

М.С. Юхимчук, к.т.н., ст. викл.

Г.А. Осіпенко, магістрантка

Вінницький національний технічний університет

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ТА КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ АВТОКОЛИВАНЬ В РЕЛЕЙНИХ СИСТЕМАХ

Розв'язання завдання дослідження поведінки нелінійних систем є важливою проблемою у різних галузях науки і техніки. При проектуванні систем такого класу потрібні точні методи оцінки їх поведінки. Ще більше ускладнюється завдання при дослідженні нестационарних нелінійних систем. Такі системи використовуються в багатьох галузях виробництва і дуже важко забезпечити незмінність параметрів системи при впливі неконтрольованих параметричних збурень. Для розв'язання завдань, що виникають при проектуванні таких систем, необхідні потужні інженерні методи дослідження поведінки цих систем. Слід зазначити, що однією з основних проблем є забезпечення незмінності параметрів таких систем при впливі неконтрольованих параметричних збурень, з одного боку, а з іншого – автоматичні системи повинні бути працездатними, незважаючи на дію таких збурень.

Ще більше ускладнюється розв'язання завдань дослідження поведінки систем при спільному впливі неконтрольованих параметричних збурень і випадкових завад. Системи, що залишаються працездатними за цих умов, найчастіше будуються такими, що самоналаштовуються. Основною проблемою розв'язання завдань аналізу нелінійних нестационарних систем є відсутність загальних методів розв'язку диференціальних рівнянь, що описують їх динаміку.

Нині існує багато різноманітних методів розв'язку окремих типів відповідних рівнянь, але їх застосування в інженерній практиці ускладнено, і більшість з них розв'язується за допомогою методів математичного моделювання.

У зв'язку зі вказаним, розробка методів і засобів математичного моделювання для аналізу поведінки нелінійних систем зі змінними параметрами є актуальним завданням і має важливе практичне значення.

Ключові слова: автоматичні системи; автоколивання; параметричні збурення; випадкові завади; стійкість автоматичних систем управління.

Вступ. Постановка проблеми. Досвід, накопичений при створенні автоматизованих та автоматичних систем керування, показує, що керування різноманітними процесами базується на правилах і законах, частина з яких є загальною для технічних пристроїв, живих організмів, суспільних та інших явищ. Вивчення процесів керування, отримання та перетворення інформації у відповідних системах являє собою важливе завдання сучасної науки.

Вперше необхідність побудови регуляторів стала очевидною для людей, які створювали високоточні механізми. Адже невеликі, але постійні завади, що діють протягом всього періоду експлуатації, приводили до відхилення, які були неприпустимі за умови точності.

Протидіяти таким завадам конструктивними методами, наприклад, покращуючи обробку деталей або їх масу, не вдавалося. Саме тому, для вирішення проблеми точності до складу системи почали вводити регулятори [1].

Ще однією причиною, яка спонукала створення регуляторів, була необхідність керування процесами, що відбувається за наявності настільки сильно змінних завад, в першу чергу, навантаження, що при цьому втрачалася не лише точність, але й здатність системи виконувати будь-яку корисну роботу.

У контексті техніки автоматизації використання можливостей штучних нейронних мереж до навчання дозволяє автоматизувати та контролювати процеси для об'єктів, в яких моделі відсутні або існують лише для обмежених умов і до яких традиційні методи аналізу не можуть бути застосовані.

Використання нейронних мереж доцільно при розв'язанні багатьох завдань контролю та управління технічними процесами, де необхідна обробка нечіткої інформації, ідентифікація параметрів складно формалізованих, багато-параметричних суттєво нелінійних систем.

Аналіз попередніх досліджень. Розвиток промислових регуляторів почався лише на початку XIX століття під час промислового перевороту в Європі. Першими промисловими регуляторами цього періоду є автоматичний регулятор котла парової машини, який було побудовано у 1765 р. І.І. Ползуновим і центробіжний регулятор швидкості парової машини, на який у 1784 р. отримав патент Дж.Уатт [2].

Протягом XIX століття процес створення різноманітних за принципами регулювання пристроїв продовжувався. В цей період з'явилися регулятори з впливом за швидкістю (Сіменса), навантаженням

(Понселе), сервомотори з жорстким зворотнім зв'язком (Фарко), регулятори з гнучким зворотнім зв'язком (ізодромні), імпульсні регулятори, вібраційні тощо [3].

