

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**МЕТОДИКА НАВЧАННЯ ДИСЦИПЛІНИ
«ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АВТОМАТИКИ»**

Навчально-методичний посібник

Київ – 2010

УДК 681.5

Посібник призначений для методичної підготовки студентів та викладачів технічних навчальних закладів до проведення занять з навчальної дисципліни «Теоретичні основи автоматики».

Посібник також може бути рекомендований для широкого кола науковців і фахівців, які займаються питаннями застосування комп'ютерних навчальних систем при викладанні теоретичних основ автоматики.

Рекомендовано до друку навчально-методичною вченою Радою факультету енергетики і автоматики Національного університету біоресурсів і природокористування України від 19 січня 2010 року

Укладачі: Лукін В.Є., Шворов С.А.

Рецензенти: Доктор педагогічних наук, професор Ягупов В.В., Доктор технічних наук, професор Романюк В.А., доктор технічних наук, професор Замаруєва І.В.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

МЕТОДИКА НАВЧАННЯ ДИСЦИПЛІНИ «ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АВТОМАТИКИ».

Навчально-методичний посібник

Укладач: ЛУКІН Володимир Євгенійович
ШВОРОВ Сергій Андрійович
Зав. Видавничим центром НУБІП А.П. Колесніков

Редактор Левген Л.М.

Підписано до друку
Ум. друк. арк. 5,1
Наклад 20 прим.

Формат 60×84
Обл. вид. арк. 5,2
Зам. № 22913

Видавничий центр НУБІП
03041, Київ, вул. Героїв Оборони, 15

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

АНС – автоматизована навчальна система;
АНК – автоматизований навчальний курс;
АРМ – автоматизоване робоче місце;
БД – база даних;
БЗ – база знань;
БП – база правил;
ЕЗ – елементарне завдання;
ЕНС – експертно-навчальна система;
ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;
ЕС – експертна система;
ІДС – інтелектуальна довідкова система;
ІМ – імітаційна модель;
ІНС – інтелектуальна навчальна система;
ІС – інтелектуальна система;
КСН – комп'ютерна система навчання;
МНЗ – модель надання знань;
МСС – модель світу системи;
НБЗ – навчальна база знань;
НМ – нечітка множина;
НЗ – навчальне завдання;
ОПР – особа, яка приймає рішення;
ОУ – об'єкт управління;
ПЕОМ – персональна електронно-обчислювальна машина;
ПО – предметна область;
САУ – система автоматичного управління;
САР – система автоматичного регулювання;
СКД – система керування діалогом;
СМО – система масового обслуговування;
СОФА – система навчання фахівців з автоматичної;
СПД – система передачі даних;
НЗ – навчальна задача;
НІМ – навчально-інформаційна модель;
ТС – тренажерна система.

ВСТУП

Потреба в підготовці викладачів з викладання дисципліни „Теоретичні основи автоматики” дуже актуальна тому, що науково-технічний прогрес і відродження галузей виробництва України безпосередньо пов'язані з розвитком автоматизації управлінських та виробничих процесів.

Вивчення дисципліни надасть можливість засвоїти загальні поняття про методику викладання дисципліни "Теоретичні основи автоматики" з використанням новітніх інформаційних технологій в навчальному процесі. Особливості сучасної епохи, яка характеризується бурхливим розвитком обчислювальної техніки та застосуванням їх в різних видах діяльності, привели до того, що комп'ютери вже починають застосовуватися й у підготовці фахівців з автоматики. Завданням сучасного моменту є розробка методик використання комп'ютерних систем навчання фахівців з автоматики (СНФА), які б максимально відповідали своєму призначенню. У зв'язку з підвищенням складності й інформаційної насиченості СНФА виникає необхідність у здійсненні керування навчанням. Оскільки навчальна система стає більш складною та багатофункціональною й призначена для різних категорій користувача, то потрібна адаптація до індивідуальних особливостей кожного конкретного користувача. При цьому здатність СНФА адаптуватися до користувача є одним з показників її ефективності і, як наслідок, – інтелектуальності. Для забезпечення адаптації до користувача розробляються моделі користувача (того, кого навчають), у яких зберігається інформація про кожного конкретного користувача. Таким чином, на сучасному етапі СНФА здобувають більш складну структуру й включають у свій склад не тільки опис навчального матеріалу, а й інформацію про користувачів і керування навчанням.

Зараз є величезна кількість програм, які певною мірою стосуються класу СНФА. Такі системи допомагають тим, хто навчається за допомогою організації адаптивного діалогу з користувачем (як з учнем, так і з викладачем).

Наведемо основні етапи розвитку СНФА з урахуванням розширення їхніх можливостей. Перші СНФА будувалися відповідно до твердого сценарію подання навчальної інформації й діалогу з користувачем. До таких систем належать, наприклад, автоматизовані навчальні системи (АНС), а також електронні підручники, які й зараз не втрачають своєї актуальності й привабливості. Проте на сучасному етапі, коли обсяги інформації стрімко зростають, виникає необхідність створення таких засобів підтримки електронних підручників, які б дали змогу користувачеві не тільки переглядати інформацію, що цікавить його, шляхом навігацій по гіперструктурах, а задавати різні більш складні питання. Це приводить до розширення типології питань користувача, завдяки чому користувач заощаджує час на пошук тієї або іншої інформації. На жаль, у багатьох сучасних системах користувачеві доводиться досить довго листати електронний довідник у пошуках відповіді на одне питання. Ускладнення

номенклатури й зміст питання користувача потребує вдосконалення засобів опису навчального матеріалу, тобто, крім структури й змісту, необхідно також урахувати семантичні зв'язки між описуваними поняттями. Використання такого підходу дозволяє розробити інтелектуальні довідкові системи або експертно-навчальні системи (ЕНС), які необхідні не тільки в складі СНФА, а й у будь-якій комп'ютерній системі. Експертно-навчальні системи є різновидом комп'ютерних систем для ефективної підготовки фахівців з автоматички. Специфічною особливістю ЕНС є наявність бази знань, де зберігаються розв'язання множини завдань, у тому числі при виконанні лабораторних та практичних робіт, які входять у програму навчання. База знань безупинно поповнюється й модифікується відповідно до досвіду застосування й вимог споживачів.

Даний посібник є узагальненням інформації великої кількості джерел про комп'ютерні навчальні системи, а також досвіду в області проектування та застосування ЕНС при викладанні дисципліни „Теоретичні основи автоматички”.

Методика викладання дисципліни - це педагогічна наука, яка вивчає закономірності навчально-виховного процесу при вивченні дисципліни.

Завдання методики викладання дисципліни: відбір навчального матеріалу, підбір елементів дидактичної системи (форм, методів, правил, засобів), розробка комплексу науково-методичного забезпечення з дисципліни.

Мета методики викладання дисципліни (часткової методики) - це вивчення закономірностей навчально-виховного процесу з конкретної дисципліни.

Дана мета досягається шляхом теоретичного і практичного навчання та самостійної роботи студентів. Теоретичне навчання передбачає проведення лекцій, що охоплюють всі основні психологічні, педагогічні та методичні питання навчання спеціальним дисциплінам. У лекційному курсі розглядаються найбільш типові способи, методи і прийоми навчання спеціальних дисциплін, характерні утруднення об'єктивного та суб'єктивного характеру, шляхи і прийоми їх подолання.

Методологічною основою методики викладання дисципліни є дидактика, а відповідна їй наука дає зміст навчальній дисципліні.

Вивчення дисципліни надасть загальні поняття про методику викладання дисципліни "Теоретичні основи автоматички" з використанням новітніх інформаційних технологій у навчальному процесі.

Ефективна діяльність випускника передбачає наявність системи знань про наукове обґрунтування і практичну реалізацію цілей і змісту інженерно-технічних дисциплін, про способи, форми і методи передавання студентам технічних знань.

У результаті вивчення дисципліни слухачі повинні:

знати принципи відбору навчального матеріалу з дисципліни; комплекс педагогічних умов, які забезпечують високий рівень освіти і виховання студентів з даної дисципліни; принципи розробки, на основі одержаних наукових результатів, методичних рекомендацій; засоби запровадження даних рекомендацій у практику; принципи підбору елементів дидактичної системи та розробки комплексу науково-методичного забезпечення з дисципліни тощо;

уміти відбирати навчальний матеріал з дисципліни; виявляти комплекс педагогічних умов, які забезпечують високий рівень освіти і виховання студентів з даної дисципліни; розробляти, на основі одержаних наукових результатів, методичних рекомендацій; запроваджувати дані рекомендації у практику; підбирати елементи дидактичної системи; розроблювати комплекс науково-методичного забезпечення з дисципліни тощо.

Посібник включає сім логічно взаємозалежних розділів.

У першому розділі надається загальна інформація про особливості проведення різних видів занять з навчальної дисципліни «Теоретичні основи автоматичного керування». Наведено вказівки по методиці викладання дисципліни за кожною темою. У другому розділі коротко викладаються психолого-педагогічні основи застосування експертно-навчальних систем на заняттях з навчальної дисципліни «Теоретичні основи автоматичного керування». Особливу увагу при цьому приділено можливостям застосування досягнень когнітивної психології в навчанні.

У третьому розділі наведено: оригінальний матеріал з питань, пов'язаних з формальною постановкою й розв'язанням навчальних завдань на лабораторних роботах та самостійній підготовці студентів; методику планування та організацію навчання із застосуванням ЕНС. Особливу увагу приділено питанням поетапного планування навчання й прискореної самостійної підготовки студентів із застосуванням ЕНС.

Логічним завершенням посібника є матеріал, де викладено найважливіші для практичного застосування ЕНС питання про ведення бази даних, в якій зберігається лекційний матеріал з дисципліни «Теоретичні основи автоматичного керування» про основні поняття теоретичних основ автоматичного керування (розділ 4), про динамічні характеристики ланок (розділ 5), про стійкість (розділ 6) та якість (розділ 7) систем автоматичного керування.

Автори висловлюють глибоку подяку рецензентам за цінні зауваження, що сприяли поліпшенню змісту посібника.

РОЗДІЛ 1

ВКАЗІВКИ З МЕТОДИКИ ВИКЛАДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ «ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АВТОМАТИКИ»

1.1. Види занять, що використовуються при викладанні дисципліни «Теоретичні основи автоматики»

У загальному випадку навчальний процес у навчальному закладі організовується з урахуванням науково-педагогічного потенціалу, матеріальної і навчально-методичної бази, а також можливостей використання сучасних інформаційних технологій.

Існують такі основні види навчальних занять: лекції; лабораторні роботи; практичні, семінарські; консультації; індивідуальні завдання; курсові та дипломні проекти (роботи).

Лекція – це логічно вивершений, науково обґрунтований і систематизований виклад певного наукового або науково-методичного питання, ілюстрований, при необхідності, засобами наочності та демонстрацією дослідів з використанням ЕНС. Лекція – основний вид занять, призначених для засвоєння теоретичного матеріалу.

Лекція має провідну роль в освоєнні дисципліни. Лектор вибирає головне з дисципліни, підкреслює найбільш важливе, що складає основу конкретної науки, викладає все нове, що з'явилося в науці. У цьому відношенні книги відстають від лектора.

Студент повинен складати на лекції конспект. Запис ведеться своїми словами, які відображають основну думку лектора.

Найбільш важливі положення лектор викладає більш повільно з наголосом – це і треба коротко викласти в конспекті. Складання конспекту створює сприйнятливі умови для того, щоб запам'ятати те, що говорить лектор, тому що в процесі беруть участь слух, зір та рука, тобто включені всі органи сприйняття та запам'ятовування. Вести конспект бажано для кожної дисципліни в окремому зошиті з полями, на яких потім можна робити доповнення.

Лабораторне заняття – це вид навчального заняття, при якому студенти під керівництвом викладача проводять натурні або імітаційні експерименти чи досліди з використанням ЕНС з метою практичного підтвердження теоретичних положень даної навчальної дисципліни; набувають практичних навичок роботи з лабораторним устаткуванням, обладнанням, обчислювальною технікою, вимірювальною апаратурою; опановують методикою експериментальних досліджень у конкретній предметній галузі. Лабораторні заняття проводяться у спеціально обладнаних навчальних лабораторіях, в окремих в умовах реального виробництва. На лабораторних заняттях, пов'язаних із застосуванням електричної напруги, **треба суворо додержуватись правил техніки безпеки.**

Практичні заняття – це вид навчальних занять, при яких викладач з використанням ЕНС організує детальний розгляд студентами окремих теоретичних положень навчальної дисципліни шляхом виконання (розв'язання) відповідно сформульованих завдань, тестів тощо. На практичних заняттях викладач може здійснювати контроль знань, навичок і умінь студентів.

Семінарське заняття – це вид занять, на яких викладач з використанням ЕНС організує дискусію навколо попередньо визначеної теми, по якій студенти готують тези виступів, реферати. На семінарському занятті заслуховуються виступи студентів за своїми тезами (рефератами), а також у порядку дискусії за виступами інших студентів групи. Розглядаються підготовлені студентами тези, реферати, їх виступи у дискусії, уміння формулювати і відстоювати свою позицію тощо. Оцінки за семінарські заняття заносяться в журнал викладача і потім враховуються при виставленні підсумкової оцінки з даної дисципліни.

Консультація – це вид навчального заняття, при якому студент отримує відповідь від викладача або ЕНС на конкретні запитання, що виникли в процесі вивчення навчальної дисципліни, при виконанні курсових робіт, індивідуальних завдань і підготовці до заліків та іспитів. Консультація може бути індивідуальною або проводитися для групи студентів.

Індивідуальні завдання з окремих дисциплін (реферати, розрахункові завдання, графічні роботи тощо) виконуються студентом самостійно при консультуванні викладачем до конкретного терміну. Тема і зміст завдання видається студенту заздалегідь.

Курсові проекти (роботи) виконуються з метою закріплення, поглиблення і узагальнення знань, одержаних студентом за час вивчення дисципліни або групи дисциплін. Темі курсових проектів (робіт) видаються студентам, як правило, індивідуально і завчасно. Захист курсових проектів (робіт) проводиться перед комісією у складі двох-трьох викладачів кафедри, яка веде відповідну дисципліну.

Самостійна робота студента, яка виконується у час, вільний від обов'язкових занять в аудиторіях і лабораторіях, є основним засобом засвоєння студентом навчального матеріалу і важливою складовою частиною підготовки. Для самостійної роботи надаються відповідні методичні матеріали, а також фахові монографії і підручники. Самостійна робота студента може виконуватися у читальних залах бібліотек, навчальних лабораторіях, комп'ютерних класах, а також у домашніх умовах з використанням дистанційної ЕНС.

Дещо про організацію самостійної роботи поза аудиторією. Час на це відводиться значний. Якщо студент в аудиторії працює кожен день 6 – 8 годин, то самостійно треба працювати не менш 3 – 4 години щоденно.

У першу чергу виконуються графічні та розрахункові роботи, завдання на які отримані на аудиторних заняттях, а також здійснюється оформлення виконаних лабораторних робіт (приблизно 2 – 2,5 години щоденно).

На другому місці повинно бути читання прослуханих і законспектованих лекцій та навчальних посібників по дисциплінах (це робиться напередодні наступної лекції). Крім того, треба підготуватися до проведення лабораторних робіт, передбачених розкладом занять. На цей другий етап самостійної роботи відводиться планом не менш як 1 – 1,5 години.

Таким чином, сумлінний студент в середньому щоденно зайнятий 10 – 12 годин (аудиторний та самостійний час). Самостійна робота в гуртожитку або в читальних залах бібліотек повинна бути регулярною і ритмічною: 40 – 50 хв. роботи має перериватися на 10 – 15 хвилин відпочинку. В плануванні самостійної роботи треба передбачати й перерви на обід, вечерю, а також час на сон.

Головне в плануванні і виконанні плану самостійної роботи – це ритмічність, регулярність, самодисципліна.

Реферат – це короткий виклад суті якогось питання за матеріалами прослуханої лекції, доповіді, прочитаних статей або книг із формуванням власних висновків в кінці роботи.

Для отримання доступу до заліку необхідно відвідувати курс лекцій, здати і захистити реферат. У завданні, що видає викладач, на перших сторінках перелік тем рефератів. Після переліку тем викладено зміст реферату (що там повинно бути), далі йде орієнтована структура реферату й наприкінці приведено список літератури, яку можна використовувати при написанні реферату. Список не означає, що треба прочитати і прореферувати всі книги. З них кожному треба вибрати 1 – 2 книги й своїми словами коротко викласти власне розуміння цього питання. Не обов'язково обмежуватись цим списком літератури. Можна, порадившись з бібліотекарем, взяти будь-яку іншу книгу, не наведену у списку або навіть не брати ніякої книги й написати по-своєму розумінню (з голови). Список літератури можна ксерокопіювати.

Структура реферату: титульний лист, вступ, суть питання, висновки, використана література.

1.1.1. Особливості проведення лекційного виду занять

У системі активізації навчання цей метод займає провідне місце, бо «Лекція – основний вид проведення навчальних занять у навчальному закладі, призначених для засвоєння теоретичного матеріалу». Не зважаючи на це, серед учених не існує одностайних поглядів як на методику проведення лекції, так і на її визначення. У підручнику з педагогіки [3, 6, 7] стверджується, що «лекція відрізняється від розповіді тим, що виклад тут не переривається зверненням до учнів із запитаннями. Лекція звичайно займає весь (або майже весь) урок». У свою чергу І.Ф. Харламов єдиною відмінністю між лекцією та розповіддю (поясненням, бесідою) убачає у тому, що лекція використовується для викладу більш-менш об'єктивного навчального

матеріалу. Інші дослідники наголошують на специфіці лекційного стилю: «Піднесеність викладу, особливість дикції, темпу» .

Лекція – це логічно витриманий, системно послідовний комплекс усних методів навчання (інформаційне повідомлення, пояснення, розповідь, бесіда), спрямований на реалізацію студентами репродуктивної або продуктивної творчої активності [7]. Для педагогів практиків таке визначення лекції важливе тому, що : по-перше, в ньому наголошується, що лекційний метод поєднує в собі низку усних методів навчання; по-друге, це поєднання має бути логічно витриманим і системним, а це відображає особливість і специфіку лекційного методу: по-третє, виконана спроба розгляду лекції крізь призму навчально-пізнавальної активності, що зумовлює як відповідну її будову, так і вибір змісту навчального матеріалу. За своєю структурою лекція складається зі вступу, викладу, заключної частини. Це необов'язкові складові окремих частин лекції, однак, як визначають вчені-педагоги, «логічна стрункість, співставленість і взаємозв'язок окремих частин лекції – необхідні умови її успіху».

Вступ має бути коротким, живим та виразним: функціонально це «камертон», який має налаштувати аудиторію на продуктивну навчальну роботу. В подальшому викладі, як правило, лектор, послідовно розвиваючи свою думку, спрямовує слухачів до розуміння ідеї лекції, застосовуючи різні докази правильності науково-теоретичних положень, ілюструючи їх прикладами, цифровими, наочними посібниками з використанням ЕНС.

Досвід показує, що дуже важливо давати короткі узагальнюючі висновки з окремих питань теми. У заключній частині підводиться підсумок, даються необхідні узагальнення, робляться науково-теоретичні й практичні висновки для спрямування подальшої самостійної роботи студентів та створення наукової основи для наступної лекції [13].

Значну допомогу у визначенні структури лекції та відборі навчального матеріалу надає план лекції з приблизним розподілом часу з окремих питань. Для кінцевого визначення змісту та структури лекції необхідний конспект різного ступеня деталізації залежно від досвіду лектора. Однозначно, для лектора початківця необхідно мати повний текст лекції. Однак, в аудиторії викладач не повинен дослівно її зачитувати студентам. Хороші результати при підготовці лекції надає повний чи фрагментний запис її в базу даних ЕСН із подальшим прослуховуванням чи переглядом для вдосконалення. Рукопис чи конспект може бути використаний під час лекції для довідок чи точного формулювання положень, правил, законів тощо.

Дуже важливо, щоб навчальний матеріал був науковий. Лекція буде мати значну навчальну цінність, якщо матеріал аргументуватиметься результатами сучасних наукових досліджень. Важливим чинником зацікавленості студентів є подання лектором власних наукових результатів, що значно впливає на його авторитет як викладача.

Лекція повинна читатись образно, викладачу необхідно користуватись образами й порівняннями, взятими з реального життя чи народної творчості. Не можна спілкуватись з аудиторією лише мовою цифр, наукових фактів,

законів, висновків. Однак, не слід надмірно використовувати «крилаті» вислови, цитати, бо їх, надлишок може спричинити втрату самостійності думки лектора. Вирішальне значення для реалізації мети лекції відіграє мова лектора. Уміння говорити, тримати в напруженні аудиторію – це велике мистецтво, яким оволодівають роками. Слід зазначити, що на мову лектора певним чином впливають такі фактори: характер лекційного матеріалу, склад слухачів, ступінь їх підготовки. У навчальних сільськогосподарських закладах не існує таких дисциплін, які не можуть викладатись просто і ясно, доступною для студентів мовою. Природно, що чим складніший зміст лекції, тим простішою і яснішою повинна бути мова. Слід стримано відноситись до використання слів іноземного походження. Такі слова можуть бути використані лише тоді, коли їх необхідно ввести в мовний обіг, якщо вони зрозумілі всім студентам чи входять до міжнародної термінології.

Однак, очевидність сказаного не завжди враховується навіть у підручниках із педагогіки. Приклади переконують, що не слід засмічувати, ускладнювати мову, бо це призводить до недоступності змісту для слухачів. Лектор повинен збагачувати свій словниковий запас, бо недостатність слів збіднює мову, породжує нудьгу й одноманітність. Думка має бути вираженою у правильно побудованих логічно чітких і закінчених формах.

Разом із тим, не можна в аудиторії говорити завченими, готовими фразами. Мова повинна бути живою і природною, формулювання точними й короткими.

Дуже важливим є темп лекції. У педагогічній літературі є чимало рекомендацій щодо цієї проблеми. Але беззаперечним є одне: темп лекції виробляється під впливом слухачів. Досвідчений викладач бачить, чи встигають студенти конспектувати, як скоро сприймають навчальний матеріал, чи достатньо він керує їх увагою та ін. За своїм змістом лекція має відповідати належному науковому рівню.

Лекція повинна мати струнку структуру:

1. Вступ, у якому висвітлюється актуальність теми, має мобілізувати увагу учнів і зацікавити їх.
2. План лекції має допомагати учням слідувати за думками лектора, легше і ґрунтовніше засвоїти їх.
3. Центральна частина лекції – виклад теми – має, відповідно до плану, послідовно розкрити зміст теми.
4. У заключній частині лектор робить підсумок, підкреслює основні твердження лекції.

Мова лекції має бути граматично і стилістично правильною. Форма лекції – живою, цікавою. Лектор повинен звертати увагу на допоміжні засоби мови (інтонацію, міміку, жести) і вимову, щоб бути зразком для учнів, як володіти голосом. Під час лекції вчитель має сидіти або, краще, стояти за кафедрою, щоб бачити всіх учнів. Лектор неодмінно мусить виготовити перед лекцією конспект. Треба звертати увагу і на темп лекції, щоб тримати повний контакт з аудиторією.

Слід зазначити, що наведені вимоги – це комплекс зовнішніх педагогічних розумів, які є необхідними, але не достатніми для забезпечення продуктивної навчально-пізнавальної активності студентів на лекції. Ці умови завжди переломлюються через індивідуальні особливості особистості, її діяльність, взаємовідносини між студентами. Ефективність навчання залежить від рівня розумового розвитку студента, його пізнавальних здібностей, відношення до праці, особливостей мислительної діяльності.

Розглянемо психолого-педагогічні умови, які домінують при формуванні продуктивних пізнавальних потреб на лекції. Значна роль при цьому належить установці, яка визначається як «... стан готовності до певної активності, спрямованої на задоволення тієї чи іншої споживи». Дійсно, перед тим, як діяти відповідно до поставлених навчальних завдань, студент повинен перейти до стану внутрішньої готовності. Налаштування всіх фізичних і психічних процесів на виконання певних дій відбувається через переконання і навіювання. Потреба в активних пізнавальних діях виражається установкою «Потрібно!», «Повинен!». Значна роль при цьому належить викладачу, його вмінню через впливи та навіювання організувати робочий настрій студентів. Психологи стверджують, що установка, винесена з тимчасового стану, може перейти в усвідомлену тенденцію поведінки, і стати рисою особистості [13].

До наступної важливої умови формування продуктивних пізнавальних потреб слід віднести організацію усвідомленості сприймання. Сприймання об'єктів, предметів зводиться до їх упізнавання подумки назвати його, визначити призначення, віднести до певного класу чи вигляду. Сутність усвідомленості сприймання полягає у тому, що студенти, сприймаючи навчальні об'єкти, предмети намагаються віднайти в них схожість чи відмінність і уже відомими їм, знайти відповідне місце в системі особистих розумінь і уявлень. Утім, якщо процес сприймання на лекції відповідним чином не організований, то осмислення навчального матеріалу відбувається стихійно. Студенти повинні постійно розуміти, що, із якою метою і як вони повинні сприймати. Цьому сприяють вступне слово, інтерпретація окремих фактів, виділення провідних питань, пояснення висловлювань, виразів, уточнення розумових значень наукових термінів чи маловживаних слів.

Усвідомленість сприймання виявляється в єдності з цілісністю образу сприймання, що досягається на основі узагальнення знань про окремі властивості предмета, його структурні особливості. Важливо зазначити, що сприймання постійно вдосконалюється, стає більш свідомим, цілеспрямованим, розвивається в напрямку спостереження.

Не менш важливою умовою формування активності студентів є організація уваги. Організувати увагу студентів означає спрямувати їх свідомі дії на зміст навчального матеріалу, спонукати їх до міркування, осмислення.

