

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
„УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ”**

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ  
З ДИСЦИПЛІНИ "ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ" ДЛЯ СТУДЕНТІВ ІІІ – ІV КУРСІВ  
ДЕННОЇ ТА ЗАОЧНОЇ ФОРМИ НАВЧАННЯ СПЕЦІАЛЬНОСТІ  
«АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ»**

Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни "ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів" для студентів III – IV курсів денної та заочної форми навчання спеціальності «автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / О.В. Тітова, , Є.В. Чернецький, Н.О. Мінакова.. – Дніпро: ДВНЗ УДХТУ, 2018. – 17 с.

Укладачі: О.В. Тітова, к.т.н.,  
Є.В. Чернецький  
Н.О. Мінакова, к.т.н.

**Відповідальний за випуск Ю.К. Тараненко, доктор. техн. наук**

## НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни  
"Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів"  
для студентів IV – V курсів спеціальності 7.092501 усіх форм навчання

Укладачі: Тітова Олена Василівна,  
Чернецький Євгеній Вячеславович,  
Мінакова Наталія Олександрівна.

Редактор Л.М. Тонкошкур  
Коректор Л.Я. Гоцуцова

Підписано до друку . Формат 60x80 <sup>1/16</sup>. Папір ксерокс. Друк різнограф.  
Умовно - друк. арк. 2.19.

---

Облік. - видав. арк. . Тираж 50 прим. Зам. №\_\_\_\_\_.  
Свідоцтво ДК № 303 від 27.12.2000 р.

---

ДВНЗ «УДХТУ», 49005, Дніпропетровськ-5, просп. Гагаріна, 8.  
Дільниця оперативної поліграфії ІмКомЦентру

## ЗМІСТ

<b>1. Загальні положення</b>	4
1.1. Тематика курсових робіт	4
1.2. Організація виконання та захисту курсової роботи	5
1.3. Структура курсової роботи	5
1.4. Вимоги до змісту окремих розділів записки	6
<b>2. Основні розділи пояснювальної записки</b>	7
2.1. Характеристика досліджуваного об'єкту	7
2.1.1. Загальна характеристика виробництва та фізико-хімічні основи процесу	7
2.1.2. Параметричний аналіз об'єкту	8
2.2. Дослідження об'єкту та складання його математичної моделі	9
2.2.1. Побудова математичних моделей методами пасивного експерименту	10
2.2.2. Побудова математичних моделей методами активного експерименту	10
2.3.3. Математичне моделювання динаміки об'єктів та складних АСК	11
<b>3. Перелік тем курсових робіт</b>	13
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	16

## 1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Метою методичних вказівок є підготовка студента до самостійних рішень задач ідентифікації та моделювання технологічних об'єктів. Такі відповідальні задачі можуть розв'язувати тільки спеціалісти високої кваліфікації, які набули глибокої ерудиції з професійних питань.

Процес курсового проектування являється важливим етапом підготовки спеціаліста, тому що дозволяє йому комплексно наблизити та використати теоретичні та прикладні знання, набуті при вивченні різних дисциплін.

Вивчення цієї дисципліни базується на навчальному матеріалі попередніх курсів: "Вища математика", "Програмування та алгоритмічні мови", "Математичне моделювання на ЕОМ", "Теорія автоматичного керування" та інші дисципліни.

При виконанні курсової роботи з "Ідентифікації та моделюванню технологічних об'єктів" рекомендується використати експериментальні та розрахункові дані, алгоритми та програми, одержані або складені студентами при вивченні дисциплін загальнотехнічного та професійного циклів.

Знання та уміння, набуті студентами при вивченні цієї дисципліни, використовуються в курсах "Автоматизація безперервних та періодичних процесів", "Основи проектування систем автоматизації", "Оптимізація технологічних процесів галузі" при виконанні курсових робіт та проектів з цих дисциплін, а також при дипломному проектуванні.

В процесі виконання курсової роботи студент повинен досконало вивчити фізико-хімічні основи процесу, технологічну схему модельованого об'єкта та його технологічний режим, виконати параметричний аналіз цього об'єкта.

При виконанні курсової роботи студент зобов'язаний використовувати результати останніх досягнень науки і техніки, вирішувати задачі дослідницького характеру, які пов'язані з розробкою і дослідженнями ідентифікації та математичного моделювання технологічних об'єктів, складанням алгоритмів та програм.

Ці методичні вказівки вміщують відомості про зміст роботи, основні вимоги, які пред'являються до пояснювальної записки та графічної частини, а також рекомендації до виконання окремих розділів роботи.