До 1860 р. теоретичні дослідження регуляторів характеризувалися відсутністю системного підходу. Частина авторів вважала регулятори лише технічними аналогами стандартного контролюючого підходу. Великим досягненням були роботи, які враховували динаміку регулятора, але в них регулятор розглядався поза контекстом машини.

Суттєву зміну підходів до проблеми та методології дослідження обумовили три фундаментальні теоретичні роботи, які можливо вважати викладенням основ нової науки: Д.К. Максвелл "О регуляторах" (1866), І.А. Вишнеградський "Об общей теории регуляторов" (1876) та "О регуляторах прямого действия" (1877) [4].

Д.К. Максвелл та І.А. Вишнеградський здійснили системний підхід до проблеми, розглядаючи регулятор та відповідну машину як єдину динамічну систему. Вони суттєво спростили завдання, почавши дослідження малих коливань та здійснили лінеаризацію складних диференціальних рівнянь системи, що дозволило створити загальний методологічний підхід до дослідження самих різноманітних за фізичними і конструктивними властивостям систем, закласти основи теорії стійкості, особливо актуальної для того часу, і встановити ряд важливих загальних закономірностей регулювання за принципом зворотного зв'язку.

Теорія автоматичного керування, на початку свого існування, стимулювала розробки математичного плану. За закликом Д.К. Максвелла Т.Раус розробив алгоритм для оцінки положення коренів характеристичного рівняння та стійкості. На прохання А.Стодоли Е.Й. Гурвіц вивів детермінований критерій стійкості.

Суттєвий вклад в теорію регулювання вніс Н.Є. Жуковський – автор роботи "О прочности движения" та першого російського підручника "Теория регулирования хода машин" (1909). Н.Є. Жуковський розглянув вплив сухого тертя в регуляторах та дослідив деякі процеси імпульсного регулювання [5].

У перші десятиліття ХХ століття теорія автоматичного регулювання, яка вийшла за межі прикладної механіки, формується як загально технічна дисципліна. У цей період з'являється декілька праць, що розповсюджують її висновки на різноманітні технічні процеси. Особливо чітко теорію регулювання, як дисципліну загально технічного характеру, сприймав І.Н. Вознесенський [6].

Зміни автоматично керованих систем, пов'язані зі збільшенням інтенсивності процесів, ускладненням структури та більш жорсткими вимогами до швидкості протікання, точності та якості процесів, призводять до необхідності створення більш ефективних аналітичних методів дослідження систем. Посиленою увагою користуються частотні методи, які дозволяють сполучати аналітичні та наочні графічні прийоми, теоретичні та експериментальні методи досліджень. З'являється робота Х.Найквіста (1932), в якій пропонується критерій стійкості радіотехнічних підсилювачів зі зворотнім зв'язком, базується на властивості частотної характеристики розімкнутої системи, і робота А.В. Михайлова "Гармонический метод в теории регулирования" (1938), в якій обґрунтовується доцільність використання частотних методів в теорії регулювання і пропонуються нові методи, наприклад "критерій Михайлова", що не вимагає попередньої розімкнення ланки регулювання. Частотні методи досить швидко знайшли практичне застосування. У 1946 р. Г.Воде та Л.Мак-Кол ввели логарифмічні частотні характеристики. Г.Браун, А.Холл, Д.Кемпбелл, Г.Честнат, А.В. Михайлов, В.В. Солодовников та інші закінчили розробку частотних методів синтезу та розрахунку систем, надавши їм вигляду, придатного для інженерних розрахунків.

Слід зазначити, що на цьому етапі не існувало єдиного математичного апарату для розв'язання нелінійних задач. Ситуація суттєво змінилася після виділення з існуючих видів нелінійних систем вузьких, з математичної точки зору, але достатньо загальних в практичному розумінні, класів – систем, в яких виділяються дві пов'язані частини: загальна (лінійна) частина та безінерційний елемент з нелінійною статистичною характеристикою. Один вид цього класу – кусково-лінійні системи з релейним нелінійним елементом. У більшості робіт досліджуються властивості саме таких системи.