На визначну роль уваги в оволодінні знаннями вказував К. Д. Ушинський: «Розвинути в учневі увагу до наукових предметів означає прокласти йому широку й легку дорогу до навчання. Увага – єдині ворота,

кризь які свідомі знання, лише одні плідні, можуть перейти в розумові здібності учня. Недостача здібностей в учневі є в більшій частині не більше, ніж невміння бути уважним» Увага студента на лекції детермінована як об'єктивними чинниками, так і суб'єктивним станом індивіда: інтересами й потребами, волею, характером. Психологи характерними рисами уваги називають стійкість, здатність до переключення, розподіленість, відволікання тощо.

На лекції стійкість уваги забезпечується тим, що лектор не просто повідомляє наукові факти, а, роздумуючи, залучає до розмірковування всю аудиторію. Звертання до студентів із запитаннями: «Що це?», «З чим це пов'язано?», «Чому?», «Що з цього випливає?», «Як це довести?» не тільки затримує увагу на певному навчальному матеріалі, а й привчає їх до логіки мислення, вчить аналізувати, обґрунтовувати, узагальнювати, систематизувати.

Якщо викладач хоче перейти від пояснення одного навчального питання до іншого, чи від одного навчального об'єкта до наступного, він повинен переключити увагу студентів. Для цього необхідно підвести підсумок попередній навчальній роботі та чітко вказати мету майбутніх навчальних дій.

Важливо не допускати відволікання студентів від основної роботи. Для відволікання існує багато причин: лінощі, сторонні подразники, монотонність викладу, слабе здоров'я, простота й легкість навчального матеріалу тощо.

Наведені міркування щодо організації уваги показує, що внутрішня готовність студентів до приймання змісту лекції значною мірою залежить від їх зацікавленості навчальним матеріалом, усвідомленості його значення й необхідності. А для цього кожний слухач повинен чітко розуміти те, що засвоюється. Зі свого боку, лектору необхідно організовувати процес управління, усвідомлюючи його сутність та механізм його формування з використанням ЕНС.

Одні й ті ж наукові факти, явища, предмети можуть розумітися людьми по-різному: це детерміновано життєвим досвідом, рівнем розвитку мислення, професійними інтересами, особистісними якостями тощо.

Залежно від рівня активності студента на лекції можна певним чином систематизувати розуміння. Врахування наведених психолого-педагогічних розумів під час лекції не тільки підвищує результативність засвоєння навчального матеріалу, а й стимулює формування продуктивних пізнавальних потреб та мотивів навчання.

Викладач повинен завжди бути самим собою, читати лекції з властивою лише йому манерою та прийомами, без шаблонів та надмірної «театралізації». Лише кропіткий пошук змісту та форми лекції з використанням ЕНС виведе на перспективи досягнення гармонії думки та слова.

1.1.2. Особливості проведення лабораторних занять

У сільськогосподарських навчальних закладах лабораторні заняття, призначені для поглибленого вивчення науково теоретичних основ предмету та оволодіння сучасними методами, умінням та навичками експериментування із застосуванням комбінованих технічних засобів.

Значення латинського слова *Labog* (праця, робота, утруднення) указує на те, що це поняття з давніх-давен пов'язують із застосуванням розумових та фізичних зусиль при пошуку раніше невідомих шляхів і засобів вирішення наукових чи життєвих завдань.

Завдяки лабораторним заняттям студенти краще засвоюють навчальний матеріал. Розрахунки, абстрактні формули стають більш конкретними. В лабораторії проходить зіткнення теорії й досвіду, що розвиває мислення, формує навички дослідника експериментатора, творчі здібності студента. Для проведення лабораторних робіт відбирається такий навчальний матеріал, на якому до закінчення курсу навчання можна ознайомитися з методикою сучасних наукових досліджень. Головним завданням дослідів, як правило, є вивчення сутності явищ і внутрішніх процесів. Зі спеціальних дисциплін виконуються такі роботи, які майбутнім спеціалістам доведеться здійснювати в тій чи іншій якості у практичній чи науковій роботі.

Велике значення має педагогічно правильна організація проведення лабораторних робіт. Саме обставини виконання робіт повинні організовувати студентів і викликати у них бажання працювати творчо. Інакше кажучи, повинна бути стала, традиційно позитивна система організації навчального процесу взагалі. Як правило, в цій системі лабораторні роботи проводяться після лекції.

Найбільш ефективно проводяться лабораторні роботи з використанням ЕНС, за допомогою якої забезпечується формування завдань для проведення досліджень, перевірка якості виконання завдань та управління процесом навчання (видача допоміжної інформації, наведення прикладів, тестування знань тощо). При цьому, дуже важливо створити для студентів умови, за яких вони не хвилюються за можливі невдалі експериментування. Усі результати експериментів у формалізованому виді повинні вводитись в ЕНС для проведення аналізу та при необхідності для підказки виконання основних операцій, які приводять до одержання певних рішень. Студенти повинні знати, що від них вимагається індивідуальна пошукова робота, характерна для наукових досліджень, вони мають бути зорієнтованими на самостійність, вдумливе й відповідальне становлення до матеріалу експериментування.

Дослідження [7] показало, що в будь-яку лабораторну роботу можна внести елементи пошукової діяльності і спонукати студентів до продуктивної активності. Наприклад, коли їм пропонують розробити рекомендації щодо удосконалення конструкції вузлів та деталей (причому за індивідуальним завданням), їх активність переходить у продуктивну площину: в аудиторії напружена мислительна робота. Такий підхід забезпечує розвиток ініціативи [10,11] й самостійності, відповідальності й інтересу, в цілому сприяє

формуванню потреба мотиваційної сфери особистості майбутнього спеціаліста сільськогосподарського виробництва.

Призначення лабораторного практикуму – закріплення теоретичних знань, отриманих при вивченні дисципліни «Теоретичні основи автоматики», а також придбання практичних навичок з експлуатації, аналізу й розробки засобів автоматичного управління з використанням ЕНС.

У лабораторний практикум повинні бути включені роботи з вивчення й дослідження окремих елементів і пристроїв автоматики, а також з дослідження систем автоматичного управління і типових динамічних ланок. Виклад кожної лабораторної роботи включає в себе основні теоретичні положення, короткі відомості і характеристики окремих елементів автоматики, опис лабораторних установок, порядок проведення і методіку виконання робіт, рекомендацію з оформлення звітів, контрольні питання й перелік літератури, що рекомендується.

При підготовці до лабораторних занять кожний студент зобов'язаний вивчити відповідні розділи теоретичного курсу (по лекційних записах і літературі, що рекомендується, наведеній після кожної інструкції до роботи), детально ознайомитися із змістом лабораторної роботи, методикою її проведення й схемою експериментальної установки по даним методичним вказівкам.

До виконання циклу лабораторних робіт студенти допускаються після обов'язкового проходження інструктажу з техніки безпеки, що повинно бути підтверджено розписом студента у спеціальному журналі.

Перед початком чергового заняття студент має пред'явити звіт про попередню лабораторну роботу, а також показати свою підготовленість до виконання майбутньої роботи. Попередню обробку отриманих даних студенти повинні провести в лабораторії і погодити з викладачем, а остаточну – вдома.

Звіт повинен містити:

1. Найменування теми й мету роботи.
2. Програму роботи.
3. Схеми експериментальної установки і робочі електричні схеми.
4. Технічні дані приладів, що використовуються, й обладнання.
5. Необхідні обчислення й розрахунки.
6. Таблиці досліджених і розрахункових даних і відповідні графіки.
7. Аналіз і висновки по виконаній роботі.

1.1.3. Правила техніки безпеки при виконанні лабораторних робіт

1. Виконувати лабораторні роботи можна тільки після проведення викладачем інструктажу з техніки безпеки. Студент повинен розписатися в журналі про те, що він ознайомлений з правилами техніки безпеки і зобов'язується їх виконувати [13].

2. Зібрані схеми підключають до напруги тільки після дозволу викладача, попереджаючи про це всіх членів бригади, що спільно виконують цю роботу.

3. Категорично забороняється:

- торкатися оголених проводів, клем, губок рубильників та інших струмопровідних частин, що знаходяться під напругою;
- робити зміни в схемі, що знаходиться під напругою;
- залишати без спостереження схему, що знаходиться під напругою;
- самостійно усувати несправності в мережі електроживлення і приладах;
- включати зібрану схему під напругою без дозволу викладача.

4. Перед включенням приладів і установки їх потрібно надійно заземлити.

5. У лабораторії потрібно підтримувати тишу й порядок. Не займатися справами, безпосередньо не пов'язаними з роботою, що виконується. Не засмічувати своє робоче місце приладами і сторонніми предметами, дотримуватись чистоти. Прибрати з робочого місця невикористані з'єднувальні проводи.

6. Без дозволу викладача не можна: включати напругу на щиті живлення, торкати прилади, обладнання і з'єднувальні проводи з інших робочих місць.

7. Збирати схему рекомендується одному з членів бригади під контролем іншого. Забороняється залишатися працювати в лабораторії одному студенту.

8. Якщо стався нещасний випадок, відключити напруження і негайно надати першу допомогу потерпілому. Повідомити про це викладачеві.

9. Негайно повідомити викладачеві про всі помічені несправності приладів, пристроїв, джерел живлення, комутуючих елементів.

10. Розбирати й змінювати схему можна тільки після вимкнення живильних її напружень і оцінки викладачем результатів досліджень. По закінченню роботи, з дозволу викладача, необхідно знеструмити і розібрати схему, привести в порядок своє робоче місце, а з'єднувальні проводи й прилади вмістити в окреме для них місце.

1.1.4. Рекомендації щодо використання наочних матеріалів

Словесні методи навчання, як правило, поєднуються із засобами наочності ЕСН. Психологічні дослідження вказують, що близько 90% інформації про зовнішній світ людина отримує за допомогою органів зору. Установлено, що око здатне сприймати мільйони біт інформації за секунду, тоді як вухо лише тисячі. За допомогою зору інформація не тільки сприймається краще, а й носити більш глибокий, осмислений характер, краще запам'ятовується, довше зберігається в пам'яті. Учені зазначають, що для сприйняття раніше невідомого людині об'єкту необхідно при словесному описі 2,8 с; при зображенні на контурному малюнку 1,5 с.; на кольоровому

фото 0,9с; засобами кіно 0,7 с; при демонструванні об'єкту в натуральному вигляді 0,4 с. Тому у дидактиці значну роль відіграють методи наочності, до яких відносять: ілюстрування (illustration – зображення, наочне пояснення), демонстрування (demonstratio – показ), самостійне спостереження, досліди.

І.Ф. Харламов справедливо об'єднує ілюстрування і демонстрування в єдиний ілюстративно демонстративний метод. Його сутність він убачає у тому, що в процесі навчальної роботи викладач ілюструє, наочно пояснює свій виклад, або демонструє тієї чи іншої посібник, який може виступати як ілюстрацією, так і джерелом нових знань.

Для навчання інженерно-технічним предметам застосовують систему наочності, що включає декілька видів:

1. Натуральна наочність. Це об'єкти, що вивчаються в натуральному вигляді. Іконічна наочність зображення об'єктів у натуральному вигляді (плакати, слайди та ін.).

2. Символічна наочність умовні зображення об'єктів: схеми, діаграми, графіки, таблиці, формули та ін.

3. Наочність у вигляді моделей: макети, моделі копії, моделі принципу побудови й дії, моделі технологічного процесу та ін.

4. Наочність у вигляді стендів, що поєднують у різних варіантах попередні бази наочності.

Ефективність ілюстративно-демонстраційного методу залежить від вмілого поєднання слова і наочних посібників, дотримання певних технічних прийомів і правил. Наприклад, при демонструванні реальних предметів, моделей, особливу роль відіграє використання якомога більшого числа рецепторів (дотик, зір, нюх, смак тощо).

Важливим є дотримання викладачем правил застосування наочних посібників ЕСН. Наочний посібник потрібно попередньо підготувати для показу. Розміщення його повинно бути таким, щоб було чітко видно всі необхідні деталі, сторони об'єкта, моделі, переріз та інші, які розфарбовуються згідно закономірностей колористики науки про сприйняття кольорів. Поява й зникнення наочною посібника мають бути узгоджені із змістом навчального матеріалу.

Формування спеціаліста вимагає, щоб студент оволодівав знаннями, навичками й уміннями не тільки з навчальних посібників, а й безпосередньо з реального життя шляхом спостережень та дослідів, які вони сприймають. Цим постійне спостереження відрізняється від дослідів, в яких студенти виступають у ролі експериментатора.

Як доводять дослідження, можливості засобів наочності з використанням ЕНС значно ширше, ніж ілюстрації до викладеного матеріалу. Згідно з цілями активізації навчально-пізнавальної діяльності студентів, кінцевою метою є відкриття нових для студентів знань, формування пізнавальних потреб. А цей аспект перед усім пов'язаний з проблемним навчанням, коли використання наочності не тільки спрямовує процес створення образу ситуації, а й впливає на переструктурування цього образу у відповідності до навчального завдання.

Застосування наочності у навчанні важливе і з позиції формування пізнавальних здібностей студентів. У даному випадку доцільно згадати «Школу радості» В.О. Сухомлинського. Він, показавши роль педагога у розвитку спостережливості учнів, використовував природу не тільки як джерело пізнання нових об'єктів спостереження, а й як чинник формування особистості.

Важливо зазначити, що у формуванні навчально-пізнавальної активності студентів наочність з використанням ЕНС виконує також особливу функцію: збудження пізнавальної потреби через наближення навчального об'єкта до суб'єкта пізнання.

1.1.5. Методи навчальної роботи щодо формувань навичок та умінь застосування знань

При використанні ЕНС найчастіше до цієї групи методів відносять вправи, лабораторний та виробничо-практичний метод.

Вправа це свідоме багаторазове виконання подібних дій з метою оволодіння ними чи їх удосконалення. При цьому студенти тренуються у застосуванні знань на практиці, виробляють певні вміння та навички, розвивають творчі здібності, хист.

Учні концентрують увагу на тому, що засвоєння суттєвих властивостей понять, зв'язків між ними, можливо лише при свідомій діяльності студентів, а засобом її організації і виступають справи. А.О. Смірнов наголошував, що мислительська діяльність спрямована на поглиблене розуміння навчального матеріалу, призводить до його ефективного запам'ятовування. Зазначені думки вчених дають підстави для висновку про те, що з допомогою вправ студенти залучаються до діяльності, ефективність якої знаходиться в прямій залежності від рівня пізнавальної активності.

Таким чином, з використанням ЕНС в процесі формування навчально-пізнавальної активності студентів вправи виступають: 1) джерелом знань, засобом оволодіння знаннями, навичками та вміннями; 2) способом організації й управління навчально-пізнавальної діяльності студентів, однією з форм прояву методів навчання; 3) способом стимулювання, мотивації навчання студентів; 4) засобом зв'язку теорії з практикою, контролю за оволодінням навчальним матеріалом.

Вправи повинні носити свідомий характер: до їх проведення слід приступати лише після ґрунтовного засвоєння студентами навчального матеріалу. Не менш важливим є те, що вправи повинні сприяти подальшому поглибленню знань та розвитку творчих здібностей студентів.

Остання умова організації вправ, на перший погляд, вступає в протиріччя із самим поняттям цього методу як багаторазового повторення дій. У зв'язку з цим слід зазначити, що вправи повинні поєднуватись з таким явищем, як перенесення знань. І.Ф Харламов справедливо наголошує, що надати вправам розвиваючий характер можна лише тоді, коли вони будуть

включати творчі завдання, виконання яких вимагає від студентів обдумування, розумової самостійності та пошуку рішень.

1.1.6. Виробничо-практичний метод навчання

На відміну від інших методів навчання, виробничо-практичний метод має безпосередній вихід у промислове і сільськогосподарське виробництво з метою створення матеріальних благ (суспільно - корисна і продуктивна праця), адже мета практичних робіт - створення реальних цінностей.

Практичні роботи застосовуються на всіх курсах навчання, при вивченні майже всіх навчальних предметів. Додатки вказують на тісний зв'язок цього методу з іншими методами навчання. Значний вплив він здійснює на формування самостійності та навчально-пізнавальної активності студентів з використанням ЕНС, підготовку їх до професійної діяльності [13]. Виробничо практичні методи мають безліч форм прояву в навчанні. Їх виділяють за такими критеріями:

за навчальними предметами;

за характером і результатами діяльності студентів.

1.2. Вказівки з методики викладання дисципліни «Теоретичні основи автоматики»

1.2.1. Методичні вказівки з вивчення основних понять з автоматизації технологічних процесів та сільськогосподарського виробництва

Автоматика - галузь науки та техніки, що охоплює теорію й принципи побудови автоматичних пристроїв та систем, які працюють без участі людини.

Теорія автоматичного керування (ТАК) – наукова дисципліна, предметом вивчення якої є процеси, що відбуваються в системах автоматичного керування (САК).

В методичних рекомендаціях передбачається проведення різних видів занять, на яких здійснюється поглиблення, закріплення, вдосконалення знань, формування професійних умінь, набуття практичних навичок з використанням ЕНС.

В началі заняття необхідно розкрити наступні питання: скорочений нарис розвитку автоматики, сучасні тенденції у розвитку автоматики, технічні переваги автоматизації сільськогосподарського виробництва [13].

При вивченні «Вступу до дисципліни» необхідно пояснити предмет курсу, задачі та зміст дисципліни «Теоретичні основи автоматики», звернути особливу увагу на розвиток автоматизації технологічних процесів та особливості автоматизації сільськогосподарського виробництва та перспективи її розвитку.

Питання для самоперевірки з використанням ЕНС:

1. Назвіть основні види автоматизації.
 2. У чому заключається часткова, комплексна і повна автоматизація?
 3. Дайте визначення поняттям: «система автоматичного управління», «система автоматичного регулювання».
 4. Що таке алгоритм функціонування й алгоритм управління?
 5. Що мається на увазі під задаючим, керуючим і збудуючим впливом?
 6. Поясніть відмінність між статичною й астатичною САР. Дайте приклади.
 7. Що таке двухпозиційне й трьохпозиційне регулювання і чим вони відрізняються один від одного?
 8. У чому заключаються особливості стабілізуючої, програмної і стежачої систем?
 9. Що таке жорсткий і гнучкий зворотні зв'язки?
 10. З яких функціональних елементів складається автоматичні системи?
 11. Роль автоматизації виробництва.
- Які тенденції розвитку автоматизації сільськогосподарського виробництва?
12. Дати визначення терміну «автоматика».
 13. Назвати основні етапи розвитку автоматики в нашій країні.
 14. Розповісти сучасний стан розвитку автоматизації сільськогосподарського виробництва.
 15. Які особливості сільськогосподарського виробництва необхідно враховувати при його автоматизації?
 16. В чому соціальне значення автоматизації сільськогосподарського виробництва?
 17. Назвати засоби автоматики, що застосовуються в сільськогосподарському виробництві.
 18. Які економічні переваги дає автоматизація сільськогосподарського виробництва?

1.2.2. Методичні вказівки при вивченні загальних відомостей про системи автоматичного керування

В ході заняття з використанням ЕНС необхідно розкрити наступні питання. Сутність автоматичного керування. Предмет і завдання курсу. Місце ТАК в системі наук. Основні визначення. Завдання автоматичного керування. Принципи автоматичного керування. Види впливів на САК. Режими роботи САК. Вимоги до САК. Класифікація САК. Узагальнена функціональна схема САК.

Методичні вказівки

При вивченні загальних відомостей про САК необхідно звернути особливу увагу на розвиток автоматизації технологічних процесів та

особливості автоматизації сільськогосподарського виробництва та перспективи її розвитку [13].

Глибоке вивчення основних елементів автоматики, систем автоматичного управління і їх властивостей має вирішальне значення для засвоєння всього курсу. Головну увагу зверніть на визначення, термінологію й класифікацію по різних ознаках систем автоматичного керування.

При вивченні класифікації САК по алгоритму функціонування необхідно чітко засвоїти особливості стабілізуючої, програмної й стежачої САК, а також згідно з класифікацією по інших ознаках систем: статичної й астатичної; розімкненої, замкненої й комбінованої; лінійної й нелінійної; одномірної й багатомірної, адаптивної й неадаптивної; безперервної й дискретної дії.

Зверніть увагу на принцип зворотного зв'язку, що виконує найважливіші функції в автоматичному управлінні. При цьому необхідно засвоїти призначення, реалізацію й особливості функціонування жорстких і гнучких, негативних і позитивних зворотних зв'язків.

Чітко з'ясовувати відмінність між функціональною схемою САУ (що складається з функціональних блоків) і структурною алгоритмічною схемою (що складається з динамічних типових ланок).

Література, що рекомендується: [1],[2],[4],[8],[9],[13].

Питання для самоперевірки з використанням ЕНС:

1. Назвіть завдання, які вирішуються в курсі теорії автоматичного керування.
2. Яку роль відіграє автоматизація на сучасному етапі розвитку науки і техніки?
3. Укажіть переваги та недоліки принципів керування, застосовуваних у САК.
4. Що таке функціональна схема САК?
5. На які класи діляться САК за метою керування?
6. На які класи ділять САК за виглядом математичного опису?
7. Що таке перехідний процес?
8. Які типові впливи використовуються при вивченні динаміки елементів і систем?
9. Які ознаки елементів системи керування відбиваються на її функціональній схемі?
10. Назвіть найпоширеніші функціональні елементи систем керування.
11. На які класи розділяють системи керування по величині помилки $\Delta(\infty)$ в сталому режимі?
12. На які класи розділяються системи керування за принципом дії?
13. Які переваги та недоліки мають розімкнені системи керування?
14. Які переваги та недоліки мають замкнені системи керування?
15. З яких функціональних елементів складається автоматичні системи?

В ході заняття необхідно надати: основні види автоматизації, визначення й термінологію; основні поняття і класифікацію систем автоматичного управління (САУ) і регулювання (САР); зворотні зв'язки в САУ; функції й параметри елементів автоматики; функціональні, структурні і принципові схеми автоматики.

Глибоке вивчення основних елементів автоматики, систем автоматичного управління і їх властивостей має вирішальне значення для засвоєння всього курсу. Головну увагу необхідно звернути на визначення, термінологію й класифікацію по різних ознаках систем автоматичного управління. При вивченні класифікації САУ по алгоритму функціонування необхідно чітко засвоїти особливості стабілізуючої, програмної й стежачої САУ, а також згідно з класифікацією по інших ознаках систем: статичної й астатичної; розімкненої, замкненої й комбінованої; лінійної й нелінійної; одномірної й багатомірної, адаптивної й неадаптивної; безперервної й дискретної дії.

Необхідно також звернути увагу на принцип зворотного зв'язку, що виконує найважливіші функції в автоматичному управлінні. При цьому необхідно засвоїти призначення, реалізацію й особливості функціонування жорстких і гнучких, негативних і позитивних зворотних зв'язків.

При вивченні функцій елементів автоматики з використанням ЕНС потрібно звернути увагу на визначення понять: сприймаючі елементи (датчики), керуючі елементи, виконавчі елементи, керовані об'єкти. Чітко з'ясувати відмінність між функціональною схемою САУ (що складається з функціональних блоків) і структурною алгоритмічною схемою (що складається з динамічних типових ланок).

1.2.3. Методичні вказівки при вивченні основних властивостей об'єктів автоматичного управління

У ході заняття з використанням ЕНС необхідно надати визначення: об'єктів автоматичного управління в електрифікованому сільськогосподарському виробництві; статичні й динамічні характеристики об'єктів; акумулюючу здатність об'єктів; самовирівнювання об'єктів, запізнення в об'єктах; постійну часу об'єктів.

Передусім необхідно уявити, які конкретні пристрої, установки, машини, обладнання при автоматизації сільського господарства можуть бути об'єктами управління (ОУ). Потрібно звернути увагу на статичні і динамічні характеристики ОУ, а також спробувати приблизно побудувати статичну і перехідну характеристики конкретних ОУ. По кожному ОУ, що розглядається бажано сформулювати вимоги до автоматичних керуючих пристроїв. Вивчити три найголовніші характеристики ОУ: акумулюючу здатність, самовирівнювання, запізнення і їх вплив на функціонування САУ. Література, що рекомендується: [4], [8], [9].

Питання для самоперевірки з використанням ЕНС:

1. Приведіть приклади ОУ в сільському господарстві.

2. Що таке статична характеристика ОУ?
3. Як визначаються динамічні характеристики ОУ?
4. Якісно зобразіть статичні й перехідні характеристики наступних ОУ: електробрудера, електропарника, безвежової водокачки.
5. У чому укладається самовирівнювання об'єкту автоматизації?
6. Як визначити постійну часу ОУ?
7. Що характеризує акумулююча здатність об'єкту?
8. Приведіть приклади одноємнісних і багатоемнісних ОУ?
9. Чим пояснити наявність передаточного й перехідного запізнення в об'єкті?
10. Які вимоги пред'являються до САУ з боку об'єкту автоматизації?

1.2.4. Методичні вказівки при вивченні математичного опису САК

В ході заняття з використанням ЕНС необхідно розкрити наступні питання. Математичний опис САК у змінних вхід - вихід. Стандартна форма запису диференціальних рівнянь САК. Операційний метод опису лінійних САК. Основні властивості перетворення Лапласа. Передатна функція. Властивості і особливості передатної функції. Лінеаризація рівнянь САК. Математичний опис САК у змінних стану. Стандартна форма запису рівнянь стану. Структурні схеми САК. Позначення в структурних схемах. Передатні функції типових з'єднань ланок. Додаткові правила перетворення структурних схем. Визначення передатних функцій замкнутої САК за структурною схемою.