### 1.1 Тематика курсових робіт

Тематика курсових робіт повинна відповідати основним розділам типової програми дисципліни "Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів" з врахуванням рекомендацій Міністерства освіти України в частині курсового проектування та науково-дослідної роботи студентів, за підвищенням ефективності використання засобів обчислювальної техніки, а також відображати науково-дослідну діяльність кафедри.

Теоретична частина курсової роботи повинна базуватися на лекційному матеріалі дисципліни "Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів" і

містити інші розділи, які вивчаються студентом самостійно, а також може бути пов'язана з іншими дисциплінами навального плану, які були вивчені раніше.

Завдання на курсову роботу являється суто індивідуальним. В окремих випадках можливі теми науково-дослідного характеру.

Вибір тематики курсових робіт здійснюється у відповідності з учбовими задачами цієї дисципліни та її розділів, які відповідають основним напрямкам спеціалізації.

В курсовій роботі студенти здійснюють математичне моделювання на ЕОМ типового технологічного об'єкта або системи регулювання (керування) з використанням готових або самостійно складених програм. Пояснювальна записка курсової роботи включає постановку задачі моделювання, побудову (вибір) математичної моделі, обґрунтування вибору процедур ідентифікації параметрів моделі та власно моделювання, листінг складеної програми та аналіз результатів моделювання.

Обсяг пояснювальної записки повинен складати 20 - 25 сторінок. Графічна частина курсової роботи складається з 1 - 2 плакатів, на яких надають структурні схеми та математичні моделі досліджуваного об'єкта, алгоритми розрахунків або систем керування.

## **1.2 Організація виконання та захисту курсової роботи**

Тематика курсових робіт повинна бути визначена протягом двох тижнів після початку семестра. Погоджена та затверджена тема курсової роботи записується у відповідне завдання за підписом керівника роботи.

Керівник роботи своїм підписом затверджує складений студентом календарний графік виконання всіх розділів курсової роботи. Про хід виконання курсової роботи кожним студентом керівник періодично доповідає на засіданні кафедри, а також подає відповідні відомості до деканату. При невиконанні календарного графіка студент може запрошуватися на засідання кафедри для пояснень та прийняття відповідних рішень.

Для захисту курсових робіт на кафедрі створюють відповідні комісії в складі 2-3 викладачів. Захист курсових робіт здійснюється публічно в присутності студентів групи. Студент повинен зробити коротку доповідь про виконану курсову роботу, підкресливши мету та задачі, методику розв'язання їх та одержані результати. Після доповіді студент повинен дати відповіді на поставлені йому запитання.

Після захисту студенту виставляється відповідна оцінка за підписом викладачів.

При незадовільному захисті курсову роботу повертають студенту на доопрацювання та повторний захист.

## **1.3 Структура курсової роботи**

Структура пояснювальної записки повинна задовольняти вимогам повноти інформації та логічності викладання. Пояснювальна записка включає:

титульний аркуш, завдання на курсову роботу, реферат, зміст, вступ, основну частину, висновки, бібліографічний список та додатки.

Графічна частина курсової роботи виконується в обсязі за вказівкою керівника роботи і звичайно складається з 1 - 2 плакатів. На плакатах надаються структурні схеми, математичні моделі досліджуваного об'єкта, алгоритм розрахунків або системи керування.

Приблизний зміст пояснювальної записки та обсяг її основних розділів наведений у табл. 1.

#### 1.4 Вимоги до змісту окремих розділів записки

Реферат повинен включати:

- а) відомості про обсяг записки, кількість рисунків, таблиць та використаних літературних джерел;
- б) перелік ключових слів;
- в) текст реферату.

Перелік ключових слів характеризує зміст реферованої записки. Ключові слова записують у називному відмінку в рядок через кому.

Таблиця 1

Основні розділи та обсяг пояснювальної записки

№ п/п	Найменування розділів	Приблизний обсяг, стор.
1.	Вступ	1-2
2.	1. Характеристика досліджуваного об'єкта	
	1.1. Фізико-хімічні основи процесу	
	1.2. Характеристика технологічного процесу та досліджуваного об'єкта	1-2
	1.3. Параметричний аналіз досліджуваного об'єкта	3-4
3.	2. Дослідження об'єкта та складання його математичної моделі	2-3
	2.1. Вибір методу моделювання	
	2.2. Теоретичні основи методу дослідження та математичного моделювання	2-3
	2.3. Математичне модулювання досліджуваного об'єкта	3-4
	2.3.1. Складання математичної моделі об'єкта	2-3
	2.3.2. Вибір методу ідентифікації параметрів математичної моделі	3-4
	2.3.3. Розробка алгоритму розрахунків або керування об'єктом та програм для ЕОМ	1-2
	2.2.4. Аналіз результатів моделювання об'єкта	1-2
4.	3. Висновки	
	4. Література	
	5. Додатки	

--	--	--

У сукупності без тексту ці слова повинні давати достатньо повне уявлення про зміст записки.