Один з найбільш важливих напрямків досліджень стійкості нелінійних систем базується на роботах А.М. Ляпунова (1896), розвивається в роботах Н.Г. Четасва (1945), А.М. Летова (1955) та інших. Кінцевим етапом розвитку цього напрямку можливо вважати розробку теорії абсолютної стійкості. Проблема вперше з'явилася в роботах А.І. Лурье та В.Н. Постнікова (1944), а в більш чіткій формі – в роботах М.А. Айзермана (1949, 1963) і розв'язана румунським вченим В.М. Поповим (1959), який використав частотні представлення, В.А. Якубовичем та іншими.

Велике значення для якісного дослідження нелінійних систем мають методи, які базуються на представленні перехідних процесів траєкторіями у фазовій площині та просторі. Основні засади цього напрямку розроблені А.А. Андроновим та його школою в 30–40 роки ХХ століття. Метод фазової площини, який характеризується великою наочністю і глобальним охопленням усіх можливих рухів, незважаючи на обмеженість, головним чином, рівняннями другого та третього порядків, відкривши низку специфічних особливостей процесів в нелінійних системах – наявність граничних циклів, ковзних

режимів, захоплення коливань та інше. С.В. Емельянов у 60-х роках запропонував сполучення фазових представлень з аналітичними методами, яке дає можливість запропонувати і дослідити новий важливий клас систем зі змінною структурою, що зберігають високу якість роботи в умовах значних змін параметра об'єкта.

Для визначення параметрів автоколивань наближеними методами Н.М. Криловим та Н.Н. Боголюбовим був розроблений метод гармонічного балансу (1934). Л.С. Гольдфабром було запропоновано графо-аналітичний метод знаходження частоти та амплітуди основної гармоніки автоколивань за допомогою частотних характеристик. Подальший розвиток цей метод отримав в роботах Е.П. Попова та інших [6].

У роботах Г.В. Щипанова, В.С. Кулебакина, Б.Н. Петрова та інших були розроблені теорія автоматичного регулювання зі збурення, теорія компенсації збурень та інваріантності [3].

В.В. Казакевичем, А.П. Юркевичем, А.А. Фельдбаумом, А.А. Красовским та іншими було сформульовано, та досліджено принципи екстремального керування та розроблена теорія екстремальних систем та пошуку дуального керування, що здійснює пошук показника екстремуму якості роботи системи. В роботах А.А. Фельдбаума, І.С. Понтрягина, Н.Н. Красовського та багатьох інших вчених створено теорію оптимального керування, в якій досліджуються керуючі дії, що забезпечують максимальне значення функціоналу, який відображає техніко-економічну ефективність динамічного процесу керування [6].

Значення теорії автоматичного керування на сучасному етапі перевищило межі безпосередньо технічних систем. Динамічно керовані процеси мають місце в живих організмах, економічних та організаційних людино-машинних системах. Закони динаміки в них не є основними і визначають принципи керування, як це властиво технічним системам.

На ранній стадії розвитку теорії автоматичного регулювання вимога стійкості роботи системи була першою й єдиною, а зміст більшості теоретичних досліджень також зводився до дослідження стійкості.

Метою статті є аналіз існуючих методів дослідження стійкості нелінійних автоматичних систем при впливі неконтрольованих параметричних збурень для контролю параметрів автоколивань у цих системах.

Аналіз результатів дослідження. Стійкістю будь-якого явища в побуті називають його здатність довгостроково і з достатньою точністю зберігати ті форми свого існування, при втраті яких явище перестає бути самим собою. Однак не лише у побуті, але й у науковій термінології стійким називають не явище, а систему, в якій воно спостерігається. Мається на увазі те, що система керування як інженерна конструкція свідомо стійка, і в теорії вивчається стійкість не самої системи, а її станів і функціонування. В одній і тій самій системі одні стани руху можуть бути стійкими, а інші – нестійкими. Більш того, той самий рух може бути стійким щодо однієї змінної і нестійким щодо іншої – це зазначав ще А.М. Ляпунов [7].