Методичні вказівки

Передусім необхідно уяснити, які основні властивості перетворення Лапласа. Що таке передатна функція, які властивості і особливості передатної функції. Визначити необхідність лінеаризації рівнянь САК. Крім того, необхідно уяснити математичний опис САК у змінних стану та стандартну форму запису рівнянь стану. Вивчити структурні схеми САК, позначення в структурних схемах та передатні функції типових з'єднань ланок [13, 20].

Література, що рекомендується: [4], [8], [9], [20].

Питання для самоперевірки з використанням ЕНС:

1. Яке диференціальне рівняння називається лінійним?
2. Як складаються диференціальні рівняння елементів САК?
3. Поясніть суть лінеаризації.
4. Що називається передатною функцією САК або її елемента?
5. Як визначити вигляд передатної функції по заданому диференціальному рівнянню?
6. Наведіть перехідні характеристики типових ланок САК.
7. Що відбиває структурна схема системи керування?
8. Які вам відомі види з'єднання ланок та як визначити їхні передатні функції?
9. Назвіть види передатних функцій замкнутих САК.

10. Які системи називаються статичними і які астатичними?
11. Як визначити передатну функцію між довільними змінними структурної схеми САК?
12. Як з диференціального рівняння елемента одержати його рівняння статички?
13. Як одержати у загальному випадку з диференціального рівняння перехідну функцію?
14. Як зв'язані одна з одною перехідна та імпульсна функції?
15. Як з диференціального рівняння елемента одержати його передатну функцію?
16. Як від передатної функції елемента перейти до його рівняння динаміки у зображеннях, а потім у оригіналах?
17. За якими правилами визначаються еквівалентні передатні функції для послідовного, паралельного і зустрічно-паралельного з'єднань лінійних елементів? Запишіть відповідні формули для випадку двох з'єднаних елементів.
18. Що таке розімкнутий контур системи і чому дорівнює його передатна функція?
19. Як записується в загальному випадку характеристичне рівняння замкнутої системи через передатну функцію розімкнутого контуру?
20. З яких складових складається сигнал помилки у типовій системі? Від яких зовнішніх впливів вони залежать?
21. Як зв'язані сигнал помилки і його складові з передатною функцією розімкнутого контуру?

1.2.5. Методичні вказівки при вивченні характеристик САК

В ході заняття з використанням ЕНС необхідно розкрити наступні питання. Часові характеристики. Частотні характеристики. Логарифмічні частотні характеристики. Співвідношення взаємозв'язку характеристик САК між собою та передатною функцією.

Методичні вказівки

Передусім необхідно уяснити, які є характеристики САК. Потрібно звернути увагу на статичні і динамічні характеристики САК, а також спробувати приблизно побудувати частотні та логарифмічні частотні характеристики САК [13, 20].

Унаслідок вивчення цього розділу необхідно знати співвідношення взаємозв'язку характеристик САК між собою та передатною функцією. Література, що рекомендується: [1], [2], [4], [13], [20].

Питання для самоперевірки з використанням ЕНС:

1. Які ви знаєте часові характеристики САК?
2. Які частотні характеристики ви знаєте? Дайте їм визначення.
3. Як експериментально визначити частотні характеристики?
4. Як визначають частотні характеристики по передатній функції?

5. Як будують логарифмічні частотні характеристики?
6. Навіщо вивчають частотні характеристики САК?
7. Як з передатної функції одержати вираз для АФЧХ?
8. Наведіть основні формули, що зв'язують АФЧХ, АЧХ і ФЧХ між собою.
9. Який фізичний зміст мають ординати АЧХ елемента? Як за ними оцінити умови пропуску елементом гармонійного сигналу?

1.2.6. Методичні вказівки при вивченні типових ланок САК

У процесі викладання теми з використанням ЕНС вивчаються такі питання: пропорційна ланка, інтегруюча ланка, диференціююча ланка, аперіодична ланка першого порядку, форсууюча ланка, коливальна ланка, ланка запізнення.

Методичні вказівки

Знання властивостей типових ланок істотно полегшує аналіз САК, тому що будь-який елемент системи і вся система в цілому можуть бути представлені у вигляді однієї або з'єднання декількох типових ланок. У цьому розділі необхідно звернути увагу на рівняння ланки, передатну функцію, частотні характеристики - АФЧХ, ЛАЧХ, ЛФЧХ та часові характеристики $h(t)$ і $w(t)$ типових ланок.

Література, що рекомендується: [1], [2], [13], [20].

Питання для самоперевірки з використанням ЕНС:

1. Як буде змінюватися вихідний сигнал безінерційної ланки, якщо на її вхід подати лінійний вплив? Побудуйте графік.
2. Як впливає безінерційна ланка на амплітуду і фазу синусоїдального вхідного сигналу?
3. Запишіть передатну функцію інерційної ланки першого порядку.
4. Як проходять через інерційну ланку першого порядку гармонійні сигнали низької і високої частоти?
5. При якому значенні коефіцієнта демпфірування інерційна ланка другого порядку має аперіодичний перехідний процес а при якому - коливальний?
6. У чому подібність і відмінність частотних властивостей інтегруючих та інерційних статичних ланок?

7. Чому диференціюючі ланки погано пропускають повільно мінливі вхідні сигнали?
8. Побудуйте графік вихідного сигналу ланки запізнювання при подачі на її вхід лінійного впливу.
9. Напишіть передатну функцію ланки запізнювання.
10. Назвіть параметри коливальної ланки, що характеризують її динамічні властивості.

1.2.7. Методичні вказівки при вивченні теми “Стійкість САК”

За допомогою ЕНС вивчаються наступні питання. Поняття, види та загальна умова стійкості. Алгебраїчні критерії стійкості. Частотні критерії стійкості. Критерій Михайлова. Критерій Найквіста. Визначення стійкості за логарифмічними частотними характеристиками. Порівняльна оцінка критеріїв стійкості. Запаси стійкості. Вплив величини передатного коефіцієнта розімкнутого контуру САК на її стійкість у замкнутому стані.

Методичні вказівки

При вивченні теми необхідно засвоїти види та загальні умови стійкості. Потрібно ознайомитися з критеріями стійкості та їх особливостями. При цьому доцільно звернути увагу на критерії Михайлова та Найквіста, а також на порівняльну характеристику різних критеріїв стійкості.

Література, що рекомендується: [1,2,4,8,9,13,20].

Питання для самоперевірки з використанням ЕНС:

1. Поясніть поняття "стійкість САК".
2. Що значить "стійкість у малому" і "стійкість у великому"?
3. Чому при дослідженні стійкості САК досить знати тільки однорідне диференційне рівняння?
4. У чому полягають недоліки аналізу стійкості по коренях характеристичного рівняння?
5. Перелічіть критерії стійкості і вкажіть їхні особливості.
6. Що таке годограф Михайлова?
7. Що таке граничний передатний коефіцієнт?
8. Як зв'язане розташування коренів характеристичного рівняння зі стійкістю системи?

1.2.8. Методичні вказівки при вивченні теми “Якість САК”

У процесі занять з використанням ЕНС вивчаються такі питання: загальні відомості, точність роботи САК у сталих режимах, метод коефіцієнтів помилок, точність роботи САК у перехідних режимах.

Методичні вказівки

Спочатку по темі потрібно вивчити, що розуміється під якістю САК. Особливу увагу потрібно приділити вивченню таких функцій САК: відтворення задаючого впливу та придушенню (компенсації) збурювань. Необхідно чітко засвоїти особливості різних показників якості.

Література, що рекомендується: [1, 2, 13, 20].

Питання для самоперевірки з використанням ЕНС:

1. Які властивості автоматичної системи прийнято розглядати при оцінці її якості?
2. Які ви знаєте прямі показники якості?
3. Що таке перерегулювання? Яку роль грає цей показник?
4. Як визначається величина часу регулювання?
5. Що таке частота зрізу? Що ця частота показує?
6. Як впливає передатний коефіцієнт розімкнутого контуру на статичну і динамічну точність систем?
7. Укажіть характерні ознаки передатних функцій у статичній системі регулювання.
8. Яка система називається астатичною? Від наявності яких типових ланок у контурі системи залежить її астатизм?
9. По якій динамічній характеристиці системи регулювання оцінюють прямі показники якості? Які з них характеризують коливальність системи, а які - її швидкодію?
10. Як зв'язане розташування коренів характеристичного рівняння з коливальністю системи?
11. Як зв'язаний найближчий дійсний корінь характеристичного рівняння із тривалістю перехідного процесу?
12. Як впливають параметри розімкнутого контуру на динамічні властивості замкнутої системи?
13. Які параметри графіка перехідного процесу враховуються інтегральними оцінками?
14. Який із двох перехідних процесів кращий – з великою інтегральною оцінкою або малою? Чому?
15. Для яких перехідних процесів можна застосовувати лінійну інтегральну оцінку?
16. Чому для коливальних перехідних процесів доводиться застосовувати модульні або квадратичні оцінки?

РОЗДІЛ 2

ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГІЧНІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ЕКСПЕРТНО-НАВЧАЛЬНИХ СИСТЕМ

2.1. Короткий огляд основних тенденцій розвитку сучасних інформаційних технологій навчання

Головною проблемою при розробці експертно-навчальних систем є специфіка процесу навчання – динамічного, постійно змінного процесу як при роботі з усіма учнями різної підготовки, так і при роботі з кожним з них окремо. Крім того, постійно змінні вимоги до структури й наповнення навчального матеріалу змушують замислитися над проблемою оперативної його модифікації в процесі функціонування системи. На жаль, зараз такі можливості передбачаються далеко не в кожному інструментарії. Як правило, більшість з них орієнтовано на створення деякого конкретного варіанта навчальної системи, а будь-яка її модифікація або неможлива, або вимагає чималих додаткових зусиль. Для того, щоб розробити ефективні ЕНС, потрібне детальне переосмислення процесу навчання. Розглянемо деякі аспекти цього складного процесу.

Психологи розрізняють два основні види діяльності, пов'язані з пізнавальними процесами людини – *вивчення й навчання*. Під *навчанням* розуміють діяльність людини (учня), об'єктивно спрямовану на самостійне засвоєння системи знань, навичок і умінь. *Навчання* – діяльність людини (вчителя), яка спрямована на керування навчальною діяльністю іншої людини (учня). Перш, ніж розглянути докладно структуру кожного з цих видів діяльності, зазначимо, що будь-яка діяльність людини відбувається в певних умовах і містить наступні елементи:

потреба → *мотив* → *мета* → *завдання* → *дії* → *операції*.

Потреба – це потреба в чому-небудь суб'єктивно необхідному для існування й розвитку людини. Вона викликає *мотив* – спонування до діяльності. З безлічі конкуруючих мотивів характер діяльності визначається й спрямовується домінуючим мотивом. Якщо мотив може не усвідомлюватися суб'єктом, то *мета* діяльності, тобто її очікуваний результат, як правило, усвідомлюється. Для досягнення мети в конкретних умовах необхідно вирішити *завдання*. Зазвичай, складна мета допускає розбиття на підмети, співвіднесення кожної з яких з умовами утворює підзавдання. Розв'язання завдання (підзавдання) вимагає від суб'єкта *дій*, кожна з яких складається з послідовності *операцій*, заснованих на знаннях, уміннях і навичках суб'єкта й застосовуваних ним для перетворення об'єктів завдання й досягнення мети (підмети). Розв'язання завдання дає результати, спрямовані на задоволення потреби, що визвала діяльність (так звані, *прямі результати діяльності*), а також ті, що змінюють сам суб'єкт і його потреби – *побічні результати діяльності*.

У кожній дії функціонально виділяють три частини: *орієнтовану, виконавчу й контрольну*. Функція *орієнтованої частини* полягає у визначенні характеру (мети) дії й виборі (плануванні) послідовності операцій для виконання дії. *Виконавча* частина полягає в реалізації наміченого плану дій. *Контрольна* частина здійснює поопераційне спостереження за виконанням дії, порівняння результатів виконання операцій з вимогами мети (діагностика) та у випадку розбіжності проводить корекцію плану виконання дії. Така ж функціональна структура відповідає завданню й усій діяльності. Зазначимо, що поняття «завдання», «дія», та «операція» відносні, тобто те, що є дією на одному рівні розвитку інтелекту, може стати операцією на більш високому рівні. Наприклад, додавання двозначних чисел для першокласника є складною дією, яка включає кілька операцій, а для старшокласника – однією операцією. Навчальна діяльність складається з наступних етапів:

1) *увідно-мотиваційного*, що включає такі основні навчальні дії:

а) усвідомлення учнем основної навчально-проблемної ситуації, що вводить його в предмет майбутньої роботи з вивчення навчального матеріалу;

б) формулювання основного навчального завдання;

с) самоконтроль і самооцінка можливостей майбутньої діяльності з вивчення навчального матеріалу;

2) *операціонально-пізнавального*, на якому учень вивчає навчальний матеріал, опановує передбачені знання, уміння й навички в процесі розв'язання основного навчально-пізнавального завдання;

3) *контрольно-оціночного*, коли учень узагальнює вивчений матеріал, аналізує виконану роботу й оцінює свою діяльність у цілому, а також проводить коригування помилкових дій. Важливою характеристикою навчальної діяльності є те, що її головний результат полягає у зміні самого суб'єкта, тобто прямий і побічний результати збігаються.

Нижче буде описано частий випадок навчальної діяльності вчителя, спрямований на керування індивідуальною навчальною діяльністю, тобто наведено модель навчальної діяльності *репетитора*. Таке звуження виправдане тим, що в теперішній час основні зусилля спрямовані на моделювання й формалізацію процесу керування саме індивідуальною навчальною діяльністю за допомогою комп'ютера. *Індивідуалізація навчання* дає змогу учневі вивчати предмет у власному темпі, а вчителю – використовувати ті методичні прийоми, які найбільш підходять для даного учня.

Навчальна діяльність вчителя співвідноситься з кожним із трьох етапів навчальної діяльності учня.

1) *Увідно-мотиваційний* етап:

а) створює проблемну ситуацію з метою з'ясування місця, ролі й значення даної навчальної теми в системі навчального предмета;

б) формулює цілі навчально-пізнавальної діяльності учня та вимоги до мінімуму знань, навичок умінь (предметних і навчальних), якими він повинен опанувати;

с) роз'яснює план вивчення теми.

2) **Операціонально-пізнавальний** учитель:

а) надає учневі потрібну інформацію про предмет, що вивчається у формі лекції, бесіди і т.д.;

б) демонструє досліди, експерименти, проводить екскурсії;

с) організовує й керує учбово-пізнавальною діяльністю учня на уроці;

д) організовує контроль, оцінку й облік навчальної роботи учня;

е) організовує й керує корекцією навчальної роботи учня.

3) **Контрольно-оціночний** учитель:

а) керує навчальною роботою учня з узагальнення навчального матеріалу;

б) проводить підсумковий контроль і оцінює роботу учня;

с) діагностує знання учня та організує їхню корекцію.

Крім того, в процесі вивчення всього предмета, окремої теми та кожного уроку вчитель проводить підготовчу роботу – аналізує результат попередньої та планує майбутню роботу (формулює цілі, вибирає методики навчання й т.п.), відбирає й розробляє учбовий матеріал (лекції, завдання і т.п.). У процесі роботи вчитель вивчає особистість учня, його психологічні характеристики (темперамент, характер, увага й т.п.), а також соціальні й пізнавальні характеристики, на підставі яких планує свою діяльність. Вчитель свідомо або несвідомо (дотримуючись прийнятих традицій і планів) спирається на деяку психологічну теорію навчання [12].

Процес навчання зазвичай розглядається як комунікативний процес передачі навчальної інформації від викладача (навчального пристрою) до учня. Під навчанням будемо розуміти таку взаємодію між об'єктом навчання (учнем) і навчальним пристроєм (учителем), яка моделює їхні традиційні взаємовідносини, що відрізняються наявністю двох чітко визначених фаз, що чергуються [12] (рис. 1.1):

1) фази передачі інформації (власне навчання, рис. 2.1, а);

2) фази контролю (рис. 2.1, б).

Обидві фази мають свої відмінні цілі й диференційовані в часі.

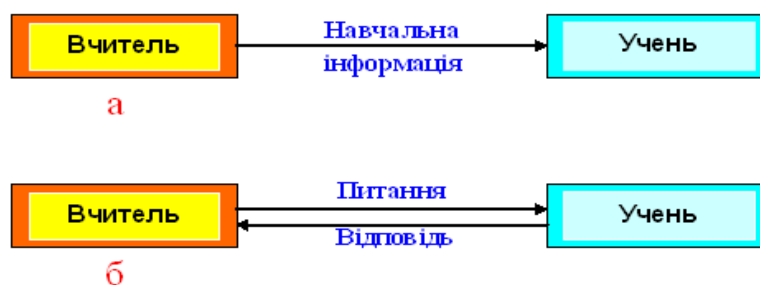


Рис. 2.1. Схема взаємодії в процесі традиційного навчання:

а) – перша фаза: передача інформації; б) – друга фаза: контроль

Метою *першої фази* є передача інформації, яка базується на основі уявлень вчителя про учня.

Друга фаза дозволяє вчителю уточнити ці уявлення. Така диференціація виникла історично в зв'язку з необхідністю масового навчання (один вчитель і багато учнів). Переваги її та недоліки добре відомі. Саме вони відрізняють її багаточисельні комп'ютерні версії у вигляді автоматизованих навчальних систем (АНС). Досить обмежений успіх АНС пов'язаний саме з тим, що тут під комп'ютеризацію потрапила традиційна схема навчання, тоді як ефективно застосування комп'ютера передбачає створення спеціальної комп'ютеризованої технології в тій області, де він впроваджується. З АНС цього не відбулося. Проте досвід традиційного навчання за схемою настільки великий, що доцільно піддати його комп'ютеризації, але не "в чоло», як це зроблено в АНС, а розробивши комп'ютерну технологію навчання [12].

Вивчення (або самонавчання) відрізняється від навчання **відсутністю** вчителя, а отже, й етапу передачі інформації (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Схема взаємодії в процесі навчання.

Завдання у вигляді питання генерується середовищем. Його розв'язок (відповідь учня) повідомляється середовищу, що реагує на нього у вигляді реакції. Ця реакція може мати найрізноманітніший характер: від заохочення або покарання (залежно від відповіді) до підказки, як треба було розв'язувати поставлене завдання. Відмінною рисою самонавчання є відсутність декларативних знань загального характеру що декларуються – вся навчальна інформація, що надходить, пов'язана тільки із завданням, що розв'язується. Навчання в режимі самонавчання, як бачимо, повинне моделювати реальні взаємини учня із середовищем у процесі його професійної діяльності. Комп'ютеризація самонавчання не передбачає знань настільки витончених дидактичних методів, як навчання, проте потрібно генерувати завдання, близькі до реальних.

Обидва підходи застосовуються в системі освіти: режим навчання для добре структурованих предметів реалізовано у вигляді стандартних курсів загальної освіти (наприклад, середньої й вищої шкіл), а самонавчання – для погано структурованих предметів, які, зазвичай, становлять основу професійної освіти.

Узагальнюючи вищесказане, можна зробити висновок, що навчальні програми призначені для забезпечення наступних основних *педагогічних цілей*:

1) *демонстрація навчального матеріалу* – учневі подається текстовий,

графічний аудіо- і відеоматеріал. Програми, які, реалізують цю мету, називаються *демонстраційними* а також *комп'ютеризованими лекціями* та *електронними книгами*;

2) тестування й діагностика — учень піддається випробовуванню з метою з'ясування деяких його характеристик, зокрема, глибини засвоєння знань або ступеня придбання навичок і вмінь, отриманих ним раніше;

3) тренування — учень здобуває знання, необхідні для виконання певної роботи, а навчальні програми організують адекватне середовище для придбання й закріплення необхідних навичок і вмінь. Навчальні програми даного класу називають *тренувальними програмами*, або *тренажерами*. Характерними для них є:

а) наявність як формальної, так і аудіовізуальної моделі предмета, що досліджується;

б) явне знання цілей функціонування системи;

в) наявність контролю дій учня;

г) як правило, наявність жорстких обмежень у часі, який виділяється учневі для досягнення поставленої мети;

4) навчання — учень, отримує знання та здобуває вміння й навички у деякій предметній області під керуванням навчальної програми. При цьому програма бере на себе всі функції викладача щодо організації подання навчального матеріалу, контролю його засвоєння й діагностики:

а) наявністю мети навчання;

б) реалізацією деякого методу навчання, що приводить до досягнення необхідної мети й визначає стиль спілкування з учнем;

в) комплексним розв'язанням завдань навчання, контролю й діагностики.

2.2. Психолого-педагогічні основи застосування сучасних інформаційних технологій навчання

2.2.1. Навчання з погляду керування системами

Розглянемо навчання як інформаційний процес у системі керування передавання знань. Носієм знань може виступати людина або інтелектуальна система. На відміну від інформаційних систем, учень, який використовує машинний тьютор, є об'єктом керування. Точніше, система навчання включає учня з його системою знань і здібностями отримання їх, з одного боку, і тьютора з його інструментарієм, з другого. Суб'єктом керування в системі навчання традиційно виступає викладач. Наприклад, у системі шкільної освіти саме вчитель визначає всі аспекти навчання. На іншому полюсі спектра форм освіти (мається на увазі свобода вибору навчаючих послідовностей) знаходиться дистанційна та заочна освіта. У цьому випадку вибір навчальних епізодів обмежений набором сценаріїв навчання, за яким він у подальшому навчається. Після визначення сценарію керуюча програма дистанційної системи освіти організує доступ до бібліотеки навчальних курсів. Викладання кожного предмета має внутрішню логіку передачі знань,

закладену автором, – фахівцем з даної форми освіти й даної предметної області. Обмежимося розглядом регламентованих систем освіти, зокрема освіти під керуванням викладача (тьютора, учителя), з природним або машинним інтелектом.

Регламентовані системи освіти створюються так, щоб вони забезпечували досягнення заданих цілей навчання. Системи управління, що включають керуючий орган, здійснюють:

- визначення мети;
- підтримку системи на траєкторії цієї мети.

У загальному випадку метою навчання є переведення системи знань учня в заданий стан.

Педагоги й психологи не зводять навчальні цілі до освітніх (шкільної освіти). Відома таксономія навчальних цілей Блума, основою якої є розподіл на когнітивні та афективні [7]. Є також поведінкові теорії навчальних цілей, де вони розуміються як «зрушення» в діяльності учня (в мисленні, пам'яті, сприйнятті). У 1970 – 1990 рр. запропоновано ряд когнітивних описів навчальних цілей. При такому підході конкретизується не поведінка, яка приводить до успішного виконання тестів досягнення, а психічні процеси й структури, що приводять до виникнення відповідної поведінки. Когнітивний опис спирається на такі категорії як інтелектуальні вміння, когнітивні стратегії, вербальні знання, моторні навички, відносини [12].

Розглянемо, які можливості своєї особистості індивід може використовувати в навчальній діяльності.

1. Початковий і поточний рівень знань у даній предметній області навчання — знання беруть участь у навчанні не тільки як засіб, а й як когнітивна мета (за Блумом, наприклад, це основна мета навчання).

2. Когнітивні здібності як засіб для формування й використання когнітивних стратегій учнем у процесі навчання.

3. Когнітивний стиль учня як його індивідуальна стратегія пізнання — індивідуальні особливості учнів мають на процес навчання більший вплив, ніж метод.

4. Особисті наміри, вподобання, мотиви, тенденції учня, які називають *мотивацією*.

5. На особисті можливості індивіда впливає стан учня. Цей стан відображає психоемоційні характеристики.

6. Викладач у традиційній системі навчання, а в персоналізованій формі - тьютор, повинен здійснювати вплив на учня, а саме, на його засоби й здібності навчатися. Зазначимо, що ці впливи стосуються тільки засобів змінних у часі. До таких засобів згідно з психологією й педагогікою належать:

- вибір темпу подачі матеріалу;
- варіювання складністю навчального матеріалу;
- корегування емоційного стану учня;
- мотивування учнів.

2.2.2. Загальна схема керування

Мета системи, що складається із самого учня (користувача, студента) і тьютора – формування знань і вмінь учня. Керований об'єкт у такій системі - знання студента; керуючий орган-компонента тьютора, за допомогою якої він впливає на систему в цілому для досягнення її мети. Одні параметри системи постійні, інші змінюються в процесі навчання через зовнішні та внутрішні впливи. Отже, для адаптації навчання перші необхідно вимірювати до початку, а інші – в процесі навчання.

Загальну схему керування зображено на рис. 2.3. [12].

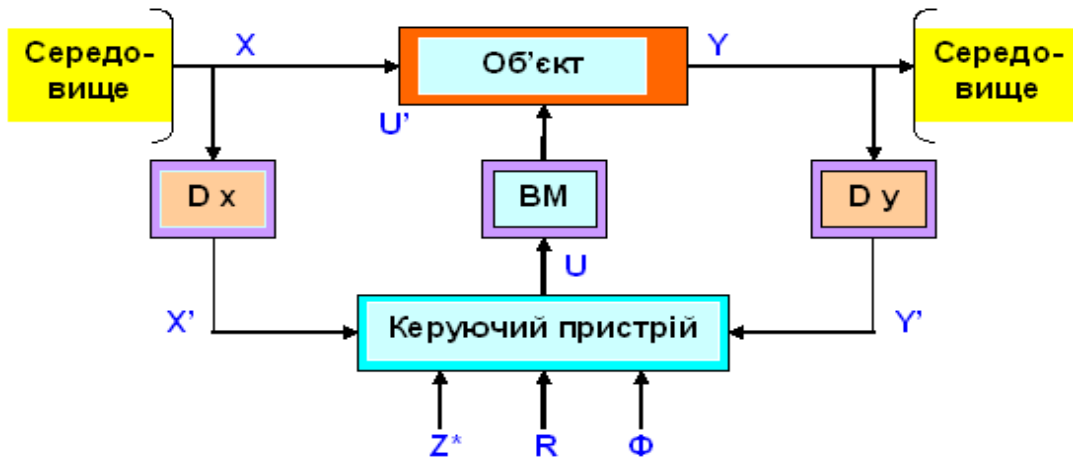


Рис. 2.3. Загальна схема керування

Об'єкт керування є триполюсником, що зв'язує стан середовища X , керування U' і стан об'єкта Y :

$$Y = F(X, U'), \quad (2.1)$$

де F оператор перетворення.