У тексті реферату коротко описують постановку задачі моделювання, прийняті рішення та одержані результати. Оптимальний обсяг тексту реферату складає 1200 - 2000 знаків. Аркуш, на якому розміщено реферат, в зміст записки не включають і не нумерують його.

Вступ повинен включати коротку характеристику стану науково-технічної проблеми, відобразити актуальність та новизну роботи, її зв'язок з задачами розвитку галузі та народного господарства. Вступ слід закінчувати чітким формулюванням мети та задач курсової роботи.

## **2 ОСНОВНІ РОЗДІЛИ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ**

### **Характеристика досліджуваного об'єкта**

Метою цього розділу є детальне вивчення об'єкта, який підлягає математичному моделюванню. Використавши спеціальну науково-технічну літературу та технологічний регламент за цим виробництвом, слід описати:

- а) загальну характеристику виробництва, цільове призначення процесу, взаємозв'язок його з іншими процесами виробництва;
- б) фізико-хімічні основи процесу, його основні закономірності;
- в) опис технологічної схеми з показом призначення конструктивних і технологічних характеристик окремих апаратів;
- г) параметричний аналіз об'єкта, який підлягає математичному моделюванню.

### **2.1.1 Загальна характеристика виробництва та фізико-хімічні основи процесу**

При складанні опису цього підрозділу курсової роботи особливих ускладнень взагалі не виникає. Для цього потрібно вірно підібрати навчальну та науково-технічну літературу з того виробництва, яке підлягає детальному вивченню. Зовсім ніяких ускладнень не виникає, якщо технологічний процес виробництва студентам добре відомий, тобто це виробництво студентами вже вивчалось раніше, наприклад, у курсі "Загальна хімічна технологія".

Іноді темою курсової роботи передбачено моделювання зовсім невідомого технологічного процесу та виробництва і тоді складання опису цього підрозділу викликає великі труднощі, які пов'язані в основному з недостатніми навиками у студентів користування каталогами бібліотеки.

Щоб краще прояснити вирішення цього питання наведемо такий приклад. По курсовій роботі одержано завдання виконати математичне модулювання об'єктів з

виробництва, наприклад, сажі, яка використовується у виробництві гуми та гумових виробів. У галузевому каталозі бібліотеки такого розділу, як виробництво сажі, немає. Прізвища авторів підручників або науково-технічних монографій невідомі, та і більшості студентів про цей технологічний процес теж абсолютно нічого невідомо.

В такому випадку рекомендуємо зробити таким чином. Спочатку доцільно звернутися до довідкової літератури і найкраще тут використати довідники з серії "БСЗ" (Большая советская энциклопедия). В цьому довіднику слід знайти слово "сажа", де наведена коротка стаття про фізичні та хімічні властивості цієї речовини та способи її виробництва. В кінці статті наведені літературні джерела, їх може бути декілька, а тому є можливість вибрати ті, які потрібні для складення цього опису. Не виключена можливість використання для цього інших більш сучасних довідників.

### 2.1.2 Параметричний аналіз об'єкта

Виконання цього підрозділу курсової роботи має більш творчий характер. Успішне виконання цього завдання залежить від того, наскільки досконало та глибоко вивчено модельований об'єкт. Наведемо деякі теоретичні викладки з цього питання, які стосуються хіміко-технологічних об'єктів.

Під хіміко-технологічною системою (ХТС) розуміється сукупність фізико-хімічних процесів, які відбуваються в системі, та засобів для їх реалізації. Складну ХТС для більшої зручності математичного моделювання розкладають на більш прості типові підсистеми, тобто проводять декомпозицію системи. Потім на кожному об'єкті проводять параметричний аналіз.

На рис. 1 наведена структурна схема об'єкта моделювання.

