

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

СИДОРЕНКО Олена Сергіївна

УДК 515.2

**ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ
ПОВЕДІНКИ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ
З НЕЧІТКИМИ ПАРАМЕТРАМИ**

Спеціальність 05.01.01 –
Прикладна геометрія, інженерна графіка

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2007

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: - доктор технічних наук, професор
Куценко Леонід Миколайович,
професор кафедри інженерної
та аварійно-рятувальної техніки,
Університет цивільного захисту
України (м. Харків);

Офіційні опоненти: - доктор технічних наук, професор
Корчинський Володимир Михайлович,
завідувач кафедри електронних
засобів телекомунікацій,
Дніпропетровський національний університет
(м. Дніпропетровськ);

- кандидат технічних наук, доцент
Караєв Олександр Гнатович,
старший науковий співробітник
завідувач відділом зрошення і механізації,
Інститут зрошувального садівництва
ім. М.Ф. Сидоренка УААН (м. Мелітополь);

Провідна установа: Донецький національний технічний
університет, кафедра нарисної геометрії,
інженерної і машинної графіки (м. Донецьк),
Міністерства освіти і науки України.

Захист відбудеться 26.06.2007 р. о 15 годині на засіданні спеціалізованої
вченої ради Д 26.056.06 у Київському національному університеті будівництва і
архітектури за адресою:

03680, Київ-680, Повітрофлотський проспект, 31, ауд. 466

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Київського національного
університету будівництва і архітектури за адресою:

03680, Київ-680, Повітрофлотський проспект, 31

Автореферат розісланий 25.05.2007 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

В.О. Плоский

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Подальший розвиток промисловості України неможливий без впровадження сучасних стратегій керування складними динамічними системами. Недолік поширених концепцій керування пов'язаний з описом об'єктів як лінійних моделей з детермінованими параметрами, що призводить до зниження адекватності між реальною динамічною системою та її моделлю. Поведінка реальних динамічних систем підпорядкована нелінійним змінам зовнішніх впливів, тому застосування до них традиційних методів стає все більш проблематичним. Звідси зрозуміла необхідність розробки систем керування динамічними об'єктами з нечіткими вхідними даними, які описані нелінійними математичними моделями. Створення таких систем вимагає використання елементів теорії нечітких множин з нечіткою логікою та теорії особливостей відображень. На взаємозв'язок між поверхнею поведінки динамічної системи та площиною зміни її параметрів указав математик Х.Уїтні у 1955 р. в роботі "Про відображення поверхні на площину".

Суттєва нелінійність поверхонь поведінки реальних динамічних систем спонукає залучення до їх побудови та аналізу засобів прикладної геометрії і комп'ютерної графіки. Значний внесок у процес геометричного моделювання різновидів поверхонь зробили В.В.Ванін, С.М.Ковальов, В.Є.Михайленко, В.М.Найдиш, В.С.Обухова, А.В.Павлов, О.Л.Підгорний, К.О.Сазонов, І.А.Скидан та інші. Але проведений аналіз досліджень робіт з прикладної геометрії та комп'ютерної графіки за обраною темою не виявив наскрізної теоретичної та прикладної графоаналітичної бази для забезпечення проектування поверхонь поведінки динамічних систем, придатної для аналізу керування нелінійними динамічними об'єктами з нечіткими початковими даними. Причина цього полягає у відсутності як математичних моделей, які б дозволили описувати такі процеси, так і програмних продуктів для їх геометричного моделювання на аналітичному та графічному рівнях. Для визначеності в роботі розглянуто, як приклад, відому задачу керування оберненим маятником, вісь якого закріплена на рухомому візку, де метою є забезпечення рівноваги маятника шляхом переміщення візка.

Для одержання розв'язків у аналітичному вигляді було застосовано математичний процесор Maple, який, до того ж, ще має і розвинену графічну складову. Це дозволило дослідження в абстрактних просторах доповнити наочними зображеннями, аналіз яких допомагає приймати рішення стосовно керування динамічною системою. Останнє положення підкреслює актуальність досліджень з позицій прикладної геометрії і комп'ютерної графіки.

Отже, актуальність запропонованої теми полягає у необхідності розробки математичного забезпечення алгоритмів опису і побудови геометричних моделей поверхонь поведінки динамічних систем з нечіткими параметрами та можливості здійснення на цій основі процесу керування системою шляхом відстеження траєкторії руху "точки" миттєвих станів системи по одержаній поверхні поведінки. Це досягається завдяки ефективним алгоритмам побудови

поверхонь поведінки динамічної системи, за допомогою якої можна “наочно” регулювати поведінку об’єкта керування.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано на кафедрі нарисної геометрії і графіки Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” в рамках науково-технічної програми кафедри на замовлення АТЗТ “Важпромавтоматика”.