При виявленні впливу на динамічні властивості системи нелінійностей, які реально у ній присутні, а також при навмисному введенні в неї нелінійних коригуючих нелінійностей, необхідно мати зручні для інженерів методи дослідження і розрахунку нелінійних автоматичних систем. Проблема розробки таких методів досить важка, відсутній математичний апарат, який дозволяє розв'язати складні нелінійні диференціальні рівняння, існують лише методи для розв'язання окремих видів нелінійних рівнянь. Точному математичному розв'язанню піддається лише невелика кількість нелінійних задач теорії автоматичного регулювання. Крім того, більшість практичних завдань вимагають розв'язання нелінійних диференціальних рівнянь вище другого порядку, точний розв'язок, якщо його можливо отримати, часто виявляється досить важким для застосування в інженерних розрахунках. Тому, важливими є наближені методи аналізу нелінійних систем.

Прямим завданням аналізу систем є розв'язок задачі стійкості, безпосередньо пов'язаний з визначенням умов рівноваги. У лінійних системах існує лише один стан рівноваги. У нелінійних системах можливі ситуації, коли існують кілька станів рівноваги. Слід зазначити, що досить малого збурення, щоб почався перехідний процес, який призведе систему до нового стану рівноваги, що істотно відрізняється від первісного. Отже, розглядаючи подібні системи, необхідно проаналізувати особливості їхньої поведінки в безпосередньому околі усіх можливих станів рівноваги [8]. Якщо досить мале (незалежно від того, якими умовами воно викликано) збурення призводить до істотного відхилення режиму від сталого стану чи від незбуреного руху, то говорять про нестабільність чи нестійкість положення чи рівноваги незбуреного руху. Якщо ж після припинення дії збурення система істотно не відхиляється від свого сталого стану, то такий режим називають стійким [9]. Таким чином, при дослідженні нелінійних систем необхідно провести дослідження сталих режимів роботи на стійкість.

Дослідженню питань стійкості присвячено безліч робіт. Широко відомі перші роботи в цій галузі Ж.-Л. Лагранжа, Т.Рауса, Н.С. Жуковського та А.Пуанкаре. Значним внеском у теорію стійкості виявилось дослідження видатного російського математика А.М. Ляпунова "Загальна задача про стійкість руху" (1892), що ще і сьогодні являє собою основу багатьох досліджень у цій області. А.М. Ляпунов дав чітке

математичне визначення стійкості. Розглядаючи нелінійні задачі небесної механіки, А.М. Ляпунов довів кілька теорем, що розв'язують в загальному вигляді задачу стійкості [7].

Сучасні методи, які відіграють суттєву роль в питаннях нелінійного адаптивного керування, як вже було зазначено, ґрунтуються на теорії стійкості систем, яка була створена А.М. Ляпуновим (Харків, 1982). У наш час існують математичні підходи, ефективні інженерні методи, які розроблені на основі даної теорії [7].

Стійкість лінійної стаціонарної системи завжди можливо дослідити за допомогою критерію Рауса–Гурвіца, критерію Найквіста або інших методів. У відношенні до нелінійних систем ці методи є непридатними. Загальних методів аналізу стійкості нелінійних систем не існує. У кожному конкретному випадку необхідно обрати метод, що є найбільш придатним для аналізу конкретної системи. У більшості випадків стійкість системи високого порядку, що містить нелінійності, піддається дослідженню лише шляхом імітаційного моделювання. Слід зазначити, що усі реальні фізичні системи є нелінійними.

Опишемо декілька характерних особливостей нелінійних систем.

Граничний цикл. Періодичні, незгасаючі коливання в нелінійній системі називають граничним циклом. У загальному випадку граничний цикл не є синусоїдальним. У лінійній стаціонарній системі періодичні незгасаючі коливання є синусоїдальними, а їх величина визначається як величиною зовнішньої дії, так і початковими умовами. В нелінійних системах амплітуда незгасаючих коливань не залежить від зовнішньої дії та від початкових умов.

Частота вимушених коливань при періодичній вхідній дії. При подачі на вхід нелінійної системи періодичної дії частота вимушених коливань на виході системи може бути або субгармонікою, або гармонікою вихідного сигналу.

Явище стрибкоподібного резонансу. При деякому вхідному сигналі системи зі сталою амплітудою (наприклад синусоїдальному) при збільшенні частоти вхідного сигналу може відбутися різкий стрибок амплітуди вихідного сигналу. Якщо частота після цього зменшиться, то відбудеться зворотній стрибок амплітуди вихідного сигналу, але при іншому значенні частоти. Це явище має назву стрибкоподібний резонанс (рис. 1).