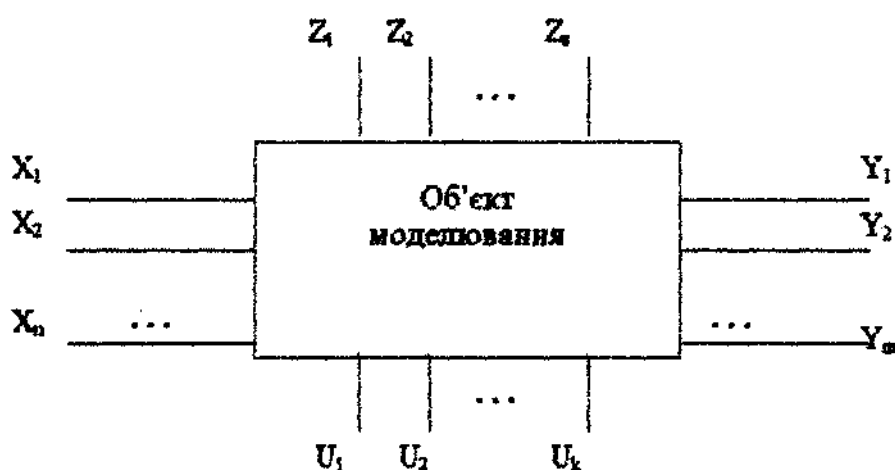


Рис. 1. Структура об'єкта моделювання

Діяння, які надходять на вхід об'єкту, називають вхідними величинами. Параметри, які відображають реакцію цього об'єкта на виході, називають



вихідними величинами.

Всі вхідні величини можна розділити на три групи параметрів. Вхідні контрольовані параметри  $X_1, X_2, \dots, X_n$ . Значення цих параметрів можуть бути вимірні, але можливості діяння на них абсолютно відсутні, або не здійснюється з причини недоцільності.

Керуючі параметри  $U_1, U_2, \dots, U_k$ . Керуючими називаються параметри, на які можна здійснювати прямі діяння з метою керування процесом. В переліку загальних властивостей вхідних контрольованих і керуючих параметрів важливо те, що вони не залежать від процесу, який протікає в об'єкті, а тому належать до зовнішніх параметрів.

Збурюючі параметри  $Z_1, Z_2, \dots, Z_g$ . Об'єкт завжди піддається внутрішнім і зовнішнім збурюванням. Збурюючими називають параметри, значення яких випадковим чином змінюються в часі і які взагалі недоступні для безперервного вимірювання. Прикладом зовнішніх збурювань можуть бути домішки в сировині, а внутрішніми – активність каталізатора» пористість, гранулометричний склад тощо.

Вихідні параметри  $Y_1, Y_2, \dots, Y_m$ . Під вихідними розуміють параметри, величини яких визначаються режимом процесу та які характеризують його стан, що виникає в результаті спільного діяння всіх вхідних параметрів (контрольованих, керуючих та збурюючих).

Окремі вихідні параметри можуть бути регульованими, тобто їх необхідно підтримувати на завданому постійному значенні, або змінювати за визначеними законами.

Для виконання параметричного аналізу об'єкта доцільно використовувати сигнальні графи, за допомогою яких можна компактно показати структурну схему динаміки об'єкту з відображенням взаємозв'язків між усіма його параметрами.

## **2.2 Дослідження об'єкта та складання його математичної моделі**

Цей розділ курсової роботи ставить за мету побудову математичної моделі досліджуваного об'єкта, яка потім може бути використана для оптимізації технологічного режиму або для оптимального керування технологічним процесом на базі цієї моделі.

Іноді математичний опис використовують для опосередкованого автоматичного контролю якого-небудь технологічного параметра, для безперервного контролю якого немає автоматичних засобів прямого вимірювання.

Для побудови математичної моделі можуть використовуватися аналітичний, експериментальний або комбінований методи. Який метод використати в курсовій роботі, то це залежить від багатьох факторів. Найчастіше це визначає керівник курсової роботи, що більш проінформований про наявність експериментальних даних та інших матеріалів за тією чи іншою і темою. Але це не означає, що студент позбавляється особистої ініціативи. Процес побудови математичних моделей є надзвичайно творчим і меж їх

вдосконалення не існує.

### **2.2.1 Побудова математичних моделей методами паливного експерименту**

У відповідності з тематикою курсових робіт побудова математичних моделей може базуватися на результатах пасивного та активного експериментів», тобто такі моделі складають з використанням експериментально-статистичних методів. При використанні результатів пасивного експерименту для побудови математичних моделей особливих труднощів або ускладнень не виникає. Якість одержаної моделі буде цілком залежати від того, наскільки представницькою буде вибірка експериментально-статистичних даних. Опрацювання цих даних може виконуватися методом множинної кореляції, основою якого є метод найменших квадратів.

У цьому випадку доцільно також використати метод множинної кореляції в матричній формі. Але тут слід мати на увазі, що в початковій матриці експериментально-статистичних даних місце першого стовпчика повинен займати фіктивний фактор  $X_0$ , котрий у всіх випадках дорівнює +1.

