складається з описової частини обсягом 30 – 35 сторінок тексту форматом А4 та графічної частини – два аркуші формату А3.

Рекомендованими об'єктами автоматизації для курсового проєкту є типові технологічні процеси в конкретному апаратному оформленні теплоенергетичних, хімічних, водогосподарських, харчових та інших галузей народного господарства.

2. Пояснювальна записка

Пояснювальна записка до курсового проєкту має таку структуру:

Титульна сторінка.

Завдання на курсовий проєкт.

Вступ.

1. Аналіз технологічного процесу як об'єкта управління.
 - 1.1. Опис технологічного процесу і обладнання.
 - 1.2. Теоретичні основи технологічного процесу Аналіз динамічних і статичних характеристик технологічного об'єкта управління. Структурна схема зв'язків об'єкта.
 - 1.3. Карта технологічних параметрів.
2. Розроблення системи автоматизованого керування технологічним процесом.
 - 2.1. Аналіз існуючих схем автоматизації та побудова структурної схеми автоматизації технологічним об'єктом.
 - 2.2. Контури автоматичного контролю, регулювання, програмного управління сигналізації та блокування.
 - 2.3. Вибір комплексу технічних і програмних засобів автоматизації.
 - 2.4. Розроблення функціональної схеми автоматизації.
3. Розрахунок системи автоматичного регулювання.
 - 3.1. Розрахунок параметрів математичної моделі об'єкта регулювання.
 - 3.2. Розрахунок оптимальних налаштувань регулятора.
 - 3.3. Моделювання та оптимізація перехідного процесу.
4. Розроблення програмного забезпечення АСУ..
 - 4.1. Розроблення алгоритму функціонування автоматизованої системи управління.
 - 4.2. Побудова логіко-динамічної моделі управління.
 - 4.3. Розроблення програмного забезпечення ПЛК.

Висновки.

Список літератури.

Зміст.

Пояснювальну записку виконують на стандартних аркушах формату А4 з відступами зверху і знизу по 2 см, зліва 2,5 см, справа 1,5 см, шрифт Times New Roman розміром 14 пт, міжрядковий інтервал – 1,5, формули – в редакторі MS Equation 3.0 або MathType.

Текстовий матеріал оформляють згідно з вимогами до оформлення наукових розробок та статей регламентованими Державним стандартом України "Документація. Звіти в сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення" (ДСТУ 3008-95), а

також стандартами "Єдиної системи конструкторської документації" (ГОСТ 2.701-84 ЕСКД). Всі технічні рішення студента повинні бути науково обгрунтовані і узгоджені з керівником. Загальновідомі технічні рішення повинні базуватись на літературних джерелах із використанням відповідних посилань.

Формули, графіки, номограми, таблиці, алгоритми, програми повинні бути пронумеровані і мати відповідні назви.

На всі літературні джерела, наведені в переліку літератури, повинні бути посилання у відповідних розділах.

Кожен розділ описової частини проєкту повинен мати заголовок. Не допускається скорочення термінів, за винятком загально прийнятих. Всі розрахунки виконуються в системі SI. Графічні матеріали та креслення виконуються згідно з вимогами ЄСКД – 29 та вимогами до розроблення систем автоматизації. Позначення основних фізичних величин в розрахункових формулах повинні відповідати SI і мати пояснення після першого їх використання в тексті. Позначення специфічних величин і параметрів виконувати згідно з даними довідників та навчальних посібників.

3. Графічна частина проєкту

Графічна частина проєкту складається з:

1. Функціональної схеми автоматизації.
2. Результатів моделювання САР для безперервних ТОУ або алгоритмів і програм логічного управління для ТОУ періодичної дії.

Розгорнуту функціональну схему автоматизації (ФСА) виконують згідно з діючими державними стандартами на умовне зображення технологічного обладнання безмасштабно. Умовні позначення на технічні засоби автоматизації та літерні позначення приладів і пристроїв виконують згідно з ДСТУ Б А.2.4-6:2008 "Автоматизація технологічних процесів. Умовні графічні зображення приладів і засобів автоматизації в схемах".

При необхідності у графічній частині проєкту також можуть бути представлені:

- принципова електрична, кінематична, пневматична або гідравлічна схема об'єкту керування;
- результати аналізу систем логіко-програмного управління, циклограми, блок-схема кінцевого автомата, граф функціонування,

моделі системи виконані засобами уніфікованої мови моделювання (UML), структурна схема регулятора, тощо.