Мета і задачі дослідження. Розробити метод і алгоритми побудови геометричних моделей поверхонь поведінки нелінійних динамічних систем з нечіткими параметрами на основі алгебро-логічного методу R-функцій.

Для досягнення цієї мети у дисертації поставлено такі **основні задачі**:

- виконати аналіз існуючих методів систем керування динамічними об’єктами, та показати доцільність геометричного моделювання поверхонь поведінки систем керування з нечіткими параметрами;

- розробити метод побудови поверхонь поведінки систем керування динамічними об’єктами з нечіткими параметрами із застосуванням алгебро-логічного методу R-функцій;

- на базі запропонованого методу *розробити спосіб* керування у часі динамічними об’єктами з нечіткими параметрами шляхом відстеження траєкторії руху “точки” станів системи по одержаній поверхні поведінки.

- провести аналіз різновидів форм поверхонь поведінки систем керування з нечіткими параметрами з метою унаочнення поверхонь поведінки, які відображають реакції системи на обраній комбінації вхідних параметрів;

- розробити програмну реалізацію запропонованого методу і способів;

- здійснити впровадження результатів дослідження в практику.

Об’єктом дослідження є процес керування нелінійними динамічними об’єктами з нечіткими вхідними параметрами.

Предметом дослідження є геометричні моделі поверхонь поведінки систем керування нелінійних динамічних з нечіткими параметрами.

Методи досліджень. Для розв’язання задач використовуються методи теорії нечітких множин, нечіткої логіки, теорії особливостей відображень та теорії

R-функцій, елементи прикладної геометрії та обчислювальної математики, а також система комп’ютерної математики Maple для одержання розв’язків у аналітичному вигляді.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше запропоновано метод побудови *геометричних моделей поверхонь* поведінки динамічних систем з нечіткими параметрами, складовими частинами чого є:

- аналітичний опис за допомогою R-функцій базових функцій належності;

- розробка набору нечітких правил та аналітичний опис за допомогою R-функцій результату їх виконання;

- формування аналітичного опису області можливих розв’язків задачі;

- побудова поверхонь поведінки, перехідних процесів та фазових портретів систем керування динамічними об’єктами з нечіткими параметрами.

2. На базі запропонованого методу вперше розроблено спосіб керування у часі динамічними об'єктами з нечіткими параметрами шляхом відстеження траєкторії руху “точки” миттєвих станів системи по поверхні поведінки.

3. На базі запропонованого методу розроблено способи керування:

- кондиціонером, де метою є запобігання небажаних температурних флуктуацій;

- системою “кран – вантаж на баржі - платформа”, де метою є мінімізація часу розвантаження з обмеженням на амплітуду розгойдування вантажу;

- оберненим маятником, вісь якого закріплена на рухомому візку, де метою є забезпечення рівноваги маятника шляхом переміщення візка.

На відміну від відомих методів керування об'єктами з нечіткими параметрами, запропонований спосіб дозволяє здійснювати описи поверхонь поведінки на аналітичному рівні, що є ефективним засобом для подальшого аналізу і дослідження явища, яке моделюється. Запропонований спосіб є загальним для різних видів систем керування, і дозволяє будувати розв'язки для достатньо широкого кола систем керування з нечіткими параметрами.

Робота виконана в рамках **напрямків досліджень** спеціальності 05.01.01 – Прикладна геометрія, інженерна графіка, а саме, розроблений у роботі метод побудови геометричних моделей поверхонь поведінки нелінійних динамічних систем з нечіткими параметрами, відповідає напрямку паспорта спеціальності – *“геометричні основи комп'ютерного дослідження та конструювання”*.

Вірогідність та обґрунтованість результатів підтверджується аналітичним доведенням тверджень, одержаними за допомогою комп'ютера зображеннями поверхонь поведінки систем керування з нечіткими параметрами, а також дієздатністю запропонованих систем керування з нечіткими параметрами.

Практичне значення одержаних результатів дисертації полягає в спроможності на її основі будувати адекватні моделі систем керування з нечіткими параметрами. Це досягається завдяки розробленому методу побудови поверхонь поведінки систем керування та відображення їх характеристик у фазовому просторі, реалізації алгоритму нечіткого висновку, на основі чого складено Maple-програми і наведено рекомендації щодо їх практичного застосування. Метод розрахунку і програми прийнято до впровадження в АТЗТ “Важпроматоматика” та у навчальному процесі кафедри нарисної геометрії і графіки НТУ “ХП”.