Експериментально-статистичний матеріал для курсових робіт можна використовувати з публікацій у монографіях, в науково-технічних журналах та збірниках, в науково-технічних звітах. Дуже цінним буде такий матеріал, який зібрано студентами на виробництві під час виробничої практики. Це зовсім легко зробити, якщо використати журнали записів технологічного режиму або листінги роздруровок технологічного режиму, які здійснюються автоматично принтерами. Ці статистичні дані повинні охоплювати, наскільки це можливо, більш широкий діапазон зміни вхідних змінних факторів, тоді й одержаний математичний опис процесу буде більш якісним.

У деяких науково-технічних публікаціях наведені початкові або проміжні статистичні дані, виконані розрахунки та одержані математичні моделі. Цікавим буває опрацювання цих даних іншими методами, а потім порівняння одержаних математичних моделей. Така робота дозволить вибрати метод, який дає більш точнішу математичну модель. Точність моделі в цьому випадку можна визначити за величиною залишкової дисперсії  $S^2$ . В числі інших методів можна рекомендувати для використання найбільш відомий метод Брандона, а також надання рівняння регресії у вигляді полінома Тейлора.

### **2.2.2 Побудова математичних моделей методами активного експерименту**

В науково-технічних журналах та збірниках за період з 1965 по 1975 роки надруковано дуже багато статей, в яких описано застосування методів активного експерименту для математичного опису різних технологічних процесів. В них наведено багато фактичного експериментального матеріалу, який теж доцільно використовувати в курсовій роботі. В залежності від

наявності експериментального матеріалу та використаного методу після відповідного аналізу можна визначитися, як одержану математичну модель вдосконалити. Це може бути спрощення вигляду без суттєвого зниження точності або включення в рівняння регресії додаткових подвійних чи потрійних ефектів взаємодії, які підвищують точність моделі. Така курсова робота буде мати в деякій мірі дослідницький характер, а тому буде відповідно високо оцінюватися.

### 2.2.3 Математичне моделювання динаміки об'єктів та складних АСК

На діючих промислових об'єктах динамічні характеристики краще знімати експериментально, для чого на об'єкт наносять вхідні збурювання в формі ступеня або імпульсні у вигляді  $\delta$ -функції. Після оброблення експериментальних даних одержують математичну модель динаміки цього об'єкта у вигляді передавальної функції, диференційного рівняння або системи таких рівнянь чи у вигляді перехідної функції.

Для дослідження перехідних процесів в автоматичних системах керування (АСК) математичні моделі складових елементів системи доцільно надавати у вигляді диференційних рівнянь або системами таких рівнянь. Після рішення системи диференційних рівнянь, наприклад, методом Рунге-Кутта можна одержати перехідні функції будь-якого параметра цієї системи, які відображають зміну цих параметрів в часі, що можна наочно побачити після побудови відповідних графіків.

Синтез АСК починають за звичаєм з побудови її структурної схеми, де знаходять відображення всі елементи та ланки системи. В першу чергу потрібно мати математичну модель динаміки об'єкта керування по відповідному каналу. Найчастіше в практиці математичного моделювання зустрічаються такі види об'єктів:

- одноємнісні статичні з запізнюванням;
- двоємнісні статичні з запізнюванням;
- астатичні з запізнюванням.

Для прикладу наведемо структурну схему двоємнісного статичного об'єкта з запізнюванням, яка надання на рис. 2.

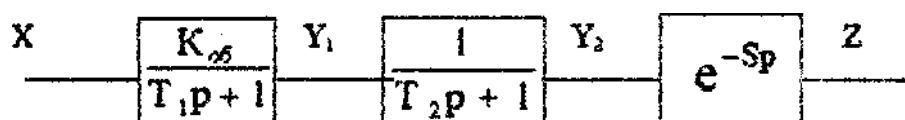


Рис. 2. Структурна схема двоємнісного статичного об'єкта з запізнюванням

У кінцевому підсумку динаміка такого об'єкта повинна надаватися системою диференційних рівнянь першого порядку:

$$\left. \begin{aligned} T_1 \frac{dY_1}{dt} + Y_1 &= K_{об} \cdot X \\ T_2 \frac{dY_2}{dt} + Y_2 &= Y_1 \end{aligned} \right\}$$

де  $K_{об}$  – коефіцієнт передачі об'єкта, %;  
 $X$  – збурювання, нанесене на вхід об'єкта, %;  
 $T_1, T_2$  – сталі часу, хвилини;  
 $Y_1, Y_2$  – проміжні вихідні величини, %;  
 $t$  – поточний час, хвилини.