Графічна частина курсового проекту має давати повне уявлення про об'єкт проектування, достатнє для подальшої розробки робочої документації. До креслень повинні розроблятися специфікації на обладнання, матеріали та інші елементи, передбачені вимогами ЄСКД. Ці документи включаються в додаток до пояснювальної записки.

Обсяг графічної частини курсового проекту складають 2 аркуші формату А3. Креслення рекомендується виконувати з використанням систем автоматичного проектування (САПР) типу AutoCAD та інших.

Аркуші графічної частини прикріплюються до записки.

4. Зміст пояснювальної записки

Титульну сторінку оформляють відповідно з Додатком А.

Завдання на курсовий проєкт оформляють відповідно з додатком Б.

У вступі необхідно подати загальну характеристику технологічного процесу і його призначення. Вказати досягнутий рівень автоматизації даного технологічного процесу та обґрунтувати напрямки вдосконалення системи автоматизації із врахуванням можливостей сучасних програмно-технічних засобів і методів автоматизації та комп'ютерних технологій.

В **розділі 1** технологічний процес аналізують як об'єкт автоматизованого керування

П.1.1. Розглядають технологічну схему, виділяють основну стадію технологічного процесу. Описують апаратні рішення по реалізації технологічного процесу [5; 13; 17]. Наводять основні технічні показники та режимні параметри роботи технологічного обладнання.

Визначають і аналізують фактори, що впливають на економічність, продуктивність, інтенсивність, якість, безпеку реалізації та інші особливості даного процесу. Визначають критерій ефективності і мету автоматизованого керування об'єктом.

П.1.2. Проводять теоретичний аналіз технологічного процесу, встановлюють основні математичні закономірності на яких базується технологічний процес, за необхідності розраховують

конструктивно-технологічні параметри процесу та обґрунтовують конструктивні рішення щодо апаратного оформлення процесу [1-4].

На основі вивчення фізико-хімічних явищ, які відбуваються в технологічних апаратах і машинах, складають рівняння матеріального і енергетичного балансів в диференціальній формі за всіма компонентами. В результаті аналізу рівнянь динаміки, складених на основі матеріального і теплового балансів, отримують передавальні функції по каналах вхід-вихід та вирази для коефіцієнтів передачі і постійних часу передавальних функцій [10; 12; 14]. Далі від рівнянь динаміки переходять до рівнянь статички, та здійснюють лінеаризацію нелінійних характеристик, розкладаючи нелінійну функцію в ряд Тейлора при збереженні лінійних членів ряду.

За результатами математичного аналізу визначають координати керування об'єктом, поділяючи їх на вхідні керуючі, вхідні збурюючі і вихідні регульовані параметри. В більшості випадків, вихідні параметри підлягають стабілізації, або зміні за певним законом у часі. Вхідні параметри, в свою чергу, поділяють на три групи: параметри зміною яких здійснюється керування ТОУ (регулюючі величини); параметри які впливають на вихідні величини, але керування за якими ускладнене або неможливе (ці параметри називають збурюючими величинами або впливами); параметри (фактори), що пов'язані зі специфікою роботи технологічного апарата. З врахуванням аналізу технологічного об'єкта та поділом параметрів на вихідні, регулюючі, збурюючі і фактори пов'язані зі специфікою роботи складають його структурну (інформаційну) схему. На структурній схемі показують технологічний об'єкт у вигляді прямокутника, а вхідні, вихідні і збурюючі величини – стрілками а зв'язки між окремими величинами – лініями.

П.1.3. Аналізують структурну схему технологічного об'єкта управління та визначають величини, що найбільш суттєво впливають на хід технологічного процесу перевіряють щоб вплив керуючої дії на регульовану змінну був більшим за вплив найбільшого із збурень. Оцінюють інерційність каналів та значення динамічних параметрів об'єкта по окремих каналах збурення та вибирають регулюючі та регульовані координати. Оцінюють динамічні властивості можливих контурів регулювання.

Використовуючи додаткові відомості про технологічний регламент, наукові дослідження технологічного процесу, правила експлуатації технологічної апаратури та вимоги до охорони довкілля, обґрунтовують номінальні значення параметрів та межі їх відхилення. Назви технологічних параметрів, їх номінальні значення та можливі межі відхилень заносять в технологічну карту параметрів, яку складають у вигляді табл.1.

Таблиця 1

Карта технологічних параметрів

№ п/п	Назва параметра	Одиниця вимірювання	Номінальне значення	Допустимі відхилення

В розділі 2 розробляють автоматизовану систему управління заданим технологічним процесом.