Множина станів рівноваги. У стійкій лінійній системі при відсутності зовнішньої дії усі змінні стану з часом прямують до нуля (до початку координат простору сатанів). В стійкій нелінійній системі можуть існувати декілька різноманітних станів рівноваги, які відрізняються від $x = 0$, до яких система прямує при відсутності вхідної дії. Те, до якого з цих станів прямує система, залежить від початкових умов. Іншими словами, якщо нелінійну систему вивести з деякого стану рівноваги, вона може повернутися в будь-який інший стан рівноваги, залежно від величини збурення.

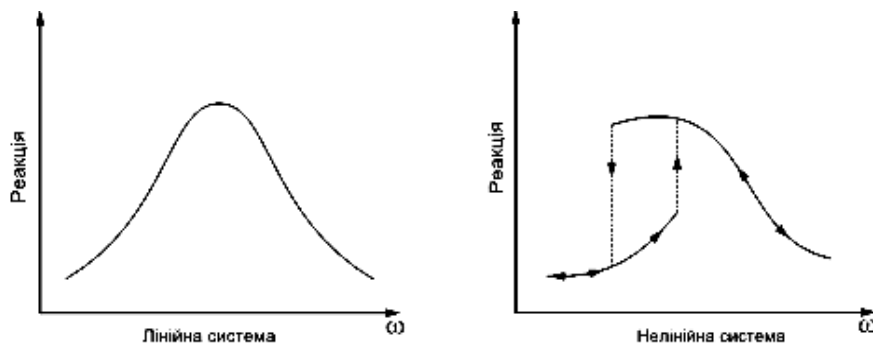


Рис. 1. Явище стрибкоподібного резонансу

Дослідивши методи дослідження стійкості систем автоматичного керування, можна виділити декілька основних методів для аналізу нелінійних систем [10]:

а) розв'язання нелінійного диференціального рівняння і аналіз отриманого розв'язку. Для лінійних систем розв'язання подібної задачі не викликає особливих труднощів (наприклад, її можливо розв'язати за допомогою перетворення Лапласа), для нелінійних систем розв'язання, якщо і може бути представлено аналітично, в більшості випадків є досить складним [11];

б) моделювання характеристик системи на аналоговій ЕОМ або тренажері. Такий метод використовується досить часто, але дослідження повної сукупності комбінацій параметрів є важким завданням, знаходження сприятливих процесів або вивчення впливу відповідних параметрів системи на вихідний сигнал вимагає застосування складних методів;

в) розгляд важливих видів стану системи. Досить часто використовуються методи оцінки стану системи. Найбільш відомим є метод лінеаризації.

У зв'язку зі складністю аналізу нелінійних систем велике значення в інженерній практиці мають методи їх розрахунку, які дозволяють після відповідних спрощень застосувати математичний апарат,

який використовується для дослідження лінійних систем. Такий підхід є наближеним, оскільки нелінійні аналітичні співвідношення замінюються лінійними.

У загальному випадку лінійні та нелінійні системи являють собою підклас динамічних систем, що, у свою чергу, є об'єктами або процесами, для яких однозначно визначено поняття стану як сукупності деяких величин в поточний момент часу і задано оператор, який описує еволюцію початкового стану у часі. Поняття динамічної системи, яке початково виникло як узагальнення поняття системи механічної природи, при такому визначенні суттєво розширюється. Опис динамічних систем у розумінні вибору оператора еволюції також є різноманітним: він здійснюється за допомогою диференціальних рівнянь, дискретних відображень, за допомогою теорії графів, теорії марківських моделей тощо. Вибір одного способу опису задає конкретний вигляд математичної моделі відповідної динамічної системи.

Математична модель динамічної системи є заданою, якщо встановлені параметри (координати) системи, що однозначно визначають її стан, та визначено оператор, який дозволяє розв'язувати задачу визначення зміни стану в часі. Залежно від ступеня наближення одній і тій самій системі можуть бути проставлені у відповідність принципово різні математичні моделі.