Ланку запізнювання наданий математичною моделлю, яка складається з чотирьох диференційних рівнянь першого порядку та одного алгебраїчного рівняння:

$$\left. \begin{aligned} z &= Y_3 + X \\ \frac{dY_3}{dt} &= Y_4 - 40 \cdot \frac{X}{S} \\ \frac{dY_4}{dt} &= Y_5 + 800 \cdot \frac{X}{S^2} \\ \frac{dY_5}{dt} &= Y_6 - 10480 \cdot \frac{X}{S^3} \\ \frac{dY_6}{dt} &= -20 \cdot \frac{Y_3}{S} - 180 \cdot \frac{Y_4}{S^2} - 840 \cdot \frac{Y_5}{S^3} - 1680 \cdot \frac{Y_6}{S^4} + 99200 \cdot \frac{X}{S^4} \end{aligned} \right\}$$

де  $Y_3, Y_4, Y_5, Y_6$  – проміжні змінні, %;  
 $S$  – час чистого запізнювання, хвилини.

Щоб у кінцевому результаті одержати структурну схему АСК, необхідно структурну схему об'єкта (рис. 2) доповнити структурою регулятора, яка залежить від прийнятого закону регулювання та структурами інших елементів системи. Це можуть бути виконуючий механізм та вимірюючий пристрій. Якщо крива розгону визначалась експериментально, то динаміка вимірюючого пристрою входить до складу динаміки об'єкта.

На рис. 3 надана структурна схема АСК з використанням ПІ-регулятора для двоємнісного об'єкта з запізнюванням.

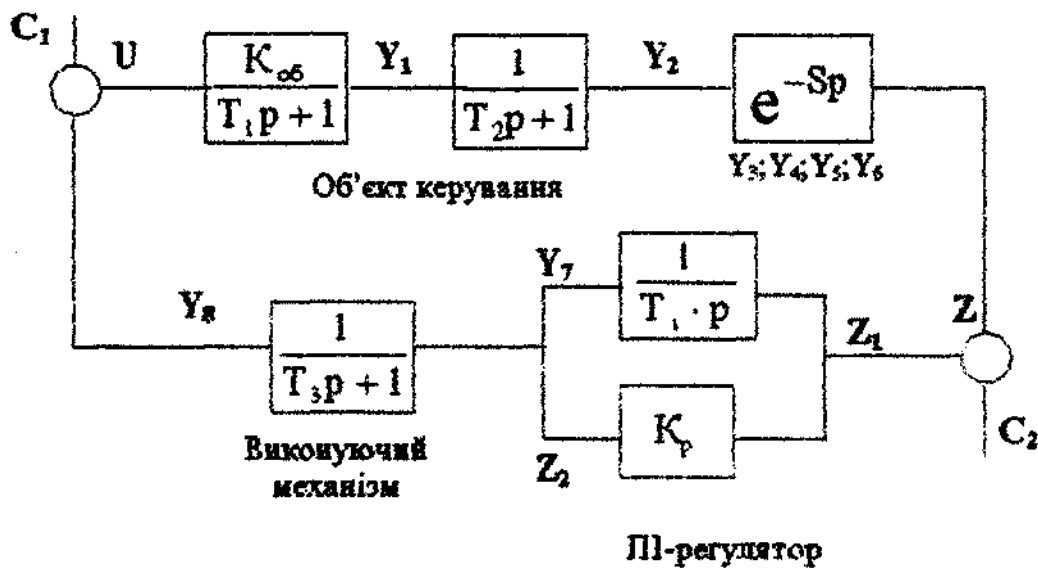


Рис. 3. Структурна схема АСК з використанням ПІ-регулятору

На рис. 3 прийнято наступні позначення:

$C_1$  – збурювання на систему (10 - 15%);

$C_2$  – завдання регулятора ( $C_2=0$ );

$Z$  – значення регульованого параметра, %;

$U$  – керуюча дія на об'єкт, %;

$Y_7$  – вихід інтегральної частини регулятора, %;

$Z_2$  – вихід пропорційної частини регулятора, %;

$T_3$  – стала часу виконуючого механізму (для пневматичних  $T_3=0.2-0.3$  хв);

$Y_8$  – керуюча дія виконуючого механізму, %.

Якщо відомі параметри динаміки об'єкта, то параметри настроювання регулятора визначають за відомими формулами в підручниках або знаходять з відповідних графіків.