П.2.1. Аналіз існуючих схем автоматизації ТОО проводять з метою використання набутих відомостей для реалізації архітектури системи, побудови контурів автоматичного регулювання та зв'язків між ними, визначення можливостей забезпечення необхідних показників якості перехідного процесу окремих контурів регулювання з врахуванням конкретних умов роботи об'єкта та забезпечення функціональних ознак проектованої системи.

Проектування системи автоматизації передбачає побудову її структурної схеми. Під структурою системи автоматизації розуміють сукупність підсистем на які вона може бути розкладена. Графічне зображення структури керування називають структурною схемою. Вибір структури керування технологічним об'єктом суттєво впливає на ефективність її роботи. В курсовому проєкті рекомендується однорівнева централізована структура, що складається із технологічного об'єкта управління і керуючої системи [11].

П.2.2. На основі аналізу статичних і динамічних характеристик технологічного об'єкта по окремих каналах зв'язку, виконаних в пунктах 1.2, 1.3, та існуючих схемах автоматизації технологічного об'єкта обґрунтовують контури автоматичного контролю, регулювання, сигналізації та блокування. При виборі контурів автоматичного контролю і регулювання необхідно враховувати

поставлені вимоги щодо якості регулювання. При проектуванні схем сигналізації та блокування слід враховувати, що система автоматизації повинна надійно захистити технологічне обладнання, оперативний персонал та навколишнє середовище. Крім того, система автоматизації при мінімальних технічних засобах повинна забезпечувати найбільшу кількість функціональних можливостей. Обсяг одержуваної технологічної інформації повинен бути достатнім для розрахунку техніко-економічних показників та прогнозування надійної роботи системи.

Рекомендації щодо вибору контурів автоматизації та засобів їх реалізації містяться в довідковій літературі галузевих проектних організацій.

Враховуючи сучасні тенденції автоматизації, рівень науково-технічної підготовки об'єкта до автоматизації та функціональні можливості сучасних засобів автоматизації визначають функціональні ознаки систем автоматизації по окремих каналах технологічного об'єкта управління та технологічних параметрах. Вибрані і обґрунтовані функціональні ознаки зводять у табл. 2.

Таблиця 2

Функціональні ознаки контурів автоматизації

№ з/п	Обсяг автоматизації Назва параметра	Індикація	Реєстрація	Дистанційне керування	Захист	Блокування	Автоматичне регулювання	Сигналізація

П.2.3. Для побудови функціональної схеми автоматизації (ФСА) необхідно обґрунтувати і вибирати комплект технічних засобів автоматизації (ТЗА), якими оснащуються окремі контури автоматизації [9].

Вибір технічних засобів автоматизації (ТЗА) здійснюють на основі каталогів та Інтернет-сайтів фірм-виробників і їх офіційних дилерів. Важливими факторами при виборі програмно-технічних засобів автоматизації є співвідношення продуктивність/ціна.

Вибір засобів управління відбувається в такій послідовності:

1. Вибір фірми-виробника засобів управління.
2. Вибір моделі і комплектації програмованих контролерів.
3. Вибір допоміжних засобів і засобів зв'язку з оперативним персоналом (засоби передачі і перетворення даних, панелі оператора тощо).
4. Визначення складу інструментального програмного забезпечення.

При виборі ТЗА необхідно також враховувати особливості технологічного процесу, умови пожежо- і вибухонебезпечності, агресивність і токсичність оточуючого середовища. Особливу увагу слід звернути на діапазон зміни технологічних параметрів і фізико-хімічні властивості контрольованих середовищ; необхідну точність та швидкодію засобів. Систему автоматизації технологічного процесу реалізують, як правило, на базі серійних ТЗА з уніфікованими вхідними та вихідними сигналами. При цьому слід передбачити можливості сумісності обладнання, для чого можуть використовуватися відповідні перетворювачі.

Основними програмно-технічними засобами автоматизації виробничих процесів є програмовані логічні контролери (ПЛК) [9]. В проєкті рекомендується використовувати програмовані логічні контролери як вітчизняного виробника – підприємства "Мікрол", так і ліцензованих, відомих в Україні фірм Schneider Electric, Siemens, VIPA, Mitsubishi Electric, ICP DAS, OВЕН та інших. Більшість програмованих логічних контролерів мають модульну структуру, тобто базовий варіант може доповнюватися модулями розширення аналогових і дискретних входів/виходів. При виборі блоків розширення слід звернути увагу на те, що деякі блоки вводу можуть безпосередньо працювати з давачами температури у вигляді термопар та термометрів опору. При цьому відпадає необхідність використання проміжних перетворювачів, що спрощує та підвищує надійність системи.