Dx і Dy системи збирання інформації про стан середовища (Dx) і об'єкта (Dy), які перетворюють ці стани в інформацію:

$$X' = Dx(Xy); \quad (2.2)$$

$$Y' = Dy(Y). \quad (2.3)$$

Керуючий пристрій виробляє керування U на основі отриманої інформації X' і Y' , а також заданої мети Z^* , виділеної на керування ресурсу R і алгоритму керування Φ .

$$U = \Phi(X', Y', Z^*, R). \quad (2.4)$$

Виконавчий механізм (ВМ) перетворює інформацію про керування U в керуючу дію U' , що змінює стан об'єкта:

$$U' = M(U), \quad (2.5)$$

де M — оператор виконавчого механізму.

Для синтезу керування необхідно мати модель об'єкта керування:

$$Y_m = F_m(X', Y'), \quad (2.6)$$

де F_m - оператор моделі.

Для адекватної моделі $Y_m = Y'$.

Викладена модель керування може застосовуватися для описування процесу навчання. Між навчанням і керуванням є пряма аналогія – і одне, і друге пов'язане з цілеспрямованою зміною стану об'єкта (навчання або керування), що здійснюється впливом (навчальним або керуючим), яке реалізується алгоритмом (навчання або керування).

Вважають, що в більшості випадків у процесі навчання середовище незмінне й сприятливе. Це дає змогу вилучити вплив середовища з розгляду.

Структуру системи навчання без урахування середовища подано на рис. 2.4 [12].

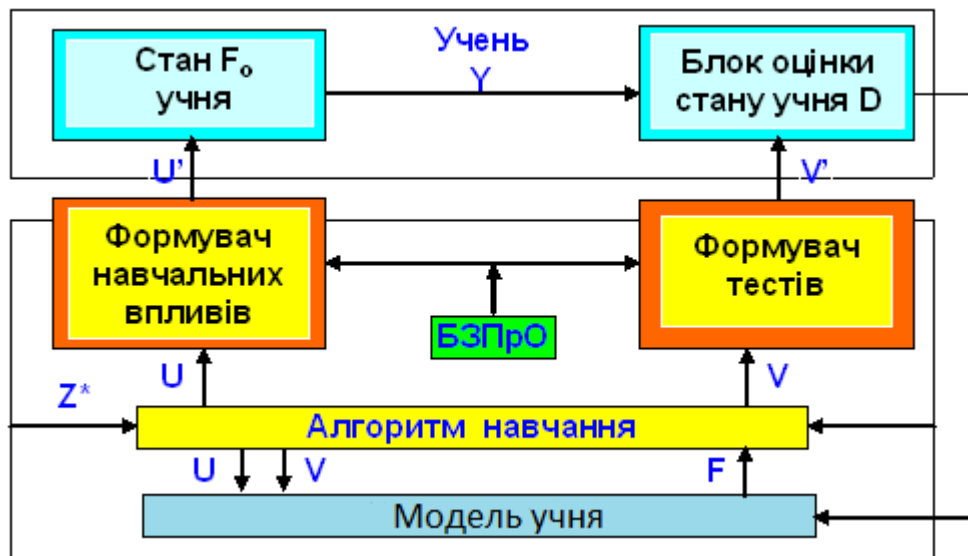


Рис. 2.4. Блок-схема системи навчання

Модель учня описує оцінку Y стану U учня у функції навчального впливу U :

$$Y = F(U). \quad (2.7)$$

Сам стан Y учня визначається його оператором F_0 :

$$Y = F_0(U'). \quad (2.8)$$

Оператор F моделі учня підлягає визначенню й адаптації в процесі навчання і подається у вигляді пари

$$F = \langle W, C \rangle, \quad (2.9)$$

де W — структура моделі F ,
 $C = (C_1, \dots, C_k)$ — її параметри.

Алгоритм навчання виконує дві функції. По-перше, він визначає те, чому слід навчати учня, тобто визначає навчальний вплив:

$$V = \Phi(Y, Z^*, R), \quad (2.10)$$

де Φ - алгоритм навчання;

Y — оцінка стану знань учня, отримана за допомогою моделі (1.7)

Z^* — мета навчання;

R — ресурс навчання.

По-друге, алгоритм навчання визначає тести V , відповіді на які несуть інформацію про моделі F учня:

$$V = G(Y), \quad (2.11)$$

де G - алгоритм синтезу тесту V .

База знань предметної області (БЗ Про) містить фактографічні, процедурні та інші знання про предмет, що вивчається, необхідні для засвоєння учнем у процесі навчання.

Формувач навчального впливу (ФНВ) визначає порцію інформації, яку треба передати учневі для вивчення на даному етапі навчання:

$$U' = \Phi(U), \quad (2.12)$$

де, Φ — алгоритм формування порції для учня.

Різниця між U і U' полягає в наступному: U - це ідентифікатор навчального впливу, а U' - його зміст.

Формувач тестів (ФТ) визначає, яку тестову задачу варто видати учневі:

$$V' = G1(V), \quad (2.13)$$

де $G1$ - алгоритм формування тестів задачі.

Учень у такій системі навчання є «перетворювачем» порції навчальної інформації U' у стан Y за (1.8). Інформацію про цей стан можна одержати тільки за допомогою тестових питань V :

$$Y' = D_y(Y, V'), \quad (2.14)$$

де D_y - оператор перетворення тестової задачі V і стану учня Y у відповідь U (оператор реалізується самим учнем).

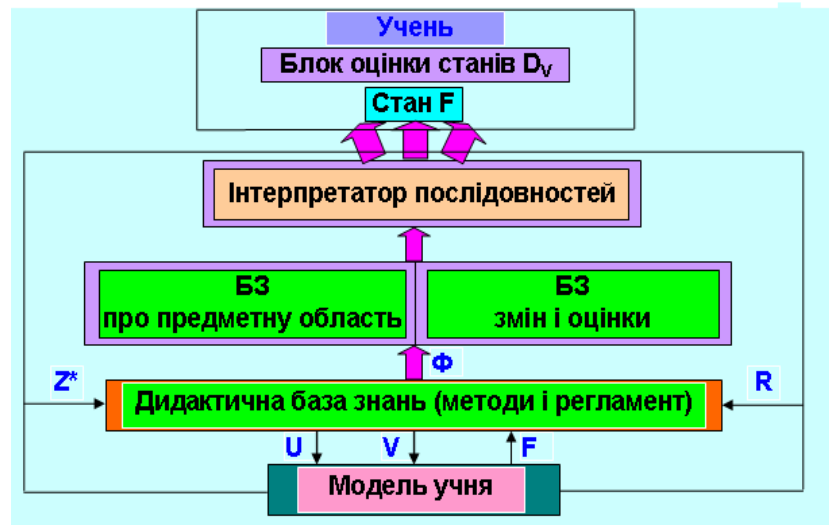


Рис. 2.5. Блок-схема системи навчання з інтерпретатором.

З вище викладеного випливає, що ключовими є модель учня F (1.7) і база знань, що визначає методи навчання Φ (1.10).

На рис. 2.5. наведено структуру навчання, що передбачає наявність деякого засобу, який забезпечує комунікативні функції між партнерами - учасниками системи навчання (інтерпретатор). Передбачається також, що оцінка як рівня знань, так і когнітивних можливостей слухача (учня), тьютор здійснює за посередництвом такого інтерпретатора.

2.2.3. Методи керування навчанням

Методи керування вивченням визначаються явно або неявно заданою метою, що описує вимоги до знань і вмінь учня, які він повинен придбати в результаті роботи з програмою. Явно задана мета навчання, як правило, являє собою логічну умову, виражену в термінах моделі учня і описуючу безліч заключних станів знань і вмінь учня. Окрім того, є передбачуваний або, в результаті попереднього контролю, сконструйований початковий стан моделі учня. В наявності є набір навчальних методів, що керують пізнавальною діяльністю учня й модифікують його поточну модель.

Керування навчанням являє собою динамічний процес, спрямований на досягнення мети навчання, виходячи з поточного стану знань і вмінь учня. Для досягнення мети будується план навчання, реалізований як сценарій, що складається з окремих кроків. Кожен крок являє собою елементарний навчальний вплив або стимул і реакцію учня (натискання клавіші, вербальну форму відповіді на питання і т.п.). Наявний навчальний матеріал, а також час навчання є обмеженням на можливі плани. Якщо під час реалізації сценарію виникає ситуація, коли виконання чергового кроку плану неможливе або недоцільне, то потрібна модифікація даного або генерації нового плану.

Підходи до керування навчанням відрізняються тим, наскільки явно в них подано мету навчання, план навчання, а також, чи припускають вони динамічну генерацію планів або складання їх заздалегідь. Схему класифікації методів керування навчанням зображено на рис. 2.6.

Розрізняють методи, засновані на сценарії навчання (явно або неявно заданому) і які не використовують дане поняття. До останніх належать, так звані, реактивні методи й методи, засновані на агенда-механізмі.

Реактивні системи, аналізуючи відповіді учня і/або поточний стан моделі учня, знаходять зручні моменти для видачі навчальної інформації, але не планують послідовність навчальних впливів. Даний підхід застосовується при створенні супровідних систем, прикладами яких можуть бути системи BETS і FLEX, а також система WEST [12]. При побудові реактивних систем виділяють кінцеву множину «помилкових» ситуацій і кожну з них зіставляють з навчальною інформацією, необхідною для роз'яснення та виправлення помилки. Керування реалізується одним циклом, причому умова виходу з циклу не залежить від стану моделі учня, а визначається станом роботи користувача в базовій системі обробки інформації. Після виконання користувачем деяких дій у базовій системі, його робота оцінюється і, якщо оцінка відповідає моделі учня, знову виводиться відповідна навчальна інформація. Система лише реагує на дії користувача, а не керує його пізнавальною діяльністю.

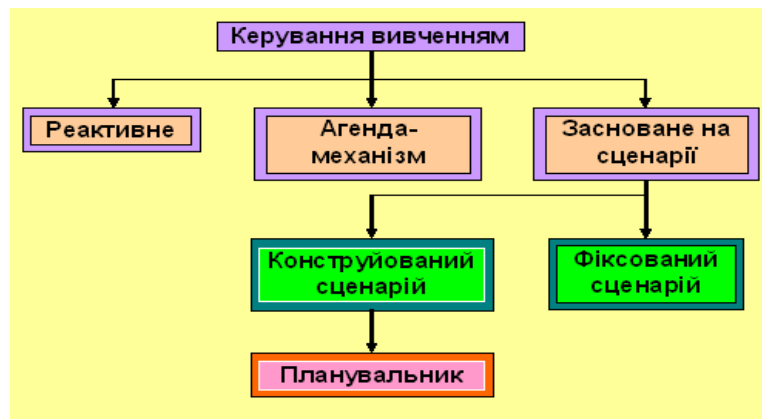


Рис. 2.6. Класифікація методів керування навчанням

Агенда-механізм являє собою метод керування діями або задачами, заснований на динамічному впорядкованому списку задач (агенде). Задача тут розуміється широко - як будь-яка інформація, що передбачає відповідні дії учня. Порядок задач у списку визначається результатами виконання кожної задачі для **досягнення** поточних цілей. Агенда-механізми дають змогу вибрати задачі, що дозволяють одночасно досягти декількох цілей або при наявності конфлікуючих цілей вибрати задачі, що дають Краще компромісне розв'язання. Агенда-механізм був застосований при створенні інтелектуальної навчальної системи SCHOLAR при впорядкуванні тем. Теми для обговорення або огляду заносилися в агенду разом з припустимим часом, пропорційним важливості теми. Під час обговорення теми система вносила до списку нові теми, зв'язані з поточною або згадані у відповідях чи питаннях учня. Якщо тему або відведений для неї час вичерпано, то система вибирає нову тему для обговорення. Іншим прикладом може бути метод керування навчанням, запропонований і призначений для вироблення навичок алгоритмічної природи при розв'язуванні задач. Основою методу є оверлейна векторна модель учня, з кожним елементом якої пов'язані гіпотези про ступінь засвоєння відповідної йому навички. Перерахування ймовірностей гіпотез засноване на теоремі Байеса. Крім того, мається вбудована модель процесу забування раніше засвоєних навичок. Мета системи полягає в досягненні заданих рівнів освіти (граничних ймовірностей) для всіх або обраних навичок на задачах визначеної складності за мінімальний час. На кожному кроці формується агенда з усіх задач, для яких потрібне застосування заданих навичок у процесі розв'язання. Потім здійснюється вибір задачі, яка має оптимальні труднощі для даного учня, Розглянемо методи, засновані на явній або неявній постановці сценарію. Розрізняють системи з фіксованим та конструйованим сценаріями. До першого належать усі традиційні навчальні системи або, як їх прийнято називати, *автоматизовані навчальні курси* (АНК). Більшість АНК використовують один фіксований сценарій навчання, як правило, неявно заданий кодом програми. Типові АНК не містять моделі учня, тому вони розраховані на деякого «середнього» учня, а не на людину, яка сидить у даний момент за комп'ютером.

Серед систем з конструйованими сценаріями розрізняють системи, що генерують план, і системи, що вибирають сценарій з бібліотеки.

Розглянемо наступні методи конструювання сценаріїв:

- метод генерації планів, керованої цілями;
- метод вибору й конкретизації скелетних сценаріїв, поданий у системі MENO-TUTOR. [12].

Генерація навчальних сценаріїв, керована цілями, реалізована в методі STRIPS. Система керування вивченням припускає наявність двох основних компонентів: планувальника й виконавця інтерпретатора сценаріїв. Планувальник генерує сценарій, що задовольняє кінцеву мету навчання й поточний стан моделі учня. Інтерпретатор реалізує сценарій і, якщо поведінка учня не відповідає очікуваному, виконує перехід в альтернативну галузь плану-сценарію або викликає планувальника для створення нового плану.

Навчальний вплив може бути подати у вигляді четвірки $\{N, P, E, A\}$, де N - найменування навчального впливу; P специфікація попередньої вимоги навчального впливу, тобто умова, істинність якої необхідна для можливості застосування даного впливу; E специфікація очікуваних ефектів від виконання навчального впливу; A дія, що пропонує навчальний матеріал учневі з метою викликати очікуваний ефект.

Перші три частини навчального впливу використовуються шанувальником для генерації сценарію та його інтерпретації. Четвертий компонент використовується тільки інтерпретатором для взаємодії з учнем.

План навчання наводиться у вигляді ациклічного орієнтованого двочасткового графа. Два типи вершин графа (кроки й мети) відповідають навчальним впливам і цілям навчання. Дуги задають порядок виконання навчальних впливів. У загальному випадку граф сценарію навчання може бути незв'язним, тобто складатися з кількох підграфів, що не мають спільних вершин.

У системі MENO-TUTOR [12] знання про методику навчання подано у вигляді заздалегідь заданої системи керування діалогом (СКД). Мережа керування діалогом є бібліотекою сценаріїв навчання, яку подано у вигляді масиву вузлів. У структурі СКД виділяють три рівні: *педагогічний*, *стратегічний* і *тактичний*. При переході з вищого рівня на нижчий відбувається конкретизація цілей і дій системи. На самому верхньому рівні педагогічному система встановлює ряд обмежень на форму проведення діалогу. Наприклад, регламентується частота переривань учня, або як часто треба його перевіряти на наявність помилкових представлень про предметну область. Обирається метод роботи з учнем: подати нову тему, вивчити поточну тему, виправити неправильне подання або закінчити поточну тему. На другому рівні педагогічне рішення конкретизується у вигляді стратегії навчання. Наприклад, при вивченні поточної теми можна досліджувати компетентність учня, задавши йому серію питань, або вивести фактографічну інформацію, що стосується даної теми. На тактичному рівні відбувається реалізація стратегії навчання. Наприклад, при описуванні предмета система

може вибирати: чи видавати учневі загальну або конкретну інформацію, запропонувати аналогію або навести приклад деякого поняття і т.п.

Крім відношення ієрархії всі вузли мережі (блоки) зв'язані в послідовності, що задають порядок їхнього виконання для ідеального, тобто у всіх відносинах успішного, учня. Ці зв'язки називаються *зв'язками по замовчуванню*. Крім того, з кожним вузлом можуть бути зв'язані метаправила, які, при поводженні учня, що відрізняється від очікуваного, дозволяють перейти до іншого вузла мережі, тим самим змінити стратегію навчання (послідовність виконання вузлів). У MENO-TUTOR є 20 метаправил, що діють на стратегічному й тактичному рівнях.

2.3. Когнітивні процеси у навчанні

Процес навчання (і вивчення) безпосередньо пов'язаний з наукою про пізнання (cognitive science), однією з галузей якої є область *когнітивної психології*, а другою - штучний інтелект. Причому, дослідження відносять до штучного інтелекту, якщо його основою є прагнення створити програму для ЕОМ, яка виконує інтелектуальні дії незалежно від того, як ці дії виконує людина. В ЕНС обидві ці галузі зливаються в одну з метою створення користувачеві ЕНС максимально сприятливих умов для пізнання, дослідження, усвідомлення предметної області. У зв'язку з цим при розробці ЕНС нового покоління виникає необхідність у розгляді різних аспектів когнітивної психології. Нижче надається короткий опис основних аспектів дослідження в цій, не досить відомій, області [12].

Когнітивна психологія вивчає процеси пізнавання індивідуума, такі як сприйняття, мислення, розв'язання завдань, навчання, використовуючи методи моделювання інформаційних процесів, що є у їхньою основою.

Когнітивна теорія вивчення розглядає мозок людини як високоорганізований комп'ютер і зосереджує увагу на моделюванні процесів обробки інформації, ключовими з яких є: вплив стимулу на рецептори організму; зберігання інформації в короткочасній (робочій) пам'яті; зберігання інформації в довгостроковій пам'яті; процеси кодування й декодування інформації; пошук інформації та її вплив на поводження організму. В основі теорії лежить наступний процес. Зовнішнє середовище за допомогою стимулів впливає на рецептори організму; рецептори, в свою чергу, передають образ стимулів на сенсорні реєстри. Потім дані перетворюються й записуються в короткочасну пам'ять, яка є важливим поняттям когнітивної психології. Вважається, що в короткочасну пам'ять надходять тільки основні характеристики вихідних стимулів і вона здатна зберігати 4-7 понять (компонентів) протягом 20 – 30 с. Потім інформація або відновлюється в короткочасній пам'яті за допомогою регенерації, або передається в довгострокову пам'ять, або губиться. При передачі інформації у довгострокову пам'ять вона піддається процесу семантичного кодування, що перетворює стимули в твердження з певним змістом і розмічає їх кодами, необхідними для пошуку інформації. У результаті пошуку знайдена

інформація декодується й переміщується в короткочасну пам'ять, де вона або перетворюється в дії, що здійснюються за допомогою ефекторів організму, або комбінується з новою інформацією, формуючи нові знання й навички. Всі основні дії відбуваються під контролем так званих *процесів виконавчого керування*, які обирають і активізують пізнавальні стратегії організму, такі як керування увагою, кодування інформації, що надходить, зберігання й пошук даних.

Введення поняття процесу виконавчого керування дає змогу, з одного боку, в рамках загальної концепції розглядати різні механізми вивчання, а з другого боку, — моделювати індивідуальні особливості процесів навчання індивідуума. Коротке зведення основних процесів когнітивної теорії вивчання наведено в табл. 2.1

Таблиця 2.1

Основні поняття когнітивної теорії вивчення

| Поняття | Пояснення |
|----------------------------|--|
| Увага | Відбір стимулів, що надходять |
| Вибірче сприйняття | Кодування обраних рис для зберігання в короткочасній пам'яті |
| Регенерація | Відновлення даних у короткочасній пам'яті |
| Семантичне кодування | Підготовка інформації до зберігання в довгостроковій пам'яті |
| Пошук | Пошук і переміщення інформації в робочу пам'ять |
| Організація відповіді | Вибір і організація відповідної дії |
| Зворотний зв'язок | Зовнішня подія, що приводить у рух процес підкріплення |
| Виконавчий керуючий процес | Вибір і активізація пізнавальних стратегій |

Розглянемо деякі рекомендації психологів-когнітивістів щодо проектування навчальних програм [12]. Розрізняють вивчання, спрямовані на придбання:

- 1) інтелектуальних навичок;
- 2) пізнавальних стратегій (спроможностей, що управляють процесами вивчання, запам'ятовування та мислення);
- 3) вербальної (словесної) інформації;
- 4) моторних навичок;
- 5) відносин.

Для будь-яких видів вивчання виділяють дев'ять типів навчальних впливів, кожне з яких пов'язане з відповідним внутрішнім процесом навчання. Відповідність внутрішніх процесів навчання навчальним впливам наведено в табл. 2.2

Внутрішні процеси навчання й зовнішні навчальні впливи

| Внутрішній навчальний процес | Зовнішній навчальний вплив |
|---|--|
| Занепокоєння | Залучення уваги |
| Очікування | Повідомлення учневі мети уроку |
| Пошук і запис інформації в робочу пам'ять | Стимулювання згадування попереднього навчання |
| Вибірче сприйняття | Подання істотних характеристик стимулів |
| Семантичне кодування | Напрямок засвоєння |
| Пошук і організація відповіді | Виявлення ступеня володіння |
| Підкріплення | Забезпечення інформативного зворотного зв'язку |
| Сигнальний пошук | Оцінка ступеня володіння |
| Узагальнення | Багаторазова видача видозміненого стимулу |

У цілому теорія вивчення когнітивної психології є адекватним **базисом** для створення інтелектуальних навчальних систем.

Розглянемо один з аспектів використання описаної вище теорії при розробці інтерфейсу з користувачем.

Очевидно, що важливим для ЕНС, як і для будь-якої іншої комп'ютерної системи, є спосіб «спілкування» з користувачем. Найбільш зручним для непідготованого користувача є спілкування природною мовою. У зв'язку з цим до складу підсистеми інтелектуального інтерфейсу повинні входити природно-імовні інтерфейсні засоби.

Як альтернатива природно-мовному інтерфейсу можна запропонувати засоби когнітивної взаємодії з користувачем. Зміст пропонованого підходу в тому, що для кращого засвоєння учнем навчального матеріалу йому пропонується описати отримувані ним у вигляді означень, теорем і т.п. знання відповідною мовою подання знань. Ця навчальна мета відрізняється від традиційних тим, що тут не є метою завчання нової інформації на пам'ять. Навпаки, акцент перенесено на розуміння й засвоєння отримуваних знань внаслідок їхнього переосмислення (усвідомлення).

У процесі проектування будь-якої прикладної інтелектуальної системи (ІС) за допомогою експерта етап переосмислення накопиченої ним інформації також відбувається і, як правило, є досить болючим. Це пов'язано з тим, що для того, щоб коректно описати певну сукупність знань з деякої предметної області, необхідно врахувати багато так званих неявних умовчань, очевидних для комп'ютерної системи:

Суворе формулювання таких умовчань часто викликає більші проблеми, тому що нагромадження експертом практичного досвіду в даній предметній області (ПО) відбувалося в рамках цієї ж ПО, у термінах цієї ПО

і за її законами. Назвемо цей спосіб проектування ІС *класичним*. На рис. 2.7. наведено загальну схему процесу перенесення інформації про ПО у базу знань ІС. Як бачимо, проєктована ІС є «споживачем знань», тобто отримує інформацію без корисного (у плані професійного вдосконалювання розроблювача) зворотного зв'язку.

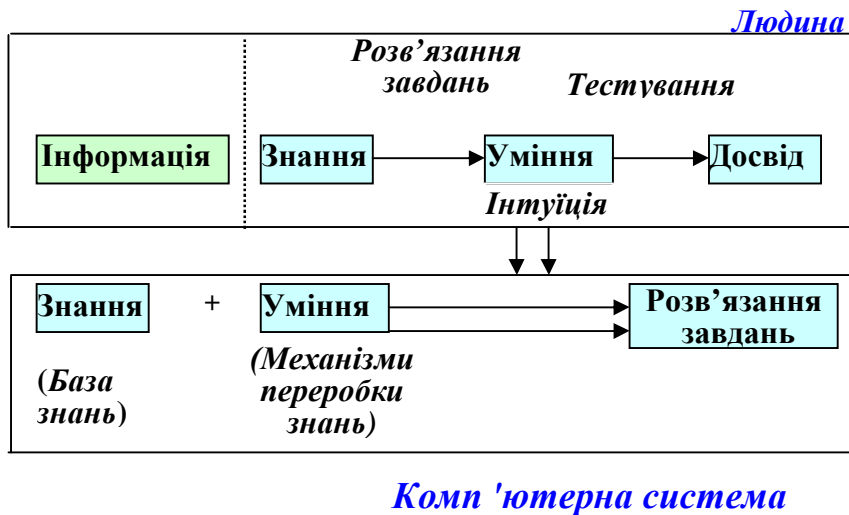


Рис.2.7. Використання знань, умінь і досвіду експерта для розробки прикладної ІС (класичний підхід)

На відміну від класичного підходу до проектування ІС розглянемо зовсім іншу схему взаємодії між ІС та її розроблювачем. Назвемо її *некласичною*, або *схемою зі зворотним зв'язком* (рис. 2.8.). Зміст пропонованого підходу полягає у використанні процесу формування бази знань (БЗ) ІС для придбання нових знань, умінь і досвіду. Якщо за такою схемою буде працювати експерт, то це приведе до його професійного вдосконалення. Проте найбільше ефектним (з дидактичної позиції) застосуванням даної схеми є у випадку навчання користувача.