Діючи аналогічним чином, можна скласти структурні схеми для інших більш складних АСК, в тому числі комбінованих і каскадних АСК.

### 3 ПЕРЕЛІК ТЕМ КУРСОВИХ РОБІТ

1. Розробка математичної моделі доменного процесу за даними пасивного експерименту [10].
2. Розробка математичної моделі процесу конверсії метану [10].
3. Розробка математичної моделі процесу виробництва сажі [10].

### **3.1 Загальні вказівки до тем №1-3**

У книзі [10] надані фактичні експериментальні дані. З зазначених вище тем (див. в додатку табл. П2,П3) при виконанні курсових робіт з цих тем в першу чергу необхідно вивчити методи обробки даних пасивного експерименту та виконання статистичного аналізу отриманих рівнянь регресії [1]. В роботах бажано провести ранжирування вхідних факторів  $x_j$  за ступенем впливу їх на вихідні напрямки і виявлені маловпливові фактори виключити з математичних моделей.

Якщо математичні моделі отримані з використанням різних методів обробки експериментальних даних, то необхідно провести порівняльний аналіз цих моделей з метою визначення найбільш точної із них.

Для більш детального та глибокого вивчення питань технології досліджуваних процесів слід використовувати додаткову технічну літературу [11,12,13,23,24].

4. Розробка математичної моделі процесу карбонізації у виробництві кальцинованої соди [14].
5. Розробка математичної моделі процесу екстракції ароматичних вуглеводнів при нафтопереробці [14].
6. Розробка математичної моделі промивки напівцелюлози в целюлозно-паперовому виробництві [14].
7. Розробка математичної моделі безперервної полімеризації капролактаму [14].

### **3.2 Загальні вказівки до тем №4 – 7**

У монографії [14] наведено фактичний матеріал обробки статистичних даних пасивних експериментів і основні результати розрахунків, в тому числі побудовані математичні моделі з структурою поліномів Тейлора.

Використавши надані в роботах значення коефіцієнтів парної кореляції, можна побудувати систему нормальних рівнянь, рішення яких дасть можливість отримати значення коефіцієнтів відповідних рівнянь регресії в стандартизованому вигляді. З врахуванням математичних очікувань факторів (середньоарифметичних значень) та середньоквадратичних відхилень стандартизовані рівняння регресії переведемо до натурального вигляду. Точність рівнянь регресії, отриманих з використанням різних методів, можна оцінити за розрахунками вихідних параметрів, використавши середньоарифметичні значення вхідних параметрів.

Більш детальне та глибоке вивчення питань технології досліджуваних процесів можна здійснити, використавши додаткову літературу [17,18,19,22,25,26,].

8. Розробка математичної моделі отримання фосфіту натрію.
9. Розробка математичної моделі процесу флотації цинкової руди.
10. Розробка математичної моделі екстракційно-фотометричного визначення ванадію в біхроматі калію.
11. Розробка математичної моделі отримання фосфіту натрію із фосфіто-вміщуючих шлаків.

12. Розробка математичної моделі визначення швидкості кристалізації фторидаалюмінію із водяних розчинів.
13. Розробка математичної моделі осаджування  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  у присутності  $\text{Cr}(\text{VI})$ .
14. Розробка математичної моделі витяжки бору із датоліту вугільною кислотою.
15. Розробка математичної моделі процесу окислення фосфатів гіпохлоритом натрію.
16. Математична модель визначення домішок гіпофосфіту натрію в фосфористій кислоті.
17. Математична модель визначення  $\text{CaO}$  і  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в хроматі кальція.
18. Математична модель екстракційно-спектрального визначення  $\text{Fe}$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{Co}$  в хромвміщуючих матеріалах.
19. Математична модель процесу вилучення бору з борвмісної руди.
20. Математична модель оптимізації виходу за струмом при електролізі хлориду хрому.
21. Математична модель оптимізації умов окислення гіпофосфату натрію залізом (III).
22. Математична модель процесу вилуджування хроматних спеків.
23. Оцінка ефективності антиокислювальних присадок в ефірі пентаеритриту за математичною моделлю.
24. Математична модель визначення оптимальних концентрацій присадок.

### **3.3 Загальні вказівки до тем № 8-24**

Всі зазначені теми відносяться до методів розробки математичних моделей з використанням активного експерименту. В збірниках праць [20,21,22] надані плани активних експериментів і результати їх опрацювання. В кінцевому результаті отримано математичні моделі досліджуваних процесів.