При виборі давачів основну увагу слід звернути на забезпечення необхідної точності вимірювань. Перевагу слід надавати таким, які

забезпечують вихідний струмовий сигнал 4-20 мА, при цьому віддаль між давачем і контролером може складати до 120 м.

При виборі виконавчих механізмів слід орієнтуватися на такі, що мають власні мікропроцесорні засоби керування. В цьому випадку значно спрощується узгодження їх спряження із ПЛК.

Всі вибрані з каталогів ТЗА заносять у зведену таблицю – специфікацію на ТЗА за формою табл.3.

Таблиця 3

Специфікація на технічні засоби автоматизації

№ з/п	Позиція на ФСА	Назва засобу та коротка техн. характеристика	Тип	Кількість
1	2	5	6	7

Графу 5 специфікації заповнюють таким чином, щоб даний засіб можна було замовити в комплектуючих організаціях. Форма замовлення окремих засобів приводиться в каталогах.

П.2.4. Використовуючи результати аналізу інформаційної схеми об'єкта (пункти 1.2, 1.3) на технологічній схемі визначають точки відбору імпульсів та введення керуючих впливів, відокремлюють основні та додаткові канали проходження сигналів, складають окремі контури регулювання, які компенсують вплив збурень. У разі потреби контури регулювання взаємопов'язують. Для складних технологічних процесів ФСА окремих технологічних об'єктів об'єднують в загальну ФСА. Вносять необхідні корективи в схеми з узгодженням роботи окремих технологічних апаратів та приймають кінцеве рішення по обсягу ФСА.

В даному пункті наводять основні рішення прийняті по автоматизації технологічного об'єкта. Надають детальний опис контурів керування від точки контролю до місця прикладання керуючого впливу. Спочатку описують контури вимірювання, сигналізації, а потім контури автоматичного регулювання, дистанційного керування, захисту та блокування. Опис кожного контуру здійснюється за функціональними зв'язками із зазначенням позицій кожного засобу, який входить в контур. В описі

розкривають функціональне призначення кожного засобу. Послідовність опису визначається черговістю проходження сигналу в контурі. При описі аналогічних контурів роблять посилання, що цей контур діє аналогічно як описаний (наприклад, контур 3 діє як контур 2).

В розділі 3 наводять результати розрахунку і моделювання основного контуру автоматичного регулювання технологічного параметру об'єкта.

П.3.1. Основу системи автоматизації неперервних технологічних процесів складають контури автоматичного регулювання, тому в курсовому проєкті передбачено розрахунок, моделювання та оптимізацію параметрів основного контуру системи автоматичного регулювання.

Розрахунок параметрів регулятора за заданим критерієм якості регулювання здійснюється на основі математичної моделі об'єкта. Математичні моделі об'єктів автоматичного регулювання складають на основі основних законів фізики і хімії в диференціальній формі. Для більшості типових технологічних об'єктів можна використовувати математичні моделі запозичені з навчальної і методичної літератури. Математична модель повинна бути доведена до конкретних числових значень параметрів моделі. Маючи аналітичні залежності для визначення параметрів математичної моделі та знаючи конструктивні параметри об'єкта, матеріальні та енергетичні потоки розраховують основні параметри математичної моделі об'єкта. Можлива побудова математичної моделі на основі кривих розгону об'єкта та його ідентифікації [10;14].

П.3.2. Параметри перехідного процесу контуру регулювання визначають на основі аналізу статичних і динамічних характеристик об'єкта, можливих значень збурень та вимог щодо якості регулювання технологічного параметра. Ці вимоги, як правило, формуються технологами і приводяться в довідковій літературі. Згідно з вимогами технології вибирають один із трьох типових перехідних процесів: аперіодичний; з 20% перерегулюванням або із мінімальною квадратичною оцінкою якості регулювання при обмеженнях на запаси стійкості.

Для технологічних параметрів, до яких не ставляться жорсткі вимоги відносно якості перехідного процесу, вибирають

регулятори з простим схемним рішенням. Для параметрів, які є визначальними для даного об'єкта, вибирають оптимальний перехідний процес, що відповідає, як правило, перехідним процесам із мінімальною квадратичною площею відхилення [15]. Закон регулювання регулятора вибирають з урахуванням динамічних особливостей об'єкта та вимог щодо якості регулювання. В промисловості найбільш широко використовують П-, ПІ- та ПІД-регулятори.