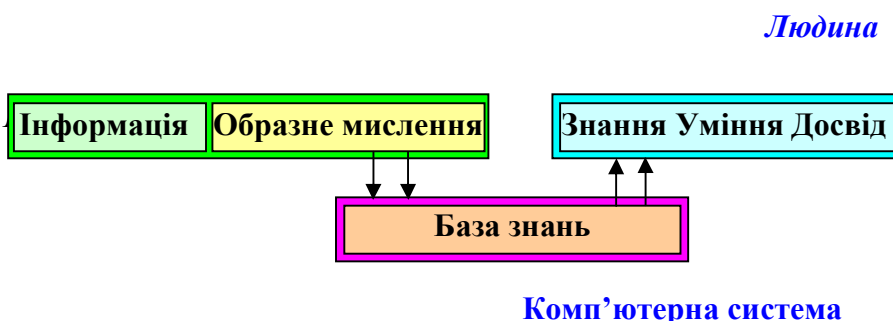


Рис.2.8. Придбання нових знань, умінь і досвіду в процесі розробки ІС

Перехід від інтуїтивного розуміння до образного мислення є актуальним як у процесі передачі інформації, так і в процесі придбання нової інформації (навчання). У зв'язку з цим виникає необхідність у наявності

засобів наочного й семантично структурованого відображення (подання) цієї інформації. Найбільш оптимальною для цієї мети формальною основою є графова мова 8С (semantikic Code) [45]. Аргументами, що виступають «за» [12] дане затвердження, є наступні властивості зазначеної мови:

- 1) це семантична мова, тобто вона з самого початку орієнтована на подання семантичної інформації, причому з можливістю інтеграції з іншими типами інформації, наприклад, фактографічної, ієрархічної;
- 2) висока наочність і простий синтаксис даної мови дозволяють досить легко її засвоїти навіть слабо підготовленому користувачеві;
- 3) відкритість мови SC дає підставу сподіватися на потенційну, необмежену, образотворчу потужність пропонованих засобів, тобто користувачеві надається можливість описувати всілякі моделі знань;
- 4) інструментальна підтримка графічного й символного еквівалентів даної мови дозволяє користувачеві вибрати найбільш зручний для нього спосіб описування інформації.

Формально процес описування інформації мовою SC можна задати таким чином:

$$\{N,A\} \Leftrightarrow (\{P,C\}), \text{ причому } N \Leftrightarrow P, A \Leftrightarrow C,$$

де N-множина SC-вузлів; A-множина SC-дуг, P-множина понять, властивостей, об'єктів ПО; C множина семантичних зв'язків між поняттями ПО.

Інакше кажучи, будується взаємно однозначна відповідність між множиною елементів мови 8С і множиною елементів ПО. Таким чином, використання мови 8С для описування деяких знань змушує ставити у відповідність кожному елементу знань (явних або неявних) деякий конкретний 8С-елемент, що являтиме собою його образ (знак), описаний явно. Оперуючи деякими конкретними образами, а не абстракціями (які інтуїтивно використовуються в будь-якій ПО), користувачеві стають більш очевидними закономірності розглядуваної ПО. У такий спосіб відбувається осмислення досліджуваного матеріалу.

РОЗДІЛ 3.

ПЛАНУВАННЯ І ОРГАНІЗАЦІЯ НАВЧАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЕКСПЕРТНО-НАВЧАЛЬНИХ СИСТЕМ

3.1. Загальна постановка задачі планування

Технічні й дидактичні вимоги до сучасних експертно-навчальних систем постійно зростають.

У процесі використання ЕНС використовуються такі критерії ефективності як фінансові й тимчасові витрати, потрібні для підготовки студентів до необхідного рівня з виконання навчальних завдань (НЗ) [1-12]. Виходячи з того, що початковий рівень підготовки студентів з виконання типових НЗ різний, доводиться розв'язувати задачу мінімального розподілу часу й фінансових витрат на відпрацювання операцій НЗ для досягнення необхідного рівня підготовленості студентів у виконанні всіх НЗ.

Важливою проблемою ефективного використання ЕНС є обґрунтування цілей її функціонування. Основною метою (Z_T) функціонування ЕНС є підготовка студентів з виконання НЗ до необхідного («відмінного») рівня підготовки (P_T) при мінімальних фінансових (тимчасових) витратах (T). Для досягнення даної мети формуються підцілі функціонування ЕНС. Такими підцільми є досягнення на кожному етапі заняття ($i = 1, \dots, n$) необхідних рівнів підготовки студентів P_i^* , ($i = 1, \dots, n$) з виконання типових операцій НЗ:

$$Z_T : \begin{cases} P(P_1, \dots, P_n) \geq P_T(P_1^*, \dots, P_n^*); \\ T = \sum_{i=1}^n T_i \rightarrow \min . \end{cases}$$

3.2. Методика планування та організації проведення занять з використанням ЕНС

Методика планування та організації навчання з використанням ЕНС включає наступні основні етапи (рис.3.1).

На першому етапі формулюються цілі навчання та завдання, що будуть відпрацьовані.

Кінцевою метою проведення таких занять є підготовка студентів до необхідного рівня, що забезпечує виконання поставлених НЗ необхідної складності.

Якщо за наслідками попередніх занять студенти досягли «відмінного» рівня підготовки, то основною метою подальших занять є підтримка раніше досягнутого рівня.

Якщо студенти не досягли з попередніх занять «задовільного» рівня, то метою кожного наступного заняття є досягнення «задовільного», «доброго»,

а потім і «відмінного» рівня підготовки. При цьому рівень навчання студентів характеризується його здатністю своєчасно й безпомилково виконувати типові операції при заданій інтенсивності надходження НЗ необхідної складності. Інтенсивність потоку НЗ характеризується середньою кількістю їх формування за одиницю часу для їх вирішення студентами (рис.3.1).

Тому результативним для визначення складності НЗ є фактичний рівень підготовки студентів з виконання НЗ. Даний рівень підготовки студентів (P) може бути встановлений або за наслідками попереднього заняття, або безпосередньо в процесі навчання.

Таким чином, кінцевою метою навчання (Z_T) є досягнення студентами необхідного рівня підготовки (P_T) з виконання основних типів операцій НЗ при заданій інтенсивності (складності) їх формування (λ_{TN}):

$$Z_T : \begin{cases} P \geq P_T, \\ \lambda_R = \lambda_{TR} \quad (R=1, 2, \dots, N). \end{cases} \quad (3.1)$$

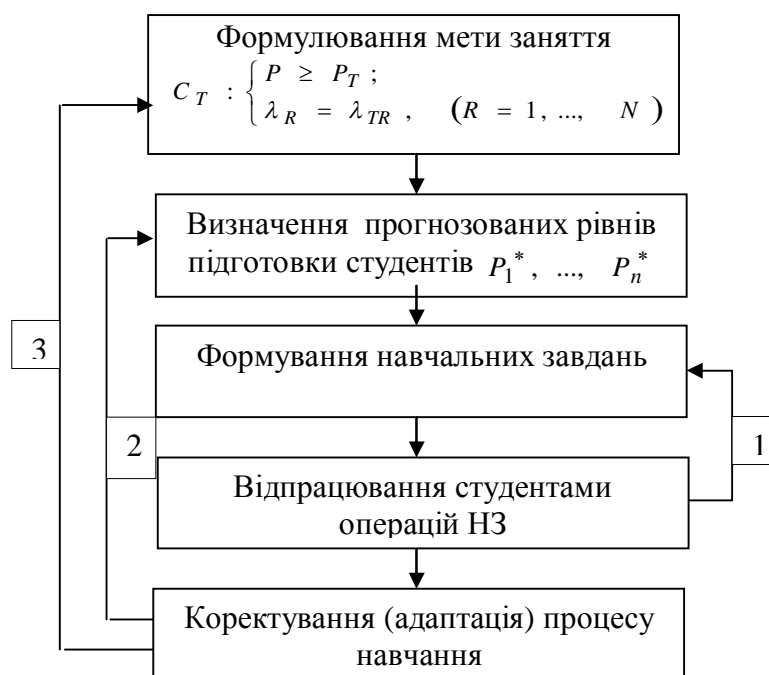


Рис. 3.1. Основні етапи організації та проведення занять з використанням адаптивних ЕНС

На другому етапі (як показано на рис. 3.1) визначаються необхідні прогнозовані рівні підготовки студентів з виконання основних типів операцій НЗ: P_1^* , ..., P_n^* . Оскільки будь-яка НЗ містить чималу кількість однотипних операцій, то як показник необхідного прогнозованого рівня знань студентами з реалізації i -го типу операцій зручно використовувати вірогідність

своєчасного й безпомилкового (правильного) виконання операцій P_i^* , $i = 1, \dots, n$.

Необхідний рівень підготовки студентів з виконання НЗ в цілому (P_T) можна описати у вигляді функції:

$$P_T = P_T(P_1^*, \dots, P_i^*, \dots, P_n^*). \quad (3.2)$$

Звідси випливає, що необхідний рівень знань студентів з виконання НЗ (P_T) залежить від рівнів підготовки студентів в реалізації кожного типу операції (P_i^* , $i = 1, \dots, n$). (3.3)

Завдання визначення показників P_1^* , ..., P_n^* на підставі встановлених вимог щодо рівня підготовки студентів з виконання всієї НЗ (P_T) виконуються неоднозначно. Кількість усіх можливих розв'язків становить $(n-1)$ - параметричну множину.

Таким чином, на другому етапі організації та проведення заняття, враховуючи вимогу до виконання всієї НЗ (P_T), з усієї множини можливих розв'язків з відпрацювання кожного типу операції визначається такий, при якому час підготовки студентів до необхідних прогнозованих рівнів P_1^* , ..., P_n^* буде мінімальним. Методика визначення необхідних прогнозованих рівнів підготовки студентів наведена в [12].

Для підготовки студентів до зазначених вище рівнів знань, а, отже, й до необхідного рівня підготовки щодо виконання всієї НЗ (P_T) прогнозований час відпрацювання НЗ обчислюється за формулою:

$$T = \sum_{i=1}^n T_i, \quad (3.4)$$

де T_i ($i=1, \dots, n$) - середній час підготовки студентів до необхідного прогнозованого рівня P_i^* .

При цьому

$$T_i = S_i \cdot \tau_i, \quad (3.5)$$

де S_i - мінімальна необхідна кількість операцій i -го типу, при виконанні яких забезпечується відпрацювання НЗ з необхідним прогнозованим рівнем P_i^* ;

τ_i — середній час виконання операції i -го типу.

Обчислення показників P_1^* , ..., P_n^* та T_1 , ..., T_n повинно проводитися з урахуванням закономірностей підвищення рівня підготовки студентів (P) від часу відробітку кожного типу операцій НЗ.

На третьому етапі організації та проведення заняття зі студентами здійснюється формування оптимального плану інтенсивної підготовки.

Безпосередньо відпрацювання основних типів операцій НЗ здійснюється на четвертому етапі, суть якого зводиться до наступного.

У процесі заняття студенти виконують скінчене число типів операцій n . При цьому, залежно від рівня навчання студентів з виконання типових операцій, створюється певний тип НЗ для їх відпрацювання. Іншими

словами, НЗ — це джерело інформації для студентів, користуючись якою, вони виконують відповідні типи операцій.

У процесі реалізації студентами типових операцій проводиться адаптивна зміна НЗ, тобто коректування часових витрат T_i ($i=1, \dots, n$) залежно від рівня навчання студентів з виконання типових операцій (стрілка 1 на рис. 3.1).

Одночасно здійснюється об'єктивний контроль роботи студентів. Оцінка рівня підготовки студентів базується на аналізі імовірнісних характеристик, які враховують правильність і часові показники виконання основних типів операцій і НЗ в цілому.

З цією метою через певні часові інтервали забезпечується реєстрація фактичного рівня підготовки студентів з виконання кожного i -го типу операції P_i ($i = 1, \dots, n$) і всієї НЗ ($P_{\text{фп}}$):

$$P = P(P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_n). \quad (3.6)$$

Одночасно проводиться порівняння фактичного й необхідного рівнів підготовки (P і P_T). Якщо умова

$$P \geq P_T \quad (3.7)$$

виконується, то відпрацювання НЗ даного типу може бути закінчене, оскільки студенти досягли необхідного рівня підготовки з виконання НЗ. У решті випадків проводиться перевірка наступної умови:

$$|P_i^* - P_i| \leq \Delta P_i, \quad (i = 1, \dots, n), \quad (3.8)$$

де ΔP_i — величина гранично допустимої помилки в реалізації студентами i -го типу операції НЗ.

При виконанні умови (3.8) передбачається, що фактичні показники рівнів підготовки студентів P_1, \dots, P_n зі встановленим ступенем точності ($\Delta P_i, i=\overline{1, n}$) відповідають необхідним прогнозованим рівням P_1^*, \dots, P_n^* .

Отже, відпрацювання типових операцій НЗ продовжується відповідно до наперед встановлених часових інтервалів T_1, \dots, T_n .

Якщо умова (3.8) не виконується, то виникає необхідність в поетапному коректуванні процесу організації та проведення тренування студентів, тобто в адаптивному управлінні процесом навчання.

Необхідність реалізації такого управління обумовлена тим, що, виходячи з фактичного рівня підготовки студентів або не правильно сформульовані цілі заняття (Z_T), або з недостатнім ступенем точності визначено часові показники T_1, \dots, T_n протягом яких забезпечується підготовка студентів до необхідних прогнозованих рівнів P_1^*, \dots, P_n^* . Пояснюється це, перш за все, невизначеністю (на початкових етапах організації і проведення заняття) в початкових даних про індивідуальний

рівень підготовки студентів при виконанні основних типів операції та НЗ в цілому. Саме тому, на п'ятому етапі організації та проведення тренування, необхідно відкоректувати (адаптувати) часові характеристики відпрацювання типових операцій T_1, \dots, T_n , необхідні прогнозовані рівні P_1^*, \dots, P_n^* , а також P_m у зв'язку зі зміною фактичного рівня підготовки студентів (P).

Іншими словами, як тільки в процесі заняття не виконуються умови (3.7) і (3.8), то, що очевидно, необхідно скоректувати показники P_1^*, \dots, P_n^* . Цей простий цикл адаптивного управління процесом навчання (стрілка 2 на рис. 1) є нижнім рівнем адаптації, процесу організації та проведення заняття. На даному рівні забезпечується адаптивна зміна НЗ залежно від рівня підготовки студентів з виконання кожного типу операцій.

Основною метою адаптивного управління процесом навчання є мінімізація часу підготовки студентів до необхідних прогнозованих рівнів з виконання основних типів операцій НЗ.

Якщо нижня межа адаптації процесу організації та проведення заняття є недостатньо ефективною, тобто постійно не виконуються умови (3.7) і (3.8), то доцільно, виходячи з фактичного рівня підготовки студентів, скоректувати цілі навчання (Z_T), а потім і відповідні показники $P_1^*, \dots, P_n^*; T_1, \dots, T_n$. Даний цикл адаптивного управління належить до верхнього рівня адаптації процесів організації й проведення заняття (стрілка 3 на рис. 3.1). Характерною особливістю верхнього рівня адаптації є корегування необхідного рівня підготовки студентів (P_m), інтенсивності відтворення ситуацій (λ_{TR}) на основі фактичного рівня підготовки студентів з виконання НЗ.

При цьому основною метою адаптивного управління процесом навчання (Z_y) є скорочення часу підготовки студентів до необхідного рівня щодо виконання НЗ:

$$Z_y : \begin{cases} P(P_1, \dots, P_n) \geq P_T(P_1^*, \dots, P_n^*); \\ \lambda_R = \lambda_{TR}, \quad (R = 1, \dots, N); \\ T = \sum_{i=1}^n T_i \rightarrow \min. \end{cases} \quad (3.9)$$

Згідно з умовами (3.9), важливим завданням реалізації адаптивного управління процесом навчання є визначення необхідних прогнозованих рівнів P_1^*, \dots, P_n^* .

Для розв'язання даного завдання доцільно використовувати метод оптимального розподілу вимог до рівней підготовки студентів з виконання типових операцій НЗ [12].

РОЗДІЛ 4. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ АВТОМАТИКИ

4.1. Поняття системи автоматичного керування та її функціональний склад

Теоретичною основою автоматичних систем є теорія автоматичного керування та регулювання, яка вивчає принципи побудови, методи аналізу та синтезу найбільш широкого класу автоматичних систем, а саме: систем автоматичного керування та регулювання.

Теоретичні основи автоматики – наукова дисципліна, предметом вивчення якої є процеси, що відбуваються в системах автоматичного керування (САК).

Керування – це зміна стану об'єкта або процесу у відповідності з поставленою метою.

В неавтоматичних системах керування здійснюється безпосередньо людиною (ручне) або з її участю (автоматизоване). В автоматичних системах – за допомогою спеціального автоматичного управляючого пристрою (АУП). Автоматичне керування – це зміна стану об'єкта або процесу, який здійснюється за допомогою АУП у відповідності з поставленою метою.

Системою автоматичного керування називається сукупність об'єкту керування (ОК) та АУП, відповідним чином взаємодіючих між собою. У загальному випадку САК представлена на рис. 4.1.

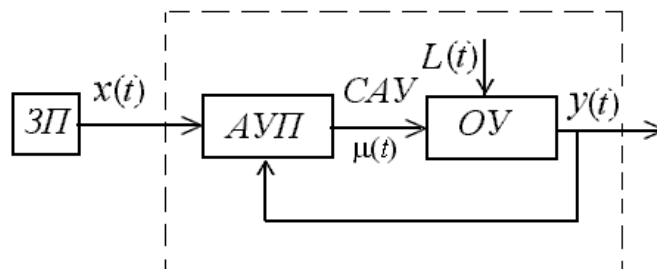


Рис. 4.1 Функціональна схема САК.

У загальному випадку мета будь-якого керування заключається у тому, щоб забезпечити потрібне значення вихідної величини об'єкту $y_{\Pi}(t)$ (його стану), тобто забезпечити рівність:

$$y(t) = y_{\Pi}(t) = x(t) \quad (4.1)$$

Щоб виконувалась рівність (1) до входу ОК необхідно прикласти відповідне управляюче діяння $\mu(t)$, яке виробляє АУП. В САК людина лише завдає на вхід системи $y_{\Pi}(t) = x(t)$, все інше покладається на АУП, який виконує наступні операції:

1. Вимірювання (вихідних величин, завад і інші).
2. Порівняння (кутів повороту в напругах).
3. Перетворення (вихідної величини з вхідної)
4. Підсилення (забезпечення необхідної величини $\mu(t)$).
5. Виконання (завершення операції керування).
6. Корегування (покращення динамічних властивостей САК).

4.1.1. Види впливів, що враховуються в САК

САК у ході свого функціонування випробовують впливи двох видів: *внутрішні* і *зовнішні*.

Внутрішні впливи виникають у результаті взаємодії елементів САК між собою. Типовим прикладом такого впливу є дія АКП на ОК.

Зовнішні впливи виникають поза САК і можуть передаватися в систему як через ОК, так і через будь-який інший елемент системи. Цими впливами є задаючий і збурюючий впливи.

Дослідження функціонування конкретних САК роблять при декількох різних, чітко визначених впливах, що називаються типовими. До них належать східчастий та імпульсивний впливи.

Східчастий вплив – це вплив, який миттєво зростає від нуля до деякого значення і далі залишається постійним (рис. 4.2,а).

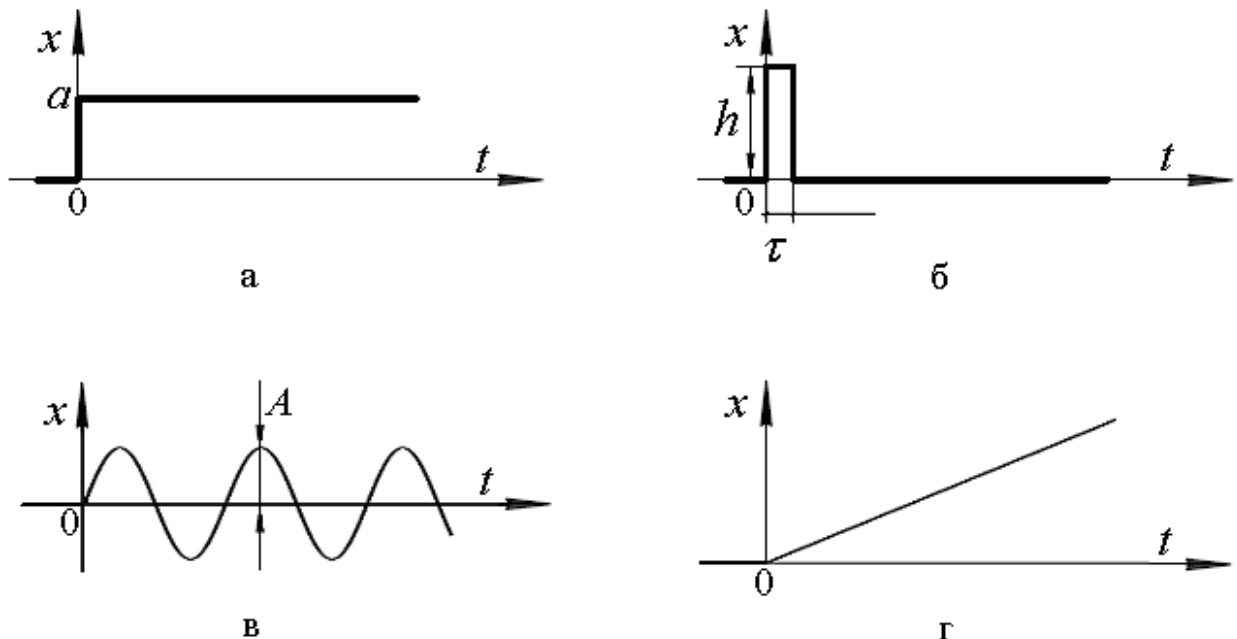


Рис. 4.2 - Види типових впливів САК:

а – східчастий вплив; б – імпульсивний вплив; в – гармонійний вплив; г – лінійний вплив.

Імпульсний вплив – це явище є собою одиночний імпульс прямокутної форми, який має досить велику висоту h (див. рис. 4.2,б) і істотно меншу порівняно з інерційністю системи тривалість τ .

Найбільш часто використовують одиничний імпульсний вплив $\delta(t)$, що описується так званою дельта-функцією:

$$\delta(t) = \begin{cases} \infty & \text{при } t = 0; \\ 0 & \text{при } t \neq 0, \end{cases} \quad \text{причому} \quad \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1.$$

Гармонійний вплив описується функцією

$$x(t) = 1(t) \cdot A \cdot \sin(\omega t),$$

де A_m - амплітуда; ω - частота зміни (див. рис. 4.2,в).

Лінійний вплив – описується функцією $x(t) = 1(t) \cdot kt$ (див. рис. 4.2,г).

Будь-яка САК в процесі роботи може перебувати у двох якісно відмінних один від одного режимах залежно від характеру зовнішніх впливів і властивостей самої системи. Розрізняються ці режими по характеру зміни керованої величини в часі і називаються статичним і динамічним.

Статичним режимом називають стан системи, при якому керована величина $y(t)$ не змінюється в часі, тобто $y(t) = \text{const}$.

Цей режим може мати місце лише тоді, коли вхідні впливи постійні в часі, а система перебуває в рівноважному стані.

Динамічним режимом називають стан системи, при якому величина $y(t)$ змінюється в часі, тобто $y(t) = \text{var}$.

4.2. Основні принципи керування та класифікація систем автоматичного керування

На практиці вихідні величини об'єктів повинні відповідати певним вимогам. Сукупність положень, які визначають характер зміни вихідних величин об'єктів, називається *алгоритмом функціонування*. До найбільш поширених на практиці алгоритмів функціонування належать: підтримування постійності вихідної величини $y(t)$, яка дорівнює потрібному (заданому) значенню $y_{\text{п}}(t)$;

- зміна вихідної величини за заданим законом (програмою);
- зміна вихідної величини за наперед невідомим законом.

Таким чином, вихідну величину об'єкта $y(t)$ необхідно підтримувати такою, що дорівнює потрібному значенню $y_{\text{п}}(t)$, тобто $y(t) = y_{\text{п}}(t)$, яке є сталою величиною або ж змінюється за деяким, у загальному випадку невідомим, законом.

Для того, щоб вихідна величина $y(t)$ об'єкта (рис. 4.3) набула потрібного значення, на його вхід подається вхідне діяння $\mu(t)$.

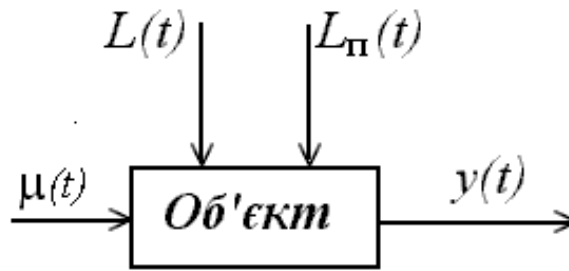


Рис. 4.3. Схема об'єкта та діянь

Залежно від того, який фактор використовується для формування $\mu(t)$, розрізняють чотири принципи керування:

1. принцип керування за збуренням (ПУЗ)

$$\mu(t) = f[L(t)];$$

2. принцип керування за відхиленням (ПУВ)

$$\mu(t) = f[\theta(t)];$$

3. принцип керування за задавальним діянням (ПУЗД)

$$\mu(t) = f[x(t)];$$

4. комбінований принцип керування (КП)

$$\mu(t) = f[x(t), L(t), \theta(t)].$$

4.2.1. Принцип керування за збуренням (розімкнені САК)

Алгоритм керування $\mu(t) = f[L(t)]$, тобто основний фактор, який необхідно компенсувати – $L(t)$.