У випадку динамічних систем, для моделювання яких використовується кінцева кількість звичайних диференціальних рівнянь, необхідно вказати об'єкт, що допускає опис стану заданням величин x_1, x_2, \dots, x_N у деякий момент часу $t = t_0$. Величини x_i можуть приймати будь-які значення, причому двом різним наборам величин x_i та x_i' відповідають два різні стани. Закон еволюції динамічної системи у часі найчастіше зображується системою звичайних диференціальних рівнянь [12]:

$$\frac{dx_i}{dt} = \dot{x}_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_N), i = 1, 2, \dots, N. \quad (1)$$

Розглядаючи величини x_1, x_2, \dots, x_N як координати точки x в N -мірному просторі, можливо отримати наочне геометричне представлення стану динамічної системи у вигляді цієї точки. Останню називають фазовою точкою, а простір станів – фазовим простором динамічної системи. Зміні стану системи у часі відповідає рух фазової точки вздовж деякої лінії, яка називається фазовою траєкторією. У фазовому просторі системи керування, що описується (1), визначається векторне поле швидкостей, що з'являється кожній точці x вихідний вектор швидкості $F(x)$, компоненти є правими частками рівнянь (1):

$$[f_1(x_1, x_2, \dots, x_N), f_2(x_1, x_2, \dots, x_N), \dots, f_N(x_1, x_2, \dots, x_N)]. \quad (2)$$

Динамічна система (1), таким чином, може бути записана у векторній формі:

$$\dot{x} = F(x), \quad (3)$$

де $F(x)$ – вектор-функція розмірності N .

Може виявитись, що N -мірний фазовий простір динамічної системи є евклідовим і спостерігається відповідність між усіма можливими станами системи і точками евклідового простору R^N .

Певний клас можливих рухів динамічної системи описується за допомогою векторного поля на деякій інваріантній множині W з розмірністю меншою, ніж N , іншими словами – на підмножині фазового простору, що задовольняє наступній властивості: траєкторія, яка проходить через точку x підмножини W повністю лежить в W . Такі ситуації виникають при деякій симетрії початкових рівнянь задачі, у певних режимах автоколиваний в дисипативних системах, у консервативних системах та інших особливих випадках. В зв'язку з цим необхідно уточнити взаємозв'язок поняття кількості ступенів свободи та розмірності фазового простору динамічної системи. Під кількістю ступенів свободи будемо розуміти найменшу кількість незалежних координат, необхідних і достатніх для однозначного визначення стану системи [13]. Якщо динамічна система задана рівнянням (3), то кожному $x(t_0)$ у фазовому просторі ставиться у відповідність єдиний стан $x(t) (t > t_0)$, куди за час $t - t_0$ зміститься фазова точка, яка рухається відповідно до рівняння (3). В операторній формі (3) можна записати у вигляді:

$$x(t) = T_t x(t_0), \quad (4)$$

де T_t – оператор відображення фазового простору на себе. Відображення T для автономних систем утворює однопараметричну групу дифеоморфізмів фазової множини W^N , яке має властивість:

$$T_t, T_s = T_{t+s}, T, 0, s > 0, \quad (5)$$

Динамічні системи можливо класифікувати залежно від вигляду оператора відображення і структури фазового простору. Оператори відображення класифікуються відповідно до їх властивостей і за формою задання. Якщо оператор володіє властивістю суперпозиції, то він називається лінійним. Якщо оператор нелінійний, то і відповідна динамічна система називається нелінійною. Розрізняють неперервні та дискретні оператори та, відповідно, системи з неперервним та дискретним часом. Системи, для яких відображення $x(t)$ за допомогою оператора T може бути визначено для будь-яких $t > t_0$ (воно є неперервним у часі), називають також потоками за аналогією зі стаціонарною течією рідини. Якщо оператор відображення є визначеним на дискретній множині значень часу, то відповідні динамічні системи є каскадами або системами з дискретним часом.

Способи задання оператора відображення T також можуть бути різними. Оператор T може бути заданим у вигляді диференціального або інтегрального перетворення, у вигляді матриці або таблиці, у

вигляді графіка або функції тощо. Залежно від того, який ряд значень можуть приймати фазові координати, визначаючи стан системи, розрізняють неперервні та дискретні фазові простори. Певні класи нелінійних перетворень можуть призводити до імовірнісних властивостей відповідних розв'язків та допускати можливість статистичного опису.