Розрахунок оптимальних налаштувань регулятора.

Розрахунок оптимальних параметрів налаштувань регуляторів за мінімумом інтегральної квадратичної оцінки якості можна використовувати для лінійних систем в яких немає динамічних ланок із постійним запізненням.

Серед інженерних методів розрахунку налаштувань регуляторів найпоширенішими є експериментальний за кривими розгону, метод незгасаючих коливань Нікольса – Ціглера і метод розширених частотних характеристик (РЧХ). Суть і особливості методів розкривається в теоретичному курсі даної дисципліни.

Якщо об'єкт ідентифікується диференціальним рівнянням першого порядку і має сталу часу T_o , час чистого запізнення τ та коефіцієнт передачі по досліджуваному каналу K_o , то оптимальні налаштування регулятора (ОНР) знаходять експериментальним методом за такими формулами:

коефіцієнт передачі регулятора

$$K_{opt} = 0.83K_o \frac{\tau}{T_o}; \quad /3.1/$$

постійна інтегрування

$$T_{ionm} = 2\tau; \quad /3.2/$$

постійна диференціювання

$$T_{oonm} = \frac{T_{ionm}}{4,5}. \quad /3.3/$$

Експериментальний метод є наближеним, стосується об'єктів першого порядку з постійним запізненням і використовується у випадках коли відомо параметри кривої розгону об'єкта.

При знайденій передаточній функції еквівалентного об'єкта $W_{eo}(s)$ оптимальні настроювання регулятора можна знайти методом незгасаючих коливань. Автоматична система регулювання розміщується на межі стійкості, тобто має коливання вихідної величини з однаковими амплітудою і частотою, якщо характеристичне рівняння такої системи дорівнює нулю. Отже, для одноконтурної АСР маємо

$$1 + W_{pez}(s)W_{eo}(s) = 0 \quad /3.4/$$

В частотному домені рівняння /3.4/ набирає вигляду

$$W_{pez}(j\omega)W_{eo}(j\omega) = -1 \quad /3.5/$$

або експоненціальній формі

$$A_{pez}(\omega)e^{j\varphi_{pez}(\omega)}A_{eo}(\omega)e^{j\varphi_{eo}(\omega)} = -1 \quad /3.6/$$

Комплексне рівняння /3.6/ виконується за умов, що

$$A_{pez}(\omega_{кр})A_{eo}(\omega_{кр}) = 1 \quad /3.7/$$

$$\varphi_{pez}(\omega_{кр}) + \varphi_{eo}(\omega_{кр}) = \pi \quad /3.8/$$

Приймається спочатку, що регулятор ґрунтується на П-законі регулювання, частотна характеристика якого

$$W_{pez}(j\omega) = A_{pez}(\omega)e^{j\varphi_{pez}(\omega)} = K_{pez} \quad /3.9/$$

З урахуванням /3.9/ система рівнянь /3.7/, /3.8/ набирає такого вигляду:

$$K_{кр} = \frac{1}{A_{eo}(\omega_{кр})} \quad /3.10/$$

$$\varphi_{eo}(\omega_{кр}) = \pi \quad /3.11/$$

Із рівняння /3.11/ знаходять критичну частоту коливань $\omega_{кр}$. Підставивши цю частоту в рівняння /3.10/ отримують критичний

коефіцієнт підсилення регулятора $K_{кр}$. Далі за знайденими $K_{кр}$ і $\omega_{кр}$ розраховують оптимальні значення параметрів регулятора.

Для паралельної реалізації ПІД-регулятора з передавальною функцією

$$W_p(s) = K_p + K_i \frac{1}{s} + K_d s \quad /3.12/$$

оптимальні значення настроювальних параметрів регуляторів знаходять за формулами, наведеними в табл. 4

Таблиця 4
Оптимальні настроювання регуляторів

Регулятор	Оптимальне настроювання		
	$K_{p,onn}$	$K_{i,onn}$	$K_{d,onn}$
П	$0,5K_{кр}$	–	–
ПІ	$0,45K_{кр}$	$0,986K_{кр} \omega_{кр}$	–
ПІД	$0,6K_{кр}$	$0,192K_{кр} \omega_{кр}$	$0,47 \frac{K_{кр}}{\omega_{кр}}$

Розраховані за табл.4 настроювання регулятора забезпечують ступінь загасання $\psi = 0.75...0.9$.