Принцип керування за збуренням полягає в тому, що для зменшення або усунення відхилення $\theta_L(t)$ керованої величини від потрібного значення, яке спричиняється збуренням $L(t)$, вимірюється це збурне діяння і внаслідок його перетворення виробляється керуюче діяння $\mu(t)$, яке при прикладанні до входу об'єкта ОК спричиняє компенсуюче відхилення $\theta_{\mu}(t)$ керованої величини протилежного знака порівняно з відхиленням $\theta_L(t)$. Для повної компенсації впливу збуреного діяння відхилення $\theta_{\mu}(t)$ за кожний момент часу має дорівнювати за значенням і бути протилежним за знаком відхиленню $\theta_L(t)$, яке спричиняється збуреним діянням $L(t)$.

4.2.2. Принцип керування за відхиленням

Принцип керування за відхиленням є одним з найбільш поширених в САК РЕТ.

Він реалізує наступний алгоритм керування $\mu(t) = f[\theta(t)]$.

Принцип керування за відхиленням полягає в тому, що вимірюється керована величина, порівнюється з потрібним значенням (задавальним діянням), і виявлене при цьому відхилення перетворюється в керуюче діяння. Останнє, впливаючи на об'єкт, намагається зменшити або усунути це відхилення.

4.2.3. Принцип комбінованого керування

У техніці на практиці широко застосовують САК з принципом комбінованого керування, які поєднують принципи керування за відхиленням і за збуренням – комбіновані системи. У них системах принцип керування за відхиленням реалізується завдяки зворотному зв'язку, а принцип керування за збуренням – компенсаційним зв'язком.

У комбінованих системах компенсаційний зв'язок за основним збуренням (задавальним діянням) усуває складову похибку, яка спричинюється цим збуренням (змінюю задавального діяння), а завдяки дії зворотного зв'язку зменшуються похибки, які спричинюються другорядними збурними діяннями, за якими немає компенсаційних зв'язків. Якщо компенсаційні зв'язки не повністю усувають похибки, які зумовлені основними збурними (задавальними) діяннями, то залишкові похибки також зменшуються за зворотним зв'язком.

4.2.4. Класифікація систем автоматичного керування

Системи автоматичного керування доцільно класифікувати, виходячи з найбільш загальних ознак та їх властивостей. Така класифікація полегшує вивчення і дослідження САК.

Класифікація САК за алгоритмами функціонування. За алгоритмами функціонування САК поділяється на стабілізуючі, програмні, слідкуючі та перетворюючі системи.

Стабілізуючі автоматичні системи. Алгоритм функціонування системи: підтримка з необхідною точністю постійності (стабілізація) однієї чи кількох керованих величин при довільно змінювальних збурних діяннях. Задавальне діяння системи – постійна величина, тобто $x(t)=\text{const}$.

Програмні автоматичні системи. Алгоритм функціонування системи: зміна величини, якою управляють, з необхідною точністю відповідно до наперед складеної програми. Задавальне діяння системи $x(t) = F_n(t)$, де $F_n(t)$ – програма, наперед відома функція часу.

Слідкуючі автоматичні системи. Алгоритм функціонування системи: зміна керованої величини з необхідною точністю відповідно до наперед невідомої функції часу, яка визначається задавальним діянням: $x(t)= F(t)$, де $F(t)$ – наперед невідома функція часу. Таким чином, слідкуюча система, як і програмна система, відтворює задавальне діяння. Проте це діяння в слідкуючій системі змінюється не за наперед заданою програмою, а довільно.

Перетворюючі автоматичні системи. Алгоритм системи: перетворення з необхідною точністю задавального діяння $x(t)$ (сукупності задавальних діянь) в керовану величину $y(t)$ (сукупність керованих величин) відповідно до деякої функції перетворення H : $y(t)=H[x(t)]$. Перетворююча система повинна як можливо більш точно відтворювати на своєму виході не саме задавальне діяння $x(t)$ (як слідкуюча система), а деяку величину, пов'язану з задавальним діянням функцією перетворення H . До перетворюючих систем належать, наприклад, інтегруючі, диференціюючі, екстраполюючі та інші системи автоматичного керування.

Класифікація САК за властивостями в усталеному режимі. За властивостями в усталеному режимі САК поділяються на статичні і астатичні.

Статична система – це система, в якій при збурному (задавальному діянні), яке прямує до постійної величини, відхилення керованої величини також прямує до постійної, яка залежить від цього збурення.

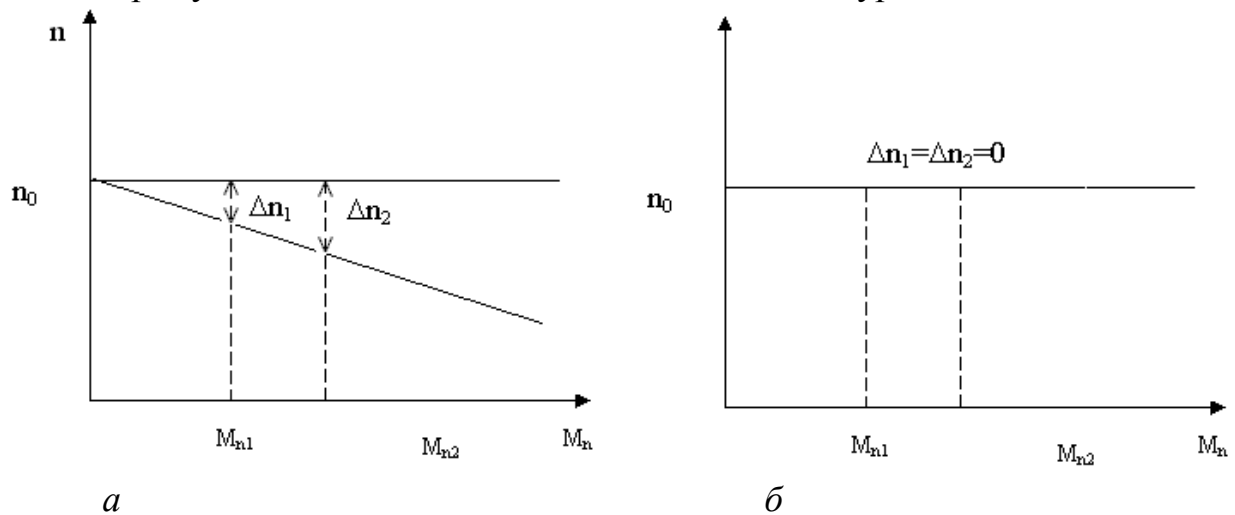


Рис. 4.4. Статичні характеристики системи: *a* - статичної системи; *б* - астатичної

Астатична система – це система, в якій відхилення керованої величини в усталеному режимі при будь-якому постійному значенні збурного (задавального) діяння дорівнює нулю (рис. 1, *б*).

Класифікація САК за характером зміни величин, які визначають роботу окремих елементів. За характером зміни величин, які визначають роботу окремих елементів, САК можна поділити на системи неперервної дії та дискретні.

Класифікація САК залежно від способів їх налаштування. Залежно від того, відбувається налаштування системи людиною чи автоматичною системою, САК поділяються на неадаптивні та адаптивні системи.

Класифікація САК за іншими ознаками. Залежно від наявності або відсутності підсилювача потужності розрізняють САК відповідно непрямої (побічної) і прямої дії.

За математичними ознаками САК поділяється на:

лінійні системи, які описуються лінійними диференціальними рівняннями при значних відхиленнях регульованої величини від заданого значення;

нелінійні системи, але які описуються лінійними рівняннями при малих відхиленнях від рівноваги. Диференціальні рівняння таких систем є нелінійними, проте їх можна лінеаризувати і проводити аналіз цих систем за допомогою лінеаризованих диференціальних рівнянь; суттєво нелінійні САК (наприклад, релейні К).

Залежно від наявності місцевих зворотних зв'язків, САК поділяються на одно- і багатоконтурні. Одноконтурною називається система, яка має тільки один головний зворотний зв'язок. Місцеві зворотні зв'язки у цій системі відсутні. Багатоконтурною називається система, яка має як головний, так і місцеві зворотні зв'язки.

Залежно від кількості керованих величин, САК поділяються на одно- і багатомірні (багатозв'язкові). Одномірною називається система, яка має одну керовану величину, двомірною – дві і багатомірною – багато величин, якими управляють.

4.3. Математичний опис та характеристики САК

4.3.1. Математичний опис САК

Вирішення питань аналізу існуючих і синтезу нових САК можливе лише при наявності відповідного математичного опису їхніх властивостей. Цей опис називають *математичною моделлю САК*, тому що при її складанні завжди робляться ті або інші допущення і наближення.

При математичному описі САК застосовують два підходи: перший з них ґрунтується на *поданні* моделей у *змінних вхід – вихід*, а іншої – у *змінних стану*.

Математичний опис системи складається на основі опису всіх складових елементів.

Для САК, що має один вхід $x(t)$ і один вихід $y(t)$, математичну модель можна представити у вигляді:

$$F\left(x(t), x'(t), y(t), y'(t), y''(t), \dots, y^{(n)}(t)\right) = 0. \quad (4.2)$$

Для лінійної стаціонарної САК рівняння (1.1) є лінійним неоднорідним диференціальним рівнянням виду:

$$a_0 y^{(n)}(t) + a_1 y^{(n-1)}(t) + \dots + a_n y(t) = b_0 u^{(m)}(t) + b_1 u^{(m-1)}(t) + \dots + b_m u(t), \quad (4.3)$$

де $u(t)$ й $y(t)$ – відповідно вхідна і вихідна величини, що змінюються в часі; a_i , b_j – постійні коефіцієнти, обумовлені параметрами системи; n – порядок рівняння.

У ТАК найширше застосування знайшов *операційний метод опису*, який ґрунтується на використанні інтегрального перетворення Лапласа (*L*-перетворення):

$$F(s) = L\{f(t)\} = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt. \quad (4.4)$$

Це перетворення встановлює відповідність між функцією $f(t)$ дійсної змінної t і функцією $F(s)$ комплексної змінної $s = \alpha + j\beta$. При цьому $f(t)$ називають *оригіналом*, а $F(s)$ - *зображенням*.

Рівняння багатьох реальних елементів і САК в цілому, тією чи іншою мірою є нелінійними. У цьому випадку змінні $x(t)$, $y(t)$ та їхні похідні входять у вираз для функції F у вигляді добутків, часток, степенів або інших більш складних функцій.

У зв'язку зі складністю аналізу і рішення нелінійних рівнянь широко застосовується наближена їхня заміна на лінійні – *лінеаризація*.

У основу методу лінеаризації покладено *розкладання в ряд Тейлора*, що дозволяє розкласти нелінійну функцію декількох змінних за ступенями малих відхилень цих змінних на околицях значень, що відповідають заданому сталому режиму.

Метод *змінних стану* заснований на понятті стану.

Стан системи в момент часу t_0 – такий мінімальний набір відомостей про неї, якого разом із вхідною функцією $u(t)$, заданою для інтервалу часу $t_0 \leq t \leq t_k$, досить для однозначного визначення вихідної функції $y(t)$, для $t_0 \leq t \leq t_k$ при кожному $t_k \geq t_0$.

Стан системи можна охарактеризувати сукупністю деяких змінних $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$, знання початкових значень яких $x_1(0), x_2(0), \dots, x_n(0)$ і вхідного впливу $u(t)$ дозволяє однозначно визначити майбутнє поведіння динамічної системи. Ці змінні називаються *змінними стану*.

4.3.2. Характеристики САК

Часові характеристики. Частотні характеристики. Логарифмічні частотні характеристики. Співвідношення взаємозв'язку характеристик САК між собою та передатньою функцією.

Диференціальні рівняння не залежно від форми подання є самою загальною формою опису САК і не дають наочного подання про всі її властивості. Більш наочно характеризують ці властивості функції $y(t)$, що є рішеннями диференціальних рівнянь. Найбільш широке використання при описі динамічних властивостей одержала перехідна функція $h(t)$. *Перехідною функцією* називають функцію, що описує зміну вихідної величини, яка виникає після подачі на вхід одиничного східчастого впливу $1(t)$ при нульових початкових умовах. Графік перехідної функції називається *перехідною характеристикою*.

Другою часовою характеристикою є *імпульсна перехідна функція* $w(t)$. Під цією функцією мають на увазі функцію, що описує зміну вихідної величини, яка виникає після подачі на вхід дельта-функції при нульових початкових умовах. Графік $w(t)$ називають *імпульсною перехідною характеристикою*.

Лінійні САК описуються диференціальними рівняннями вигляду:

$$a_0 y^{(n)}(t) + a_1 y^{(n-1)}(t) + \dots + a_n y(t) = b_0 x^{(m)}(t) + b_1 x^{(m-1)}(t) + \dots + b_m x(t), \quad (4.5)$$

де $x(t)$ й $y(t)$ – відповідно, вхідна і вихідна величини; a_i, b_j – коефіцієнти; n – порядок рівняння.

З курсу вищої математики відомо, що інтегрування даного рівняння зводиться до знаходження суми загального рішення однорідного рівняння без правої частини $y_c(t)$ і якого-небудь приватного рішення неоднорідного рівняння $y_B(t)$, тобто:

$$y(t) = y_c(t) + y_B(t). \quad (4.6)$$

Зміна вихідної величини, обумовлена складовою $y_c(t)$ називається *вільним рухом*, тому що залежить тільки від виду лівої частини рівняння (2.1), тобто від внутрішніх властивостей самого об'єкта. Складова $y_B(t)$, навпаки, залежить від характеру вхідного впливу і тому відповідна зміна називається *змушеним рухом*.

Складову $y_c(t)$ шукаємо у вигляді

$$y_c(t) = e^{pt}, \quad (4.7)$$

де p – деяке раціональне число.

Підставивши (2.3) у рівняння (2.1) при нульовій правій частині, одержимо:

$$a_0 p^n e^{pt} + a_1 p^{n-1} e^{pt} + \dots + a_n e^{pt} = 0,$$

або

$$a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n = 0. \quad (4.8)$$

Останнє рівняння називається *характеристичним*.

Таким чином, вираз (3.3) є рішенням вихідного рівняння за умови, що p є коренем рівняння (3.4). Оскільки це рівняння має n коренів, то маємо і n лінійно незалежних рішень $y_i(t)$. Скористаємося відомою теоремою математики, яка затверджує, що якщо n лінійно незалежних функцій $y_i(t)$ є рішеннями однорідного рівняння, то загальне вирішення цього рівняння визначається виразом:

$$y_c(t) = \sum_{i=1}^n C_i y_i(t) = \sum_{i=1}^n C_i e^{p_i t}, \quad (4.9)$$

де C_i – довільні постійні інтегрування.

Частотні характеристики описують передатні властивості САК у режимі сталих гармонійних коливань, викликаних зовнішнім гармонійним впливом. Ці характеристики широко використовують у ТАК, тому що реальні зовнішні впливи можуть бути представлені у вигляді суми гармонійних сигналів. Вони визначаються змушеною складовою рішення диференціального рівняння при подачі на вхід впливу:

$$x(t) = a \sin(\omega t) . \quad (4.10)$$

При гармонійному впливові на вході вихідна величина після закінчення перехідного процесу ($y_c(t) = 0$) також змінюється за гармонійним законом, $t \rightarrow \infty$

але з іншою амплітудою та фазою. При цьому відношення амплітуд вихідної і вхідної величин дорівнює модулю, а зрушення фаз – аргументу *частотної передатної функції* $W(j\omega)$ - відношенню вихідної величини до вхідної, перетворених за Фур'є при нульових початкових умовах.

Крива, яку описує кінець вектора частотної передатної функції на комплексній площині при зміні частоти від 0 до ∞ , називається *амплітудно-фазовою частотною характеристикою* (АФЧХ).

Крім АФЧХ, що є самою загальною частотною характеристикою, розрізняють наступні різновиди частотних характеристик:

- *амплітудна частотна характеристика* (АЧХ) – графік функції $A(\omega) = |W(j\omega)|$;
- *фазова частотна характеристика* (ФЧХ) – графік функції $\varphi(\omega) = \text{Arg } W(j\omega)$;
- *речовинна частотна характеристика* – графік функції $P(\omega) = \text{Re } W(j\omega)$;
- *уявна частотна характеристика* – графік функції $Q(\omega) = \text{Im } W(j\omega)$.

Дослідження частотних властивостей САК значно спрощується, якщо використати частотні характеристики, побудовані в логарифмічному масштабі. Такі характеристики називаються логарифмічними частотними характеристиками (ЛЧХ).

Для цього прологарифмуємо $W(j\omega)$, виражену в показовій формі:

$$\lg W(j\omega) = \lg A(\omega) + j\varphi(\omega) \lg e .$$

Графік залежності $L(\omega) = 20 \lg A(\omega)$, побудований у логарифмічному масштабі частот, називається *логарифмічною амплітудною частотною характеристикою* (ЛАЧХ).

Графік залежності фазової частотної функції $\varphi(\omega)$ від логарифму частоти $\lg \omega$ називається *логарифмічною фазовою частотною характеристикою* ЛФЧХ.

РОЗДІЛ 5. ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАНОК ТА СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

5.1. Динамічні характеристики ланок

5.1.1. Визначення динамічної ланки

У теорії автоматичного керування елементи автоматичних систем з точки зору їх динамічних властивостей представляють за допомогою невеликого числа елементарних динамічних ланок. Під елементарною динамічною ланкою вважається математична модель уявно виділеної частини системи, яка характеризується деяким найпростішим алгоритмом (математичним чи графічним описом процесу).

За напрямом проходження діяння розрізняють вхід і вихід і, відповідно, вхідну $x_{\text{вх}}(t)$ і вихідну $x_{\text{вих}}(t)$ величини ланки. Вихідна величина ланки направленої дії не впливає на вхідну величину. Диференційні рівняння таких ланок можна складати окремо і незалежно від інших ланок. Оскільки в САК входять різні підсилювачі, які мають направлену дію, САК має властивість передавати діяння тільки в одному напрямі. Через це рівняння динаміки всієї системи можна одержати із динаміки її ланок, виключивши проміжні змінні.

Елементарні динамічні ланки є основою для побудови математичної моделі довільної складності.

5.1.2. Класифікація і динамічні характеристики ланок

Тип ланки визначається алгоритмом, відповідно до якого відбувається перетворення вхідного діяння. Залежно від алгоритму розрізняють наступні типи елементарних динамічних ланок: пропорційна (підсилювальна), аперіодична (інерційна), коливальна, інтегруюча, диференційна і запізнювальна.

Рівняння динаміки ланки (системи) – рівняння, яке визначає залежність вихідної величини елемента (ланки) $x_{\text{вих}}(t)$ від вхідної величини $x_{\text{вх}}(t)$:

$$x_{\text{вих}}(t) = f[x_{\text{вх}}(t)].$$

Рівняння динаміки можна записати в диференційній і операційній формах.

Передатна функція ланки (системи) $K(p)$ являє собою відношення зображень за Лапласом вихідної $X_{\text{вих}}(p)$ і вхідної $X_{\text{вх}}(p)$ величин при нульових початкових умовах:

$$K(p) = X_{\text{вих}}(p) / X_{\text{вх}}(p).$$

Перехідною функцією ланки (системи) $h(t)$ називається реакція ланки (системи) на діяння виду одиничної ступеневої функції $1(t)$ при

нульових початкових умовах. Перехідна функція може бути визначена із розв'язку диференційного рівняння звичайним чи операційним методами.

Імпульсна перехідна функція (вагова функція) ланки (системи) $k(t)$ - це реакція ланки (системи) на одиничний імпульс $\delta(t)$. Одиничний імпульс одержують диференціюванням одиничного стрибка $\delta(t) = d1(t)/dt$, чи в операційній формі:

$$\delta(p) = pL[1(t)] = p/p = 1.$$

Тому

$$L[k(t)] = K(p)\delta(p) = K(p),$$

тобто зображення імпульсної перехідної функції дорівнює передавальній функції ланки (системи).

Пропорційна (підсилювальна) ланка. Рівняння ланки має вигляд:

$$x_{\text{вих}}(t) = kx_{\text{вх}}(t),$$

тобто між вихідною і вхідною величинами ланки є пропорційна залежність.

Рівняння в операційній формі

$$X_{\text{вих}}(p) = kX_{\text{вх}}(p)$$

Передавальна функція ланки

$$K(p) = X_{\text{вих}}(p) / X_{\text{вх}}(p) = k,$$

тобто передавальна функція пропорційної ланки чисельно дорівнює коефіцієнту підсилення.

Коливальна ланка. Рівняння ланки:

$$T^2 \frac{d^2 x_{\text{вих}}(t)}{dt^2} + 2\xi T \frac{dx_{\text{вих}}(t)}{dt} + x_{\text{вих}}(t) = kx_{\text{вх}}(t)$$

або в операційній формі

$$(T^2 p^2 + 2\xi T p + 1)X_{\text{вих}}(p) = kX_{\text{вх}}(p).$$

Тоді передатна функція коливальної ланки

$$K(p) = \frac{X_{\text{вих}}(p)}{X_{\text{вх}}(p)} = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1}.$$

Інтегруюча ланка. Вихідна величина ланки є інтегралом за часом від величини на її вході:

$$x_{\text{вих}}(t) = k \int_0^t x_{\text{вх}}(t) dt.$$

Рівняння ланки в операційній формі $X_{\text{вих}}(p) = kX_{\text{вх}}(p)/p$, звідки передатна функція ланки

$$K(p) = X_{\text{вих}}(p) / X_{\text{вх}}(p) = k/p.$$

Диференціююча ланка. Рівняння ланки: $x_{\text{вих}}(t) = kdx_{\text{вх}}(t)/dt$, чи в операційній формі $X_{\text{вих}}(p) = kX_{\text{вх}}(p)$. Передатна функція ланки:

$$K(p) = X_{\text{вих}}(p) / X_{\text{вх}}(p) = kp.$$

Тут k – коефіцієнт підсилення ланки за похідною, який дорівнює відношенню вихідної величини до швидкості зміни величини на вході.

5.2. Структурні (алгоритмічні) схеми автоматичних систем

5.2.1. Методика складання рівнянь елементів і структурної схеми системи

Для того, щоб одержати математичну модель системи, необхідно її елементи замінити відповідними динамічними ланками і з'єднати їх між собою. На структурній схемі динамічні ланки зображуються прямокутниками, всередині яких записуються передавальні функції ланок. Зв'язки між ланками позначаються лініями зі стрілками, які вказують напрям передачі діянь. З'єднання ланок повинно відповідати з'єднанню елементів системи. Графічне зображення, яке показує, з яких динамічних ланок складається система і як вони з'єднані між собою, називають структурною схемою даної системи. Структурна схема є математичною моделлю системи, і відображає її динамічні властивості. Вона, по суті, являє собою графічне відображення системи рівнянь динаміки (алгоритмів) елементів, записаних в операційній формі (у вигляді передавальних функцій).

Зображення САК структурними схемами, складеними з динамічних ланок, дає можливість створювати загальні методи дослідження (аналізу і синтезу) для всіх систем, незалежно від їх конструкції, фізичної природи і т.д.

Методику складання рівнянь елементів системи, подання їх динамічними ланками і побудову структурної схеми системи розглянемо на прикладі слідкуючої системи (рис. 5.1).

До складу системи входять сельсини BC і BE , які працюють у трансформаторному режимі, фазовий дискримінатор $\Phi Д$, електромашинний підсилювач потужності $ЕМП$, двигун $М$, редуктор $Р$.

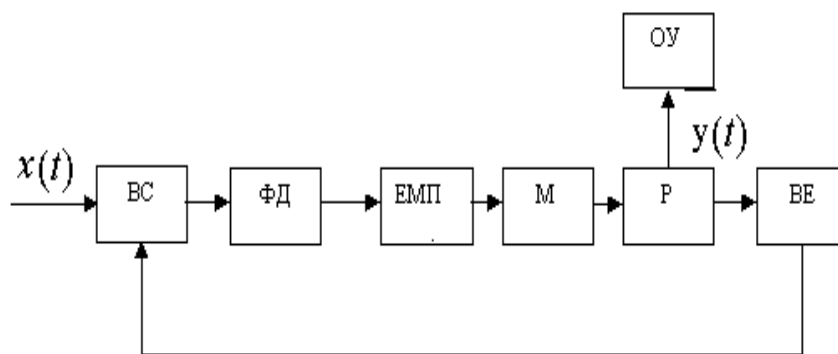


Рис.5.1. Структурна схема слідкуючої системи

Після заміни елементів системи динамічними ланками для одержання структурної схеми необхідно ці ланки відповідним чином з'єднати між собою.

Оскільки в розглянутій слідкуючій системі (рис. 5.1) елементи з'єднані послідовно, то і динамічні ланки, якими подані елементи, теж з'єднані послідовно.

За алгоритмічною схемою системи можна визначити передавальну функцію, яка є однією з найважливіших її динамічних характеристик, а також скласти рівняння динаміки елементів і рівняння системи в цілому.

На рис. 5.1 зображена структурна схема системи, в якій ланки з'єднані послідовно. На практиці зустрічаються структурні схеми, які містять такі типові з'єднання ланок як послідовне і паралельне з'єднання ланок, охоплення ланки (групи ланок) зворотним зв'язком. Тому, перш ніж вирішувати задачу визначення передавальної функції системи, з'ясуємо правила знаходження передавальних функцій типових з'єднань ланок.

5.2.2. Передатні функції типових з'єднань ланок

Передатна функція $K_n(p)$ паралельного з'єднання n ланок:

$$K_n(p) = X_{\text{вих}}(p) / X_{\text{вх}}(p) = K_1(p) + K_2(p) + \dots + K_n(p) = \sum_{i=1}^n K_i(p), \quad (5.1)$$

тобто передатна функція паралельного з'єднання ланок дорівнює сумі передавальних функцій ланок, які входять у з'єднання.