Задача студентів при виконанні курсових робіт не тільки детально вивчити та провести аналіз отриманих результатів, але і зробити спробу удосконалити надані математичні моделі, використавши для опрацювання весь фактичний експериментальний матеріал. Вдосконалення математичних моделей можливе за рахунок включення додатково в модель ефектів парної взаємодії факторів, виключення з моделей маловпливових факторів. Якщо область гіперплощини екстремуму за обсягом незначна, то можна отримати математичну модель області підходу до екстремуму, яка буде значно ширшою за діапазоном зміни факторів. Для цього необхідно додатково включити в розрахунок результати дослідів крутого сходження і весь цей статистичний матеріал опрацювати за методом пасивного експерименту.

Питання з технології можна в'яснити з додаткової літератури [16,21].

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии: Учебник для вузов. – 4-е издание. – М.: Химия. 1985. – 448 с.
2. Неділько С. А. Математичні методи в хімії: Підручник. – К.: Либідь, 2005. – 256 с.
3. Имитационное моделирование производственных систем / Под ред. АА. Вавилова. – М.: Машиностроение, 1983. - 416 с.
4. Скурихин В.И. Математическое моделирование. – К: Техніка 1983. – 270 с.
5. Коссаk О., Тумашова О., Коссаk О. Методи наближених обчислень: Навч. посіб. – Львів: Бак, 2003. – 168 с.
6. Буpов Г.А. Метод pазложения дpбно-pациональных функций и его использование для pасчета переходных процессов. – Изд. вузов "Приборостpование" 1979, № 12, т, 22, с. 26-31.
7. Математичні методи в хімії та хімічній технології: Навч. посібник / Рудавський Ю. К. та ін. За ред. Рудавського Ю. К. - Львів: Світ, 1993. – 208 с. перераб., доп - М.: Химия, 1985 (учебн. для вузов), 448 с.
8. Блонский СД., Демиденко Л.Г., Гордеев Л.С. Моделирование гидродинамики реакторов с использованием звена запаздывания. – Вопр. химии й хим. технологии: Респ. научно-техн. сбор-ник. – Харьков: Изд. ХГУ, 1983, вып. 70, с. 92-96.
9. Стефани Е.П. Основы расчета настройки регуляторов теплоэнергетических процессов. – М.: Энергия, 1972. – 346 с.
10. Пухов Г.Е., Хатиашвили Ц.С. Модели технологических процессов. К.: Техника, 1974, 224 с.
11. Готлиб А.Д. Доменный процесс. 2 изд. – М.: Металургия, 1966.
12. Справочник азотчика. – Том I. – М.: Химия, 1967. – 492 с.
13. Зуев В.П., Михайлов В.В. Производство сажи. – 3 изд. – М.: Химия, 1970. – 332 с.
14. Грубов В.И. Математическое моделирование непрерывных технологических процессов. – К.: Изд. Киевского университета, 1971. – 175 с.
15. Артеменко М.А., Грубов В.И., Нагорный А.И. Математическое моделирование процесса расплавления капролактама в производстве синтетического волокна. – Хим. Промышленности Украины, 1969, №4.
16. Авербух Т.Д., Павлов П.Г. Технология соединений хрома. Изд-е 2-е. – Л.: Химия, 1973. – 335 с.
17. Колмановский И.И. Производство двууглекислого натрия. – М.: Химия, 1964. – 166 с.
18. Никитин Н.И. Химия древесины и целлюлозы. М. – Л.: Химия, 1962. – 676 с.
19. Эфрос Л.С., Горелик М.В. Химия и технология промежуточных продуктов. – Л.: Химия, 1980. – 544 с.
20. Математическое моделирование и планирование эксперимента. Уральский научно-исследовательский химический институт (УНИХИМ). – Л.: Химия,



- 1971, – 192 с.
21. Автоматическое регулирование и контрольно-измерительные приборы в промышленности основной химии. Под ред. В.С. Шермана. – Л.: Химия, 1975, – 184 с.
  22. Математическое моделирование процессов нефтепереработки и нефтехимии. Труды ВНИИНП, Вып. – ХХИ. М., 1977.
  23. Доменное производство. Справочник. Том 1. Под ред. акад. И.П. Бардина. – М.: Metallurgizdat, 1963. – 648 с.
  24. Доменное производство. Справочник. Том 2. Под ред. акад. И.П. Бардина. – М.: Metallurgizdat, 1963. – 646 с.
  25. Крашенинников С.А. Технология соды. 2 изд. – М.: Химия, 1988. – 303 с.
  26. Автоматизация процессов содового производства. Под ред. А.В. Семке. – Л.: Химия, 1975. – 142 с.