Метод розширених частотних характеристик ґрунтується на такому самому принципі, як і попередній метод, з тією лише різницею, що умова /3.5/ виконується при заданому ступені коливальності m , тобто

$$W_{pez}(m, j\omega)W_{eo}(m, j\omega) = -1 \quad /3.12/$$

Розширені частотні характеристики регулятора $W_{pez}(m, j\omega)$ і еквівалентного об'єкта $W_{eo}(m, j\omega)$ отримуються із передаточних функцій шляхом підстановки

$$s = -m\omega + j\omega \quad /3.12/$$

Величина $m = 0.21 \dots 0.36$ забезпечує необхідний на практиці запас стійкості. Метод використовується при невисоких порядках об'єктів із постійним запізненням.

Детальний опис методів оптимального налаштування регуляторів наведено [2].

П.3.3. Перехідний процес в аналізованій замкнутій САР можна отримати, розв'язавши диференціальне рівняння, що описує динаміку замкненої системи регулювання класичним чи операторним методами. Можуть також використовуватися як точні аналітичні, так і наближені методи [8; 10]. Найпростішим способом побудови перехідного процесу в контурі є використання програмного середовища MATLAB із додатком Simulink. Одержаний перехідний процес порівнюють із заданим та вносять необхідні зміни в параметри і структуру регулятора. Шляхом комп'ютерного моделювання встановлюють чутливість системи до зміни параметрів об'єкта. Якщо заданої якості регулювання в одноконтурній системі забезпечити не вдається, слід використати складнішу багатоконтурну систему регулювання.

В розділі 4 здійснюють розробку програмного забезпечення управління періодичним технологічним процесом.

П.4.1. Наводять опис алгоритму функціонування автоматизованої системи управління. Алгоритмом функціонування називають перелік завдань, які виконує АСК для досягнення мети керування. Алгоритм функціонування автоматизованої системи можна подати у вигляді описової, математичної або структурної форми. Описовою формою алгоритму є технологічний регламент. Математична форма алгоритму функціонування - це опис АСК у вигляді логічних алгебраїчних або диференціальних рівнянь, які встановлюють зв'язки між вихідними і вхідними технологічними параметрами. Структурна форма показує порядок передавання сигналів в АСК у вигляді структурної схеми.

П.4.2. Здійснюють побудову логіко-дискретної моделі управління. При реалізації періодичних технологічних процесів перехід від однієї стадії циклу до іншої може змінювати цільове призначення процесу і закономірності, яким він підпорядкований, і як наслідок – структуру математичної моделі,

що описує технологічний процес. Це дає можливість класифікувати процес як об'єкт змінної структури, для математичного опису якого необхідно використовувати логіко-динамічну модель (ЛДМ). Логічна частина моделі ЛДМ описує послідовність перемикачів виконавчих органів, необхідних для нормального функціонування об'єкта на різних стадіях його циклу. Для побудови логічної частини використовують різні мови: логічні схеми алгоритмів (ЛСА), граф-схеми алгоритмів (ГСА), мову циклічних процесів (МЦП), мережі Петрі, а останнім часом – універсальну мову моделювання UML.

Більшість цих мов базується на бульовій алгебрі і мають в своєму складі, як правило, два основних елементи: позиційний оператор (ПО), що вказує на положення виконавчого органу, та логічні умови (ЛУ), при виконанні яких виконавчий орган змінює своє положення. ПО і ЛУ можуть набувати одне з двох значень: 0 або 1.

Алгоритм можна подати у вигляді блок-схеми програми, діаграми діяльності тощо. Зображення блоків у алгоритмі, їх розміри, товщина ліній, кут нахилу ліній тощо, регламентуються Державним стандартом "Схеми алгоритмів, програм, даних і систем", а саме: 19.701-90 (ISO 5807-85).

П.4.3. Розробляють програмне забезпечення для реалізації алгоритму управління обраним ПЛК. Стандартом МЕК 61131-3 та українським стандартом ДСТУ ІЕС 61131-1:2005 визначено п'ять мов програмування для ПЛК:

Текстові мови:

- список інструкцій (*IL – Instruction List*);
- мова структурованого тексту (*ST – Structured Text*).

Графічні мови:

- мова функціональних блок-схем (*FBD – Function Block Diagram*);
- мова релейних діаграм або релейно-контактних схем (*LD - Ladder Diagram*);
- мова послідовних функціональних схем (*SFC- Sequential Function Chart*).