Зворотним зв'язком називається ланцюг передавання діянь з виходу ланки (системи) на її вхід. Поряд з головним зворотним зв'язком, за допомогою якого реалізується принцип керування за відхиленням, у САК для підвищення точності часто застосовуються місцеві зворотні зв'язки, які охоплюють одну або декілька ланок (рис. 3). Зворотні зв'язки бувають негативні і позитивні. При негативному зворотному зв'язку діяння $X_1(p)$, яке надходить на вхід ланки, дорівнює різниці впливів $X_{\text{вх}}(p)$ і $X_{3.3}(p)$, а при позитивному – їх сумі:

$$X_1(p) = X_{\text{вх}}(p) \pm X_{3.3}(p). \quad (5.2)$$

Останній вираз називається рівнянням замикання контуру.

Для того, щоб одержати рівняння ланки зі зворотним зв'язком, запишемо рівняння ланок у прямому колі і колі зворотного зв'язку:

$$X_{\text{вих}}(p) = K_1(p)X_1(p); \quad (5.3)$$

$$X_{3.3}(p) = K_{3.3}(p)X_{\text{вих}}(p). \quad (5.4)$$

Значення $X_{3.3}(p)$ з (5.3) підставляємо в (5.4):
 $X_1(p) = X_{\text{вих}}(p) \pm X_{3.3}(p)X_{\text{вих}}(p)$, а одержане значення $X_1(p)$ в (5.3):
 $X_{\text{вих}}(p) = K_1(p)X_{\text{вих}}(p) \pm K_1(p)K_{3.3}(p)X_{\text{вих}}(p)$
 або

$$[1 \pm K_1(p) \cdot K_{3.3}]X_{\text{вих}}(p) = K_1(p)X_{\text{вих}}(p) \quad (5.5)$$

Із цього рівняння визначаємо передавальну функцію ланки зі зворотним зв'язком:

$$K_{\text{охоп}}(p) = \frac{X_{\text{вих}}(p)}{X_{\text{вх}}(p)} = \frac{K_1(p)}{1 \pm K_1(p)K_{3.3}(p)}, \quad (5.6)$$

де знак “+” відповідає негативному, а “-” – позитивному зворотному зв'язку. Якщо з'ясується, що в деякій області значень p добуток $K_{3.3}(p)K_1(p) \gg 1$, то вираз (2.6) для цих значень може бути записаний у вигляді $K_{\text{охоп}}(p) = 1(\pm K_{3.3}(p))$, тобто передатна функція ланки, охопленої зворотним зв'язком, дорівнює величині, оберненій передатній функції ланки, включеної в ланцюг зворотного зв'язку. Тому зміна параметрів ланки в прямій ланці мало впливає на $K_{\text{охоп}}(p)$.

У випадку, якщо в зворотному зв'язку відсутня яка-небудь ланка, тобто має місце одиничний зворотній зв'язок $K_{3.3}(p) = 1$, то

$$K_{\text{охоп}}(p) = K_1(p) / 1 \pm K_1(p). \quad (5.7)$$

Використовуючи одержані вирази передатних функцій типових з'єднань ланок, можна складну структурну схему системи звести до схеми, яка складається із ряду послідовно включених ланок, і тим самим полегшити визначення передатної функції системи.

5.3. Передатні функції систем автоматичного керування в розімкненому та замкненому станах

5.3.1. Передатні функції системи в розімкненому стані

Передатна функція одноконтурної системи в розімкненому стані. В одноконтурній системі немає місцевих зворотних зв'язків і тому є тільки один замкнений контур, утворений за допомогою головного зворотного зв'язку. Для визначення передатної функції системи в розімкненому стані розмикають систему. Для цього звичайно розривають зворотний зв'язок.

Якщо система має неединичний зворотний зв'язок, то передатна функція ланки в зворотному зв'язку $K_{3.3}(p)$ входить співмножником у передатну функцію розімкненої системи. Після підстановки в формулу для $K_p(p)$ значень передатних функцій елементів

$$K_p(p) = \frac{k_p}{(T_y p + 1)(T_q p + 1)(T^2 p^2 + 2\xi T p + 1)p},$$

де $k_p = k_{\text{ст}} k_{\text{фд}} k_{\text{ЕМП1}} k_{\text{ЕМП2}} k_{\text{Д}} k_1 k_{\text{ред}}$ – коефіцієнт підсилення розімкненої системи. Чи після перетворення:

$$K_p(p) = \frac{k_p}{a_0 p^5 + a_1 p^4 + a_2 p^3 + a_3 p^2 + a_4 p} = \frac{D(p)}{F_0(p)p} = \frac{D(p)}{F(p)} = \frac{y(p)}{\theta(p)},$$

де $a_0 = T_y T_q T^2$; $a_1 = T_y T^2 + T_q T^2 + T_y T^2 2\xi T$; $a_2 = (T_y + T_q) 2\xi T + T_y T_q + T^2$,

$a_3 = T_y + T_q + 2\xi T$, $a_4 = 1$, $D(p)$ і $F(p)$ – позначення поліномів від p чисельника і знаменника $K_p(p)$; $F_0(p)$ – позначення полінома знаменника без співмножника p .

5.3.2. Передатна функція багатоконтурної системи з простими зв'язками в розімкненому стані

Часто для підвищення точності систем автоматичного керування в них вводять місцеві зворотні зв'язки, які охоплюють одну або декілька ланок і утворюють місцеві замкнені контури. Такі системи називаються багатоконтурними. Для визначення передатної функції багатоконтурних систем їх структурні схеми звичайно перетворюють до еквівалентних одноконтурних схем. При такому перетворенні послідовно з'єднані ланки системи, ланки, які включені паралельно, і ланки, охоплені зворотними зв'язками, замінюють еквівалентними ланками з відповідними передатними функціями.

5.3.3. Передатні функції замкненої системи

Для визначення передатних функцій складемо рівняння замкненої системи. Розглянемо випадок, коли система має одиничний зворотний зв'язок ($K_{3.3}(p) = 1$). Відповідно:

$$\left. \begin{aligned} \theta(p) &= x(p) - y(p) \\ y(p) &= K_p(p)\theta(p) + K_L(p)L(p) \end{aligned} \right\}, \quad (5.8)$$

де $K_p(p)$ і $K_L(p)$ – передатні функції системи в розімкненому стані і каналу збурного діяння відповідно. Підставивши значення $\theta(t)$ з першого рівняння в друге, одержимо рівняння системи в розімкненому стані:

$$[1 + K_p(p)]y(p) = K_p(p)x(p) + K_L(p)L(p), \quad (5.9)$$

звідки знаходимо зображення величини, якою управляють,

$$y(p) = y_x(p) + y_L(p), \quad (5.10)$$

$$\text{де } y_x(p) = \{K_p(p) / [1 + K_p(p)]\}x(p) \quad (5.11)$$

складова величини, якою управляють, обумовлена дією задавального діяння (корисна складова);

$$y(p) = \{K_L(p) / [1 + K_p(p)]\}L(p) \quad (5.12)$$

складова величини, якою управляють, спричинена збурним діянням $L(p)$ (відхилення величини, якою управляють, спричинене $L(t)$).

Визначаємо передатну функцію замкненої системи, яка зв'язує $y(p)$ і $x(p)$ – передавальну функцію замкненої системи відносно задавального діяння:

$$K_{yx}(p) = K_3(p) = y_x(p) / x(p) = K_x(p) / [1 + K_x(p)]. \quad (5.13)$$

Ця передатна функція характерна для слідкуючої і програмної систем.

РОЗДІЛ 6

СТІЙКІСТЬ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

6.1. Умова стійкості САК

6.1.1. Визначення стійкості САК

Стійкий і нестійкий стани рівноваги дає розгляд системи куля – поверхня. Куля, розміщена в западині (рис. 6.1, *a*), знаходиться в стійкому стані рівноваги, бо після відхилення під дією зовнішнього впливу вона повертається у свій початковий стан. Система куля-поверхня є стійкою. Куля, розміщена на верхній точці височини (рис. 6.1, *б*), знаходиться в нестійкому стані рівноваги: достатньо незначного відхилення від цього стану, і куля скотиться по схилу поверхні і не повернеться в початкове положення. Розглянута система нестійка.

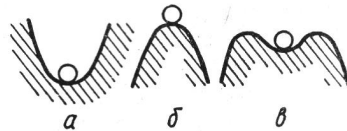


Рис. 6.1. До поняття стійкості рівноваги стану системи куля-поверхня: *a* – стійкий стан; *б* – нестійкий стан; *в* – стан, стійкий при малих і нестійкий при великих відхиленнях.

Таким чином, *під стійкістю вважають властивість системи повертатись у попередній стан рівноваги після виводу її з цього стану і закінчення впливу задавального чи збурюючого діяння.*

Згідно з теоремою Ляпунова, стійкість нелінійних систем при малих збуреннях можна визначити за їх лінеаризованими рівняннями, які достатньо точно описують поведінку систем при малих відхиленнях від стану рівноваги. Для визначення стійкості нелінійних систем при великих збуреннях необхідно користуватися початковими нелійними рівняннями динаміки. У більшості практичних випадків системи, які є стійкими при малих відхиленнях, можуть бути стійкими і при достатньо великих відхиленнях, можливих в процесі експлуатації, і тому питання про стійкість цих систем може бути вирішене на основі дослідження лінеаризованих рівнянь.

Проблема стійкості звичайно виникає в замкнених САК через вплив зворотного зв'язку. Тому в подальшому стійкість досліджується на прикладах замкнених систем, хоча методи дослідження стійкості універсальні.

6.1.2. Умова стійкості САК

Для відповіді на питання про стійкість даної системи необхідно вирішити лінеаризоване диференціальне рівняння замкненої системи:

$$(c_0 p^n + c_1 p^{n-1} + \dots + c_n) y(t) = (b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_m) x(t). \quad (6.1)$$

Повний розв'язок рівняння можна подати як суму вимушеної $y_B(t)$ і перехідної $y_{\Pi}(t)$ складових: $y(t) = y_B(t) + y_{\Pi}(t)$.

Вимушена складова $y_B(t)$, яка являє собою частковий розв'язок рівняння, є корисною складовою величини, якою управляють, і характеризує усталений режим системи. Перехідна складова є розв'язком однорідного диференціального рівняння і характеризує перехідний режим. Ця складова, як вже відмічалось (див., наприклад, рис. 2.3), по суті являє собою похибку системи в перехідному режимі (відхилення системи від стану рівноваги, $y_{\Pi}(t) = \theta(t)$) і тому є небажаною складовою величини, якою управляють. Очевидно, що система буде стійкою, якщо перехідна складова в ній з часом затухає, тобто

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y_{\Pi}(t) = 0. \quad (6.2)$$

Умовою стійкості системи автоматичного керування є розміщення всіх коренів характеристичного рівняння в лівій півплощині комплексної площини коренів.

Розглянута вище умова стійкості для лінійних систем є справедливою і для малих, і для великих збурень. Для нелінійних систем, дослідження яких виконується за допомогою лінеаризованих рівнянь, наведена умова стійкості справедлива для малих збурень.

6.1.3. Поняття про критерії стійкості САК

Як було показано вище, дослідження стійкості системи зводиться до визначення знаків дійсних частин коренів характеристичного рівняння замкненої системи. Знаки коренів можуть бути визначені шляхом розв'язання характеристичного рівняння замкненої системи. Але розв'язувати рівняння четвертої і більш високих степенів важко. Тому застосовують непрямі методи аналізу стійкості, які дають відповідь про стійкість системи без визначення коренів характеристичного рівняння. Такі методи називаються критеріями стійкості.

До **алгебраїчних критеріїв стійкості** відносяться критерій Гурвіца і критерій Рауса.

6.1.4. Граничний коефіцієнт підсилення системи

При збільшенні k_p можна стійку систему перетворити в нестійку. Коефіцієнт підсилення системи k_p , відповідний границі стійкості системи,

називається граничним коефіцієнтом підсилення системи $k_{p.гр}$. Для того, щоб одержати стійку систему, необхідно, щоб $k_{p.гр} > k_p$.

6.2. Критерії стійкості систем автоматичного керування

6.2.1. Частотні характеристики ланок і систем автоматичного керування

Частотні критерії стійкості базуються на використанні частотних характеристик. Розроблені такі частотні критерії стійкості: критерій стійкості Михайлова, амплітудно-фазовий критерій стійкості (критерій Найквіста-Михайлова), логарифмічний частотний критерій. Основна перевага частотних критеріїв стійкості перед алгебраїчними критеріями полягає в тому, що частотні характеристики можна одержати експериментально. Крім того, частотні характеристики дозволяють порівняно просто визначити вплив того чи іншого параметра на стійкість, а також дають можливість судити про перехідний процес системи. Із частотних критеріїв стійкості розглянемо амплітудно-фазовий і логарифмічний.

6.2.2. Комплексна передавальна функція ланки (системи)

Комплексні зображення вхідної і вихідної напруг ланок мають вигляд:

$$\dot{u}_1 = U_{m1} \cdot e^{j\omega t} ; \dot{u}_2 = U_{m2} \cdot e^{j(\omega t + \varphi)} . \quad (6.3)$$

Оскільки $U_{m1} e^{j\omega t} = U_{m1} (\cos \omega t + j \sin \omega t)$, для переходу від зображень до функцій слід брати уявну частину зображень і розділити на j :

$$U_{m1} \sin \omega t = [\text{Im}(U_{m1} e^{j\omega t})] / j . \quad (6.4)$$

Запишемо диференційне рівняння (6.3) аперіодичної ланки у символічній комплексній формі:

$$Tj\omega U_{m2} \cdot e^{j(\omega t + \varphi)} + U_{m2} \cdot e^{j(\omega t + \varphi)} = k U_{m1} \cdot e^{j\omega t} \quad (6.5)$$

чи

$$(Tj\omega + 1) U_{m2} \cdot e^{j(\omega t + \varphi)} = k U_{m1} \cdot e^{j\omega t} . \quad (6.6)$$

З рівняння (6.6) можна визначити U_{m2} і φ , а також знайти комплексну передавальну функцію ланки.

Комплексна передавальна функція (КПФ) ланки (системи) являє собою відношення зображень у вигляді комплексних чисел вихідної і вхідної величин ланки (системи) в усталеному режимі гармонічних коливань, тобто

$$K(j\omega) = \frac{\dot{u}_2}{\dot{u}_1} . \quad (6.7)$$

КПФ ще називають комплексним коефіцієнтом підсилення, комплексною частотною функцією або частотною характеристикою.

6.2.3. Амплітудно-частотна і фазочастотна характеристики

Крива залежності модуля $N(\omega)$ КПФ ланки (системи) від частоти називається *амплітудно-частотною характеристикою* (АЧХ) цієї ланки (системи). АЧХ аперіодичної ланки визначаються виразом

$$N(\omega) = \frac{K}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}}. \quad (6.8)$$

$$\psi(\omega) = \varphi,$$

тобто аргумент $\psi(\omega)$ КПФ дорівнює різниці фаз між вхідними і вихідними коливаннями.

Амплітудно-фазова частотна характеристика (АФЧХ) – це графічне зображення КПФ при зміні ω від 0 до ∞ . АФЧХ містить дві характеристики АЧХ – $N(\omega)$ і ФЧХ – $\psi(\omega)$.

Є два способи одержання АФЧХ ланок і систем:

5. Експериментальний:

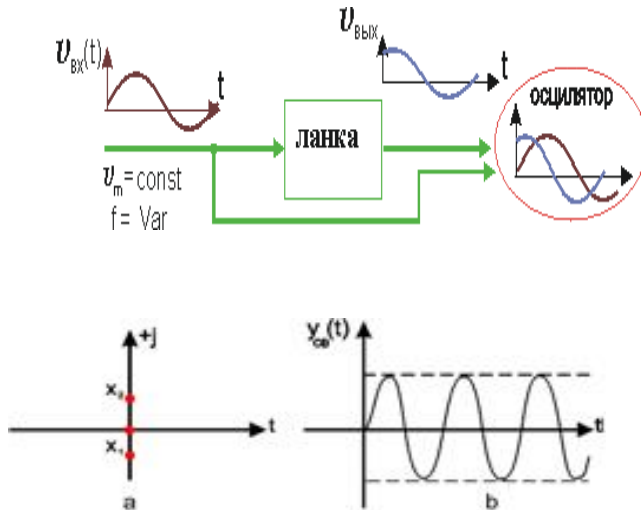


Рис. 6.2. Функціональна схема АФЧХ

Для кожної f визначається $N_f = \frac{U_{m_2}}{U_{m_1}}$.

6. Спосіб. Аналітичний - за передавальною функцією:

1. $K(p) \rightarrow$
2. $K(j\omega) / P = j\omega \rightarrow$
3. $P(\omega) + jQ(\omega) \rightarrow$ будуємо АФЧХ
4. $N(\omega)$ і $\psi(j\omega) \rightarrow$
5. будуємо АЧХ та ФЧХ.

АФЧХ аперіодичної ланки:

$$1. K_{(P)} = \frac{K}{T_P + 1}; \quad 2. K_{(j\omega)} = \frac{K}{T_{j\omega} + 1};$$

$$3. K_{(j\omega)} = \frac{K}{T_{j\omega} + 1} \left(\frac{-T_{j\omega} + 1}{-T_{j\omega} + 1} \right) = \frac{K}{T^2\omega^2 + 1} - j \frac{KT\omega}{T^2\omega^2 + 1}.$$

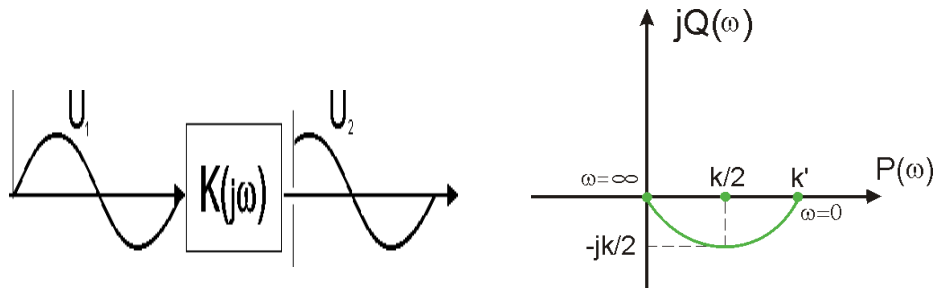


Рис. 6.3. Функціональна схема аперіодичної ланки.

Для побудови АЧХ задаються різними значеннями ω і обчислюють

$$P_{(\omega)} \text{ і } Q_{N(\omega)} = \sqrt{P^2(\omega) + Q^2(\omega)} = \sqrt{\frac{K^2}{(T^2\omega + 1)^2} + \frac{K^2 T^2 \omega^2}{(T^2\omega^2 + 1)^2}};$$

$$\psi(\omega) = \text{arctg} \frac{Q(\omega)}{P(\omega)} = -\text{arctg} \omega T;$$

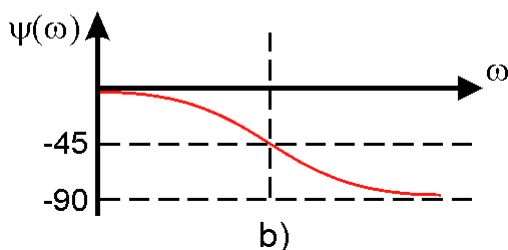
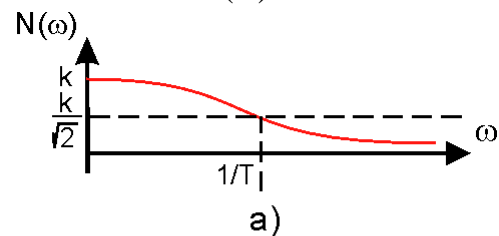


Рис. 6.4. АФЧХ аперіодичної ланки

6.2.4. Амплітудно-фазовий критерій стійкості (критерій стійкості Найквіста-Михайлова)

Критерій стійкості формулюється таким чином: *система автоматичного керування, стійка в розімкненому стані, буде стійкою в замкненому стані, якщо АФЧХ розімкненої системи не охоплює точку на комплексній площині з координатами $(-1, j0)$.*

Таким чином, годограф вектора $f(j\omega)$ являє собою АФЧХ розімкненої системи, але зсунуту вправо на одиницю. Зміна аргумента $f(j\omega)$ при зміні ω від 0 до $+\infty$ дорівнюватиме нулю, якщо точка $(-1; j0)$ знаходиться зовні амплітудно-фазової частотної характеристики розімкненої системи.

Звідси випливає формулювання частотного випадку критерію стійкості Найквіста-Михайлова: *система автоматичного керування, яка стійка в розімкненому стані, буде стійкою в замкненому стані, якщо АФЧХ розімкненої системи не охоплює критичну точку $(-1; j0)$.*

Якщо система в розімкненому стані нестійка (наприклад, є ланки, які охоплені додатним зворотним зв'язком), то за певних умов замкнена система може бути стійкою. В цьому випадку зміна аргументу характеристичного вектора розімкненої системи $F(j\omega)$ при зміні ω від 0 до $+\infty$ дорівнює $\Delta \arg F(j\omega) = (n - 2l)\pi / 2$, де l – число коренів характеристичного рівняння розімкненої системи в правій півплощині.

Система автоматичного керування, стійка в розімкненому стані, буде стійкою в замкненому стані, якщо різниця між кількостями додатних і від'ємних переходів АФЧХ розімкненої системи через відрізок $(-\infty; -1)$ дійсної осі дорівнює нулю.

6.2.5. Запас стійкості за модулем і фазою

Система перебуває на межі стійкості, якщо $N_{\text{гр}}(\omega_{\pi}) = y_{\pi} / \theta_{\pi} = 1$ Під коефіцієнтом запасу стійкості за модулем розуміють частку

$$\sigma = N_{\text{гр}}(\omega_{\pi}) / N(\omega_{\pi}) = 1 / N(\omega_{\pi}) = 1 / OB,$$

де OB – відстань між початком координат і точкою перетину АФЧХ з дійсною віссю.

Для з'ясування того, чи стійка система, чи ні, не обов'язково будувати всю АФЧХ, а достатньо знайти точку перетину АФЧХ з дійсною віссю. Для цього необхідно з рівняння $Q(\omega) = 0$ визначити частоту, при якій АФЧХ перетинає дійсну вісь, і підставити її у вираз для $P(\omega)$ (тут $Q(\omega)$ і $P(\omega)$ – уявна і дійсна частотні характеристики розімкненої системи).

6.3. Логарифмічний частотний критерій стійкості

Побудова амплітудно-фазових частотних характеристик складних систем зв'язана з великою втратою часу. Дослідження САК значно спрощується, якщо користуватися частотними характеристиками, накресленими в логарифмічному масштабі, тобто логарифмічними частотними характеристиками (ЛЧХ).

6.3.1. Логарифмічні частотні характеристики динамічних ланок

Комплексна передатна функція ланки:

$$K(j\omega) = k = N(\omega)e^{j\psi(\omega)}, \text{ де } N(\omega) = k; \psi(\omega) = 0.$$

Вираз для ЛАЧХ ланки не залежить від частоти і тому являє собою пряму, паралельну осі частот. Якщо $k > 1$, то ЛАЧХ проходить вище осі абсцис, при $k < 1$ – нижче осі.

Логарифмічні частотні характеристики ідеальної диференціюючої ланки, комплексна передатна функція ланки

$$K(j\omega) = j\omega\tau = \omega\tau e^{j\pi/2} = N(\omega)e^{j\psi(\omega)}, \text{ де } N(\omega) = \omega\tau, \psi(\omega) = \pi/2.$$

Вираз для ЛАЧХ ланки

$$L(\omega) = 20\lg N(\omega) = 20\lg \omega\tau = 20\lg \tau + 20\lg \omega.$$

Комплексна передатна функція ланки

$$L(j\omega) = \frac{k}{1 + j\omega T} = \frac{k}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}} e^{-j\arctg\omega T} = N(\omega)e^{j\psi(\omega)}.$$

Вираз для ЛАЧХ ланки :

$$L(\omega) = 20\lg N(\omega) = 20\lg \left[k / (\sqrt{1 + \omega^2 T^2}) \right] = 20\lg k - 20\lg \sqrt{1 + \omega^2 T^2}.$$

Вираз для ЛФЧХ аперіодичної ланки: $\psi(\omega) = -\arctg\omega T$. Для побудови ЛФЧХ ланки необхідно задатись різними частотами ω і визначити значення ординат характеристики на цих частотах.

Для з'ясування виду ЛФЧХ ланки достатньо визначити $\psi(\omega)$ для таких трьох частот:

| | | | |
|----------------|-------|------------------|----------|
| ω | 0 | $\omega_1 = 1/T$ | ∞ |
| $\psi(\omega)$ | 0^0 | -45^0 | -90 |

З порівняння ЛАЧХ і ЛФЧХ видно, що в області частот, де ЛАЧХ – горизонтальна пряма, ЛФЧХ прямує до 0^0 , а там, де ЛАЧХ виражена прямою з нахилом -20 дБ/дек, ЛФЧХ прямує до -90^0 . Різкі зміни ЛФЧХ має тільки біля частоти сполучення, де ЛАЧХ змінює нахил.