Висновки. В останні десятиліття теорія автоматичного керування також переживає бурхливий розвиток. Можливості контролю і керування складними процесами істотно розширилися, однак існує ще багато різних перешкод і обмежень. Насамперед, до них належить необхідність побудови відповідної моделі процесу, що не завжди є простим завданням, особливо за наявності нелінійностей та різноманітних завад.

Традиційні алгоритми керування не завжди ефективно функціонують в умовах, пов'язаних з присутністю людини в контурі керування. Складність подібних систем обумовлена тим, що людина істотно змінює сам характер, критерії і мету керування, завжди приймає рішення, ґрунтуючись на керуючих правилах. Концепція нечіткого керування введена у фундаментальній роботі Лотфі Заде. Ця робота відкрила нові обрії для наближення автоматичного керування до інтелектуального. Під дією зовнішніх збурень у системі керування можуть виникати ситуації, за яких параметри автоколивачів стають нестійкими, що може призвести до неможливості розв'язання відповідних завдань. Саме тому необхідно забезпечити не лише якісну та надійну роботу системи керування, але й можливість контролю та, у деяких випадках, корекції її параметрів. Теоретичні і практичні результати розробок нечітких систем керування призвели до висновку про перспективність використання так званих генетичних алгоритмів і нечітких нейронних мереж — структур інтелектуальних систем керування та контролю.

Застосування нових підходів виявилось особливо ефективним при побудові сучасних систем керування, параметри яких можуть з часом змінюватися під впливом неконтрольованих параметричних збурень та інших факторів.

Список використаної літератури:

1. *Гайдук А.Р.* Абсолютная устойчивость регулируемых систем с несколькими нелинейностями / *А.Р. Гайдук* // Автоматика и телемеханика. – 1976. – № 6. – С. 5–11.
2. *Смит О.Дж.* Автоматическое регулирование / *О.Дж. Смит*. – М. : Физматгиз, 1962.
3. *Филлипс Ч.* Системы управления с обратной связью / *Ч.Филлипс*. – М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 616 с.
4. *Коршунов Ю.М.* Математические основы кибернетики / *Ю.М. Коршунов*. – М. : Энергия, 1972.
5. *Наумов Б.Н.* Теория нелинейных автоматических систем / *Б.Н. Наумов*. – М. : Наука, 1972. – 504 с.
6. *Чураков Е.П.* Оптимальные и адаптивные системы / *Е.П. Чураков*. – М. : Энергоиздат, 1987. – 256 с.
7. *Ляпунов А.М.* Общая задача об устойчивости движения : собр. сочинений / *А.М. Ляпунов*. – М. : Изд-во АН СССР, 1956. – Т. 2. – С. 7–271.
8. *Попов Е.П.* Прикладная теория процессов управления в нелинейных системах / *Е.П. Попов*. – № 1. – Наука, 1973. – 584 с.
9. *Цыткин Я.З.* Теория релейных систем автоматического регулирования / *Я.З. Цыткин*. – М. : Госгиздат, 1955. – 455 с.
10. *Попов Е.П.* Теория систем автоматического регулирования / *Е.П. Попов*. – М. : Наука, 1972. – 768 с.
11. *Юхимчук С.В.* Обобщение метода гармонической линеаризации при исследовании нелинейных электромеханических систем с переменными параметрами / *С.В. Юхимчук* // Известия вузов / Электромеханика. – 1994. – Ст. 1–2. – С. 9–15.
12. *Тютюнник А.Г.* Оптимальні і адаптивні системи авіомагнітного керування / *А.Г. Тютюнник*. – Житомир : ЖІТІ, 1998. – 512 с.
13. *Анхимюк В.Л.* Теория автоматического управления / *В.Л. Анхимюк*. – Мн. : Дизайн ПРО, 2000. – 352 с.

ЮХИМЧУК Марія Сергіївна – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри комп'ютерних систем управління Вінницького національного технічного університету.

Наукові інтереси:

– моделювання автоматичних систем управління.

Тел.: (063) 857–03–23.

E-mail: umc1987@mail.ru.

ОСІПЕНКО Ганна Анатоліївна – магістрантка кафедри комп'ютерних систем управління Вінницького національного технічного університету.

Наукові інтереси:
– моделювання автоматичних систем управління.
Тел.: (063) 60–73–316.
E-mail: osipenko1993@gmail.com.

Стаття надійшла до редакції 12.06.2015