Лідери ринку ПЛК пропонують сьогодні дуже потужні комплекси програмування з підтримкою МЕК-мов, які теж

зберігають спадковість та фірмові традиції («*Concept*» фірми *Schneider Electric*, «*STEP 7*» фірми *Siemens*).

Серед фірм, що спеціалізуються на програмних продуктах слід відзначити фірму 3S і її продукт **CoDeSys** (*Controller Development System*), що є комплексом програм для проектування прикладного ПЗ, відлагодження в режимі емуляції і завантаження програми в ПЛК.

У **висновку** характеризують обсяг виконаної роботи та основні досягнення при розробленні теми.

5. Графічна частина проекту

Графічна частина проекту складається з функціональної схеми автоматизації технологічного процесу та результатів аналізу і моделювання САР на листах формату А3. Інші графічні матеріали приводять в записці у відповідності з обсягом виконаної роботи.

ФСА виконують згідно з діючими Держстандартами на умовне зображення технологічного обладнання без дотримання масштабу. Умовні позначення на ТЗА виконують згідно з ГОСТ 21.404-85. Приклад виконання функціональної схеми автоматизації наведено в додатк В.

Контури технологічного обладнання на ФСА рекомендовано виконувати лініями товщиною 0,6 – 1,5 мм; трубопровідні комунікації 0,6 – 1,5 мм; ТЗА – 0,5 – 0,6 мм; лінії зв'язку – 0,2 – 0,3 мм. Прямокутники пунктів керування – 0,6 – 1,5 мм.

Всі вимірювальні й перетворювальні прилади, встановлені на технологічному об'єкті зображуються на функціональних схемах автоматизації у вигляді кіл. Якщо прилади розміщуються на щитах і пультах в центральних або місцевих операторських приміщеннях, то всередині кола проводиться горизонтальна розділююча лінія. У верхній частині кола розміщують позначення параметрів, що контролюються, сигналізуються або регулюються та позначення функцій і функціональних ознак приладів і пристроїв. У нижній – позиційні позначення приладів і пристроїв. Місця розташування відбірних пристроїв і точок виміру вказуються за допомогою тонких суцільних ліній.

Літерні позначення засобів автоматизації будуються на основі латинського алфавіту і складаються з трьох груп літер:

1 літера вказує контрольований, сигналізований або регульований параметр:

- D – густина;
- E – будь-яка електрична величина;
- F – витрата;
- G – положення, переміщення;
- L – рівень;
- M – вологість;
- P – тиск;
- Q – якість суміші, концентрація;
- R – радіоактивність;
- S – швидкість (лінійна або кутова), частота обертання;
- T – температура;
- U – різні величини;
- V – в'язкість;
- W – маса;
- H – ручний вплив;
- K – часова програма;
- N – комплектна станція (контактор).

2 літера (не обов'язкова) – може вказувати уточнення характеру вимірюваної величини:

- D – різниця, перепад;
- F – співвідношення;
- J – автоматичне перемикання;
- Q – підсумовування, інтегрування.

3 група символів (декілька букв) – вказується один або декілька символів, що позначають функції та функціональні ознаки приладу:

- I – індикація;
- R – реєстрація;
- C – регулювання;
- S – перемикання;
- Y – перетворення сигналів;
- A – сигналізація;
- E – первинне перетворення параметра;
- T – проміжне перетворення параметра, передача сигналів на відстань;

К – перемикання управління з ручного на автоматичне і назад, управління по програмі, корекція.

6. Оцінювання курсового проєкту

Основними критеріями, що характеризують рівень компетентності здобувача при оцінюванні результатів виконання КП, є:

- виконання завдання на КП в повному обсязі;
- глибина і характер знань навчального матеріалу за змістом навчальної дисципліни, що міститься в основних та додаткових рекомендованих літературних джерелах;
- вміння аналізувати процеси, які досліджувалися, у їх взаємозв'язку і розвитку;
- характер відповідей на поставлені питання (чіткість, лаконічність, логічність, послідовність тощо);
- вміння застосовувати теоретичні положення під час розв'язання практичних задач;
- вміння аналізувати достовірність одержаних результатів.

Оцінювання результатів КП проводиться за такою шкалою:

0% - завдання не виконано;

40% - завдання виконано частково та містить суттєві помилки методичного або розрахункового характеру; 60% - завдання виконано повністю, але містить суттєві помилки у розрахунках або в методиці;

80% - завдання виконано повністю і вчасно, проте містить окремі несуттєві недоліки (розмірності, висновки, оформлення тощо);

100% - завдання виконано правильно, вчасно і без зауважень.