КПФ стійкої коливальної ланки:

$$K(j\omega) = k / (1 - T^2\omega^2 + j2\xi T\omega) = N(\omega)e^{j\psi(\omega)},$$

де

$$N(\omega) = \frac{k}{\sqrt{(1 - T^2\omega^2)^2 + (2\xi T\omega)^2}}; \psi(\omega) = -\arctg \frac{2\xi T\omega}{1 - T^2\omega^2}.$$

Вираз для ЛАЧХ ланки:

$$L(\omega) = 20\lg N(\omega) = 20\lg k - 20\lg \sqrt{(1 - T^2\omega^2)^2 + (2\xi T\omega)^2}.$$

Якщо прийняти $k=1$, то

$$L(\omega) = -20\lg \sqrt{(1 - T^2\omega^2)^2 + (2\xi T\omega)^2}.$$

6.3.2. Логарифмічний частотний критерій стійкості

Побудова АФЧХ складних систем з метою дослідження їх стійкості вимагає великої втрати часу. Цей процес суттєво спрощується при використанні логарифмічних частотних характеристик (ЛЧХ). Простота і наочність методу ЛЧХ пояснюються простотою побудови логарифмічних частотних характеристик. Використання методу ЛЧХ дає можливість наочно бачити вплив того чи іншого параметру системи на її стійкість і перехідний процес, а також дозволяє порівняно просто визначити характеристику коригуючого пристрою, який забезпечує потрібні показники якості системи. Логарифмічний частотний критерій стійкості базується на амплітудно-фазовому критерію стійкості і є по суті його більш зручним формулюванням.

Розглянемо лише випадок, коли САК в розімкненому стані стійка. Спочатку з'ясуємо критерій стійкості для САК першого роду, які мають найбільш прості по своїй формі частотні характеристики.

Система автоматичного керування, стійка в розімкненому стані, буде стійка і в замкненому стані, якщо ордината логарифмічної фазочастотної характеристики (аргумент КПФ) на частоті зрізу системи за абсолютною величиною менше, ніж 180^0 , тобто якщо $|\psi(\omega_{зр})| < 180^0$.

Система перебуває на границі стійкості, якщо її АФЧХ в розімкненому стані проходить через точку з координатами $(-1;j0)$, тобто якщо на частоті ω_{π} , на якій система вносить запізнення $\psi(\omega_{\pi}) = 180^0$, модуль $N(\omega_{\pi})$ КПФ дорівнює 1. Оскільки $20\lg 1 = 0$, то система буде знаходитись на границі стійкості, якщо на частоті ω_{π} ЛАЧХ буде на межі стійкості, якщо на частоті ω_{π} ЛАЧХ буде перетинати вісь 0дБ, тобто якщо $\omega_{зр} = \omega_{\pi}$. ЛАЧХ системи, яка знаходиться на межі стійкості.

Запас стійкості за амплітудою σ визначається як кількість децибелів, на яку потрібно збільшити підсилення системи, щоб система досягла межі стійкості. Запас стійкості за фазою γ визначається як різниця між 180^0 і абсолютним значенням аргументу КПФ при частоті зрізу $\omega_{зр}$, тобто $\gamma = 180^0 - |\psi(\omega_{зр})|$.

РОЗДІЛ 7

ЯКІСТЬ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

7.1. Показники якості систем автоматичного керування

Як було з'ясовано в попередньому розділі, система автоматичного керування повинна бути стійкою. Однак вимоги стійкості є для САК недостатніми. Система може бути стійкою, тобто її перехідний процес носить затухаючий характер, але час затухання настільки великий або похибка в усталеному режимі настільки велика, що практично дану систему не можливо використовувати. Тому система повинна бути не тільки стійкою, але й мати певний перехідний процес, а її похибки в усталених режимах не повинні перевищувати допустимих.

Характер перехідного процесу лінійної системи на відміну від стійкості залежить не тільки від параметрів системи, але й від виду збурюючого (задавального) діяння і початкових умов. Щоб порівнювати системи за характером перехідного процесу, з можливих діянь вибирають типові або найбільш несприятливі і визначають криву перехідного процесу при нульових початкових умовах. За типові впливи звичайно приймають одиничне ступінчате діяння, одиничний імпульс, лінійно зростаюче діяння, синусоїдальне діяння та ін. Реакція системи на одиничний ступінчастий вплив при нульових початкових умовах, як відомо, називається перехідною функцією системи. Для слідкуючих систем звичайно розглядають перехідну функцію $h(t)$, спричинену зміною задавального діяння $x(t)$, а для систем стабілізації – перехідну функцію $h_L(t)$, спричинену зміною збурюючого діяння $L(t)$.

Перехідна функція системи оцінюється за допомогою сукупності характеристик, які називаються показниками якості перехідного процесу. Розрізняють такі показники якості перехідного процесу системи:

час регулювання, або час перехідного процесу, t_p – час, по закінченні якого відхилення величини, якою управляють $y(t)$ відносно усталеного значення $y_{уст.}$, стає або залишається за абсолютним значенням меншою від наперед заданої величини ε . Як правило приймається $\varepsilon = 0,05y_{уст.}$. Час регулювання характеризує швидкість затухання перехідного процесу;

час устанавлення t_y – проміжок часу, за який керована величина вперше досягає свого усталеного значення t_y характеризує швидкість затухання процесу керування;

перерегулювання σ – виражене у відсотках відношення максимального відхилення величини, якою управляють Δy_{max} , від свого усталеного значення $y_{уст.}$

$$\sigma = (\Delta y_{max} / y_{уст.})100;$$

Показники якості перехідного процесу дають уявлення про поведінку системи тільки в перехідному режимі, тобто про зміни перехідної складової похибки. Точність же системи в усталених режимах оцінюється з допомогою статичних і динамічних похибок, тобто похибок системи в усталених режимах. Ці усталені похибки за аналогом можна назвати показником якості системи в усталених режимах. Сукупність показників якості перехідного процесу і усталених режимів називається показниками якості системи. Розглянуті показники називаються прямими показниками якості системи. Вважається, що система володіє необхідними якостями, якщо її показники якості не перевищують заданих значень, визначених призначенням системи. Однією із основних задач раціонального вибору схеми системи та її параметрів є забезпечення того, щоб час регулювання, перерегулювання і усталена похибка не перевищували заданих величин.

7.2. Визначення перехідної та усталеної складових похибки методом розкладання її зображення на елементарні дроби

Про показники якості системи в перехідному і усталеному режимах свідчить не тільки зміна величини, якою управляють $u_{уст.}$, але й зміна похибки $\theta(t)$, оскільки $\theta(t) = x(t) - y(t)$, а в окремому випадку при $x(t) = 1(t)$ $\theta(t) = 1(t) - y(t)$. Аналіз похибки дає безпосередню відповідь про точність системи в перехідному і усталеному режимах і дає можливість визначити шляхи зменшення $\theta(t)$. При необхідності криву перехідного процесу $y(t)$ можна побудувати за формулою: $y(t) = 1(t) - \theta(t)$ або в загальному випадку – формулою $y(t) = x(t) - \theta(t)$.

7.3. Частотний метод аналізу якості перехідних процесів систем автоматичного керування

Обґрунтування можливості використання частотних характеристик САК для побудови кривої перехідного процесу. На відміну від аналізу стійкості САК, коли звичайно виходять з її частотних характеристик в розімкненому стані, при аналізі якості перехідних процесів користуються частотними характеристиками замкненої системи. Знаючи частотну характеристику замкненої системи $K_3(j\omega) = N_3(\omega)e^{j\psi_3(\omega)}$, можна визначити її вихідну величину при подачі на вхід гармонічного діяння. Дійсно, якщо на вхід слідкуючої системи подається гармонічне задавальне діяння $x(t) = x_m \sin \omega t$, комплексне зображення якого $x = x_m e^{j\omega t}$, то в усталеному режимі комплексне зображення вихідної величини:

$$y = k(j\omega)x_m e^{j\omega t} = N_3(\omega)e^{j\psi_3(\omega)} y_m e^{j\omega t} = y_m e^{j[\omega t + \psi_3(\omega)]},$$

де $y_m = e^{j\omega t} = N_3(\omega)x_m\psi(\omega)$ – амплітуда та зміщення за фазою вихідних коливань відповідно.

За допомогою частотної характеристики замкненої системи можна не тільки визначити вихідну величину системи в усталеному режимі при гармонічному діянні, але й знайти реакцію системи при гармонічному діянні системи в перехідному процесі на довільне діяння $x(t)$.

7.3.1. Аналіз точності САК в усталених режимах за допомогою коефіцієнтів похибок

Як відзначалось, похибка САК в усталеному режимі є одним з показників якості системи. У випадку, коли повільно змінюються задавальне чи збурююче діяння, похибку системи в усталеному режимі зручно визначати за допомогою коефіцієнтів похибок.

Похибка слідкуючої системи $\theta(p)$, викликана зміною задавального діяння $x(p)$ відповідно до (2.61), може бути визначена за допомогою передатної функції системи за похибкою $K_{\theta x}(p)$:

$$\theta(p) = K_{\theta x}(p)x(p).$$

7.4. Метод простору станів

Розглянуті математичні моделі систем автоматичного керування, такі як диференціальне рівняння динаміки, передавальна функція, комплексна передавальна функція, визначають співвідношення між вхідною і вихідною величинами у часовій чи частотній області. Це дає можливість дослідити стійкість САК, визначити показники якості перехідного процесу. Однак практика показала, що наявність перехідної функції вихідної величини системи не дає повного уявлення про процеси, які виникають у системі і особливо в її елементах.

7.4.1. Основні поняття методу простору станів

Змінні величини, які характеризують довільну динамічну систему (рис.7.1), можна поділити на три групи:

зовнішні діяння u_i ($i=1, 2, \dots, m$), які впливають на динаміку системи (до них належать задавальні і збурні діяння);

змінні стану x_k ($k=1, 2, \dots, n$), що характеризують динаміку досліджуваної системи (як правило, це вихідні і внутрішні змінні елементів системи, які описуються диференціальними рівняннями, наприклад, кутове положення, кутова швидкість обертання вала виконавчого двигуна, ЕРС повздожнього і поперечного кола з ЕМП і т. д.);

вихідні змінні y_j ($j=1, 2, \dots, p$), які є важливими для дослідження.

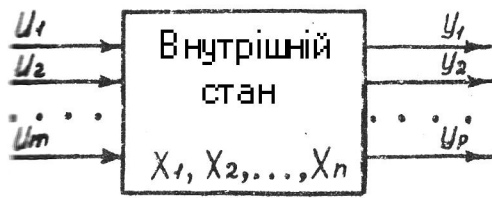


Рис. 7.1. Величини, що характеризують довільну динамічну систему

Як правило, це підмножина змінних стану або їх комбінації.

Зовнішні діяння u_i , змінні стану x_k і вихідні змінні y_j є функціями часу і визначають значення вказаних величин у момент часу t . Перераховані змінні зручно подавати у вигляді векторів-стовпців:

$$\bar{U}^T(t) = [u_1(t), u_2(t), \dots, u_m(t)];$$

$$\bar{X}^T(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)];$$

$$\bar{Y}^T(t) = [y_1(t), y_2(t), \dots, y_p(t)],$$

де символ T означає транспонування множин всіх значень, які можуть приймати вектори $\bar{U}, \bar{X}, \bar{Y}$. Їх називають, відповідно, *простором зовнішніх діянь*, *простором стану* і *простором виходу*.

7.4.2. Одержання рівнянь стану САУ. Форми рівнянь стану

Розглянемо основні поняття методу простору станів на прикладі типової САУ, яка описується диференціальним рівнянням динаміки третього порядку:

$$a_0 \frac{d^3 y(t)}{dt^3} + a_1 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + a_2 \frac{dy(t)}{dt} + a_3 y(t) = b_0 u(t).$$

Подамо це рівняння у векторно-матричній формі, тобто замінимо диференціальне рівняння третього порядку еквівалентною системою диференціальних рівнянь першого порядку. Позначимо $x_1 = y$; $x_2 = dy/dt = dx_1/dt$; $x_3 = d^2 y/dt^2 = dx_2/dt$; $x_4 = dy^3/dt^3 = dx_3/dt$ і запишемо рівняння у вигляді системи:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= 0x_1 + 1x_2 + 0x_3 + 0u \\ \frac{dx_2}{dt} &= 0x_1 + 0x_2 + 1x_3 + 0u \\ \frac{dx_3}{dt} &= \frac{a_3}{a_0}x_1 - \frac{a_2}{a_0}x_2 - \frac{a_1}{a_0}x_3 + \frac{b_0}{a_0}u \end{aligned} \right\}$$

Шукана вихідна величина може бути одержана як

$$y = 1x_1 + 0x_2 + 0x_3 + 0u.$$

У векторно-матричній формі рівняння має вигляд:

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ \frac{-a_3}{a_0} & \frac{-a_2}{a_0} & \frac{-a_1}{a_0} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{b_0}{a_0} \end{pmatrix} \times u$$

$$[y] = [100] * \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} + [0]u$$

Останнє рівняння можна записати символами:

$$\vec{X}(t) = A(t)\vec{X}(t) + B(t)\vec{U}(t);$$

$$\vec{Y}(t) = C(t)\vec{X}(t) + D(t)\vec{U}(t).$$

У наведеному прикладі елемент D дорівнює нулю, а зовнішнє діяння U являє собою скаляр. У загальному випадку елементи A, B, C, D є матрицями: A – матриця коефіцієнтів (власна матриця) розмірністю $n \times n$; вона залежить від структури системи, параметрів елементів та їх взаємних зв'язків; динамічні властивості системи в основному визначаються цією матрицею; B – матриця управління розмірністю $n \times m$, показує зв'язок зовнішніх діянь із змінними стану;

C – матриця спостереження (матриця виходу) розмірністю $r \times n$, яка формує вихідні змінні із змінних стану $x_k(t)$;

D – матриця обходу системи розмірністю $r \times m$; вона зображає безпосередній вплив зовнішніх діянь u_i на вектор виходу $\vec{Y}(t)$.

У загальному випадку лінійна система може бути нестационарною. Тоді елементи матриць A, B, C, D залежать від часу, і рівняння системи набувають вигляду:

$$\vec{X}(t) = A(t)\vec{X}(t) + B(t)\vec{U}(t);$$

$$\vec{Y}(t) = C(t)\vec{X}(t) + D(t)\vec{U}(t);$$

Таким чином, для знаходження рівнянь стану (визначення матриць A, B, C, D) за диференціальним рівнянням динаміки системи n -го порядку необхідно останнє подати системою диференціальних рівнянь першого порядку.

Для спрощення аналітичних операцій з рівняннями стану зручніше користуватися діагональною матрицею коефіцієнтів системи. З цією метою динаміку системи розглядають в просторі нових, абстрактних змінних стану q_k ($k=1, 2, \dots, n$), які зв'язані з вихідними змінними стану x_k ($k=1, 2, \dots, n$) відношенням

$$\vec{X} = M\vec{Q}$$

причому матриця перетворення M вибирається такою, щоб добуток $M^{-1}AM$ давав діагональну матрицю.

7.4.3. Системи в змінних стану систем автоматичного управління

Графічною моделлю САУ, яку використовують у методі простору станів, є схема в змінних стану, яка складається з інтеграторів, підсилювачів і підсумовуючих пристроїв (рис. 2). Вихідну величину інтегратора позначають змінною стану x_i , вихідну $\dot{x}_i = dx_i / dt$.

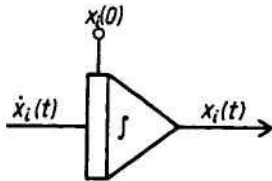


Рис.7.2. Зображення інтегратора у схемі у змінних стану

Початкову умову позначають $x_i(0)$. Інтегратор виконує перетворення $x_i(t) = \int_0^t x_i(\tau) d\tau + x_i(0)$. Для однієї і тієї ж системи можна побудувати

декілька схем у змінних стану. Справедливе і обернене твердження, яким часто користуються на практиці. Відмітимо, що схеми в змінних стану неперервних САУ збігаються зі схемами моделювання цих систем на аналогових обчислювальних машинах (АОМ).

Існує три методи складання схем у змінних стану: метод зниження порядку похідної, метод послідовного інтегрування і структурний метод. Позитивною якістю останнього методу є збереження фізичної відповідності між вихідними сигналами елементів системи і змінними стану.

Метод зниження порядку похідної широко використовується, якщо права частина вихідного диференціального рівняння не містить похідних, тобто

$$\sum_{i=0}^n a_i \frac{d^i y}{dt^i} = b_0 u.$$

Тоді, розв'язавши рівняння відносно старшої похідної

$$\frac{d^n y}{dt^n} = -\frac{a_{n-1}}{a_n} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} - \frac{a_{n-2}}{a_n} \frac{d^{n-2} y}{dt^{n-2}} - \dots - \frac{a_0}{a_n} y + \frac{b_0}{a_n} u$$

і, проінтегрувавши ліву частину n разів, одержимо шукану функцію (за аналогією з методом моделювання САУ на АОМ). Для складання схеми в змінних стану беруть n інтеграторів і вихід кожного інтегратора через відповідний підсилювач підключають до суматора, на виході якого утворюється старша похідна, яка підлягає n -кратному інтегруванню.

Запишемо це рівняння в операторній формі при нульових початкових умовах:

$$p^n y(p) + \sum_{i=0}^{n-1} a_i' p^i y(p) = \sum_{i=0}^m b_i' p^i u(p),$$

де $a_i' = a_i / a_n$, $b_i' = b_i / a_n$ і одержимо вираз для $y(p)$ виду:

$$y(p) = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{1}{n-1} [b_i' u(p) - a_i' y(p)]; \quad b_i' = 0 \quad \text{при } i > m.$$

Складемо ланцюжок з n послідовно з'єднаних інтегралів. Сигнал на виході крайнього правого інтегратора приймемо за y . Попередня рівність виконується у тому випадку, якщо на вхід крайнього лівого інтегратора подати різницю $b_0' u - a_0' y$, на вхід наступного – різницю $b_1' u - a_1' y$ і т.д.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бородин И.Ф. Основы автоматизации и автоматизации производственных процес сов / Бородин И.Ф. – М.: Колос, 1977. – 238 с.
2. Бабаков Н.А. и др. Теория автоматического управления / Бабаков Н. А. – М.: Высшая школа, 1986. – 237 с.
3. Ващенко І.К. Загальні методи навчання. Підручник для педагогів / Ващенко І.К. – К.: ІНТЕЛ, 1995. – 183 с.
4. Гончаренко С.У. Методика як наука / Гончаренко С.У. – К, 2000. – 215 с.
5. Дьомін А.І. Суб'єктивні основи активного навчання / Дьомін А.І. – К.: ДАУ, 1992.
6. Лузан П.Г. Активізація навчання у сільськогосподарському вузі / Лузан П.Г. К.: ІАЕ УААН, 1996. – 203 с.
7. Сидоренко В.К. та інші. Основи загальної методики професійної підготовки спеціалістів-аграріїв / Сидоренко В.К. – К.: НАУ, 2001. – 154 с.
8. Герасимов Б.М., Оксінюк О.Г., Шворов С.А. Проектування та застосування експертно-навчальних систем: Монографія. – К.: Вид-но Європ. ун-ту. 2008. – 263 с.
9. Чапний М.В., Чапна Л.В. Вказівки до курсу «Основи автоматизації». К.: НАУ, 2002. – 33 с.
10. Бондаренко А.Д. Современная технология: теория и практика / Бондаренко А.Д. – Киев, 1985. – 267 с.
11. Горохов В.Г., Степин В.С. Философия науки и техники / М., 1995. – 165 с.
12. Климентовський Ю.А., Гладкий А.М, Технічні засоби автоматизації. – Навчальне видання. – К.: Вид. КВІЦ, 2003. – 238 с.

ЗМІСТ

| | |
|------------------------|----------|
| СКОРОЧЕННЯ..... | 3 |
|------------------------|----------|

| | |
|-------------------|----------|
| ВСТУП..... | 4 |
|-------------------|----------|

| | |
|---|----------|
| РОЗДІЛ 1. ВКАЗІВКИ З МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ ДИСЦИПЛІНИ «ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АВТОМАТИКИ» | 7 |
|---|----------|

| | |
|--|----|
| 1.1. Види занять, що використовуються при викладанні дисципліни «Теоретичні основи автоматики» | 7 |
| 1.1.1. Особливості проведення лекційного виду занять..... | 9 |
| 1.1.2. Особливості проведення лабораторних занять | 14 |
| 1.1.3. Правила техніки безпеки при виконанні лабораторних робіт..... | 15 |
| 1.1.4. Рекомендації щодо використання наочних матеріалів..... | 16 |
| 1.1.5. Методи навчальної роботи щодо формувань навичок та умінь застосування знань | 18 |
| 1.1.6. Виробничо-практичний метод навчання | 19 |
| 1.2. Вказівки з методики викладання дисципліни «Теоретичні основи автоматики» | 19 |
| 1.2.1. Методичні вказівки з вивчення основних понять з автоматизації технологічних процесів та сільськогосподарського виробництва..... | 19 |
| 1.2.2. Методичні вказівки при вивченні загальних відомостей про системи автоматичного керування | 20 |
| 1.2.3. Методичні вказівки при вивченні основних властивостей об'єктів автоматичного управління | 22 |
| 1.2.4. Методичні вказівки при вивченні математичного опису САК | 23 |
| 1.2.5. Методичні вказівки при вивченні характеристик САК | 24 |
| 1.2.6. Методичні вказівки при вивченні типових ланок САК..... | 25 |
| 1.2.7. Методичні вказівки при вивченні теми “Стійкість САК” | 26 |
| 1.2.8. Методичні вказівки при вивченні теми “Якість САК” | 27 |

| | |
|---|-----------|
| РОЗДІЛ 2. ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГІЧНІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ЕКСПЕРТНО-НАВЧАЛЬНИХ СИСТЕМ..... | 28 |
|---|-----------|

| | |
|---|----|
| 2.1. Короткий огляд основних тенденцій розвитку сучасних інформаційних технологій навчання..... | 28 |
| 2.2. Психолого-педагогічні основи застосування сучасних інформаційних технологій навчання..... | 32 |
| 2.2.1. Навчання з погляду керування системами..... | 32 |
| 2.2.2. Загальна схема керування | 34 |
| 2.2.3. Методи керування навчанням..... | 37 |
| 2.3. Когнітивні процеси у навчанні | 40 |

| | |
|--|-----------|
| РОЗДІЛ 3. ПЛАНУВАННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ НАВЧАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЕКСПЕРТНО-НАВЧАЛЬНИХ СИСТЕМ | 45 |
| 3.1. Загальна постановка задачі планування..... | 45 |
| 3.2. Методика планування та організація проведення занять з використанням ЕНС | 45 |
| | |
| РОЗДІЛ 4. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ АВТОМАТИКИ..... | 50 |
| 4.1. Поняття системи автоматичного керування та її функціональний склад | 50 |
| 4.1.1. Види впливів, що враховуються в САК | 51 |
| 4.2. Основні принципи керування та класифікація систем автоматичного керування | 52 |
| 4.2.1. Принцип керування за збуренням (розімкнені САК) | 53 |
| 4.2.2. Принцип керування за відхиленням..... | 53 |
| 4.2.3. Принцип комбінованого керування..... | 54 |
| 4.2.4. Класифікація систем автоматичного керування | 54 |
| 4.3. Математичний опис та характеристики САК..... | 56 |
| 4.3.1. Математичний опис САК..... | 56 |
| 4.3.2. Характеристики САК | 57 |
| | |
| РОЗДІЛ 5. ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАНОК ТА СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ..... | 60 |
| 5.1. Динамічні характеристики ланок | 60 |
| 5.1.1. Визначення динамічної ланки | 60 |
| 5.1.2. Класифікація і динамічні характеристики ланок..... | 60 |
| 5.2. Структурні (алгоритмічні) схеми автоматичних систем..... | 62 |
| 5.2.1. Методика складання рівнянь елементів і структурної схеми системи..... | 62 |
| 5.2.2. Передатні функції типових з'єднань ланок..... | 63 |
| 5.3. Передатні функції систем автоматичного керування в розімкненому та замкненому станах..... | 64 |
| 5.3.1. Передатні функції системи в розімкненому стані | 64 |
| 5.3.2. Передатна функція багатоконтурної системи з простими зв'язками в розімкненому стані..... | 65 |
| 5.3.3. Передатні функції замкненої системи | 65 |
| | |
| РОЗДІЛ 6. СТІЙКІСТЬ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ | 66 |
| 6.1. Умова стійкості САК | 66 |
| 6.1.1. Визначення стійкості САК..... | 66 |
| 6.1.2. Умова стійкості САК..... | 67 |
| 6.1.3. Поняття про критерії стійкості САК | 67 |
| 6.1.4. Граничний коефіцієнт підсилення системи | 67 |
| 6.2. Критерії стійкості систем автоматичного керування | 68 |
| 6.2.1. Частотні характеристики ланок і систем автоматичного | |

| | |
|--|-----------|
| керування | 68 |
| 6.2.2. Комплексна передавальна функція ланки (системи) | 68 |
| 6.2.3. Амплітудно-частотна і фазочастотна характеристики | 69 |
| 6.2.4. Амплітудно-фазовий критерій стійкості (критерій стійкості Найквіста-Михайлова) | 70 |
| 6.2.5. Запас стійкості за модулем і фазою | 71 |
| 6.3. Логарифмічний частотний критерій стійкості | 71 |
| 6.3.1. Логарифмічні частотні характеристики динамічних ланок | 71 |
| 6.3.2. Логарифмічний частотний критерій стійкості | 73 |
| РОЗДІЛ 7. ЯКІСТЬ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ..... | 74 |
| 7.1. Показники якості систем автоматичного керування | 74 |
| 7.2. Визначення перехідної та усталеної складових похибки методом розкладання її зображення на елементарні дроби | 75 |
| 7.3. Частотний метод аналізу якості перехідних процесів систем автоматичного керування | 75 |
| 7.3.1. Аналіз точності САК в усталених режимах за допомогою коефіцієнтів похибок | 76 |
| 7.4. Метод простору станів | 76 |
| 7.4.1. Основні поняття методу простору станів | 76 |
| 7.4.2. Одержання рівнянь стану САУ. Форми рівнянь стану | 77 |
| 7.4.3. Системи в змінних стану систем автоматичного управління | 79 |
| СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ..... | 81 |