Література

1. Системи автоматичного керування технологічними комплексами : навч. посіб. / Сільвестров А. М., Островерхов М. Я., Шефер О. В., Ладік Н. А., Зіменков Д. К. Київ : КПІ ім.Ігоря Сікорського, 2022. 466 с.
- 2.Ковела І. М., Древецький В. В., Ковела С. І. Комп'ютеризовані системи керування : монографія. Рівне : Овід, 2017. 672с.
- 3.Методи сучасної теорії управління : навч. посіб. / Ладанюк А. П., Кишенько В. Д., Луцька Н. М., Іващук В. В. Київ : НУХТ, 2010. 196 с.
- 4.Бобух А. О. Автоматизовані системи керування технологічними процесами : навч. посіб. Харків : ХНАМГ, 2006. 186 с.
- 5.Пальчевський Б. О. Автоматизація технологічних процесів (виготовлення і пакування виробів) : навч. посіб. Львів : 2007. 430 с.
- 6.Ельперін І. В. Промислові контролери : навч. посіб. Київ : НУХТ, 2003. 320 с.
- 7.Стенцель Й. І. Автоматизація технологічних процесів хімічних виробництв : навч. посіб. Київ : ІСДО, 1995. 360 с.
- 8.Стенцель Й. І. Математичне моделювання технологічних об'єктів керування : навч. посіб. Київ : ІСДО, 1993. 320 с.
- 9.Промислові засоби автоматизації. Ч. 1. Вимірювальні пристрої : навч. посіб / за заг. ред. Бабіченка А. К. Харків : НТУ — НТІІ, 2001. 470 с.
- 10.Сидорчук Б. П., Наумчук О. М., Матус С. К. Ідентифікація та моделювання частина II. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів за методами комп'ютерного моделювання : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2023. 201 с.

11. Наумчук О. М. Основи систем автоматизованого проектування : інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення. Рівне : НУВГП, 2008. 136 с.

URL : <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/1844>.

12. Клепач М. І., Клепач, М. М., Христюк А. О. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Об'єкти автоматизації галузей». Рівне : НУВГП, 2020. 115 с.

URL : <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/19450>.

13. Автоматизоване керування природоохоронними системами очищення металовмісних стічних вод : моногр. / Филипчук В. Л., Древецький В. В., Филипчук Л. В., Клепач М. І. Рівне : НУВГП. 2017. 288 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/16867>.

14. Клепач М. І., Кінчур О. Ф., Христюк А. О. Методичні вказівки до курсової роботи з навчальної дисципліни «Теорія автоматичного керування». Рівне : НУВГП. 2019. 32 с.

URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/15455>.

15. Клепач М. І. Теорія автоматичного керування : навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2007. 206 с.

16. Баховець Б. О. Автоматизований електропривод : навч. посіб. Рівне : НУВГП. 2010. 238 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/2383>.

17. Яцков М. В. Основні технологічні схеми базових неорганічних виробництв : навч. посіб. / М. В. Яцков, Н. М. Корчик, О. А. Пророк. Рівне : НУВГП, 2020. 212 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/18442> (дата звернення 09.06.2024).

Інформаційні ресурси

18. Документація на обладнання і прикладне програмне забезпечення підприємства “Мікрол”. URL: <http://microl.ua>.

19. Інструментальний програмний комплекс промислової автоматизації CODESYS. URL: <https://aqteck.com.ua>

20. Програмовані логічні контролери PHOENIX CONTACT. URL: <https://www.phoenixcontact.com/>

Стандарти

21. ДСТУ Б А.2.4-16:2008 Автоматизація технологічних процесів. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 10 с.

22. ДСТУ 3008-95. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення.

23. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання.

24. ДСТУ 3008-95. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення.

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства та
природокористування

Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-
інтегрованих технологій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до курсового проєкту

"Автоматизація технологічних процесів"

на тему _____

Виконав:
студент групи ____

Керівник _____

Рівне – 20__

**Національний університет водного господарства та
природокористування**

Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-
інтегрованих технологій

Завдання на курсовий проєкт

"Автоматизація технологічних процесів"

1. П.І.П студента _____

2. Тема курсового проєкту _____

3. Вихідні дані до курсового проєкту _____

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають
розробленню) _____

5. Перелік графічних матеріалів _____

6. Дата видачі завдання “ _____ ” _____ 20__ р.

7. Термін захисту курсового проєкту “ _____ ” _____ 20__ р.

Студент _____

Керівник _____

Додаток В