Особистий внесок здобувача. Особисто автор запропонувала графоаналітичний метод синтезу систем керування з нечіткими параметрами з унаочненням поверхонь поведінки, перехідних процесів, фазових портретів, а також склала у середовищі пакету Maple версії програмного забезпечення побудови поверхонь поведінки систем керування з нечіткими параметрами.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на:

- науковому семінарі кафедри нарисної геометрії та графіки НТУ “ХП” під керівництвом к.т.н., проф. А.М.Краснокутського (м. Харків, 2004 - 2006 рр.);

- міській секції графіки під керівництвом д.т.н., проф. Ю.М.Тормосова (м. Харків, 2006 р);

- науковому семінарі кафедри нарисної геометрії, інженерної і машинної графіки ДНТУ під керівництвом д.т.н., проф. І.А.Скидана (м. Донецьк, 2006 р.);
- науковому семінарі кафедри прикладної математики та математичного моделювання ХНТУ під керівництвом д.т.н., проф. А.Н.Хомченка (м.Херсон,2006 р.);
- другій науково-практичній конференції “Геометричне і комп’ютерне моделювання: енергозбереження, екологія, дизайн” (м. Сімферополь, 2005 р.);
- україно-російській науково-практичній конференції “Сучасні проблеми геометричного моделювання” (м. Харків, 2005 р.);
- науково – практичній конференції “Сучасні проблеми геометричного моделювання” (м. Дніпропетровськ, 2006 р.).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 12 робіт, 11 з них у виданнях, які рекомендовано ВАК України. Усі роботи підготовані автором одноосібно.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 125 найменувань та додатків. Робота містить 164 сторінки машинописного тексту та 52 рисунки.

ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ містить загальну характеристику роботи. Обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та задачі досліджень. Показано наукову новизну і практичну цінність запропонованих рішень.

У **першому розділі** виконано огляд способів геометричного моделювання для аналізу поведінки динамічних систем з метою модифікацій їх систем керування різними динамічними об’єктами. Відмічено *зручність використання геометричних моделей* як для розробки систем керування динамічними об’єктами зі зворотнім зв’язком, так і для обирання методів проектування, які здатні регулювати їхню поведінку відповідно до наперед заданих критеріїв якості.

Зазначено, що характери реальних явищ та процесів є нелінійними. Вони характеризуються наявністю граничного циклу та періодичних незатухаючих коливань, множиною станів рівноваги, явищами стрибкоподібних змін поведінки, тощо. Створення таких систем вимагає використання елементів теорії нечітких множин з нечіткою логікою та теорії особливостей відображень (рис. 1). Тому природним буде застосування геометричних моделей для аналізу поведінки динамічних систем та можливості здійснення на цій основі процесу керування системою шляхом відстеження траєкторії руху “точки” миттєвих станів системи по одержаній поверхні поведінки.

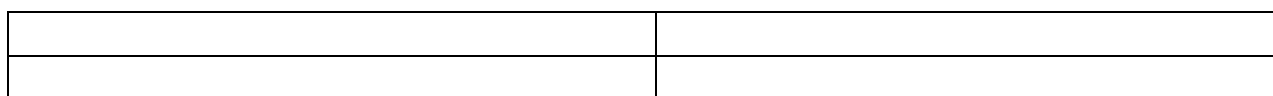


Рис. 1. Явище стрибкоподібних змін у нелінійних системах та його графічний аналог у теорії особливостей відображень

В основу роботи покладено підхід, який спирається на теорію нечітких множин. Зазначено, що цей підхід дає хоча наближені, але ефективні засоби керування поведінкою складних і погано визначених систем, для яких непридатні методи класичного математичного аналізу. Тому в роботі розглянуто системи нечіткого керування (ІР-керування), що мають в якості алгоритму керування – алгоритм нечіткого висновку, заснований на теорії нечітких множин та нечіткої логіки. Розглянуто загальну систему ІР-керування та її модифікації, яка складається з об'єкта керування та ІР-регулятора з нечіткою вхідною інформацією. (рис. 2).

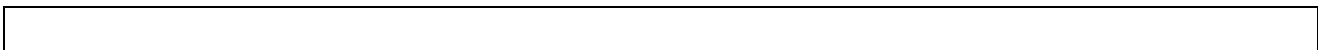


Рис. 2. Система ІР-керування

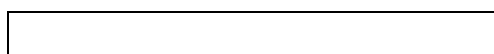


Рис. 3. Схема алгоритму ІР-регулятора

В свою чергу, до складу ІР-регулятора входять (рис. 3): база знань, яка містить набір лінгвістичних змінних та нечіткі правила, блок переходу від виходу об'єкта керування до лінгвістичних змінних (фазифікація), блок прийняття рішень (алгоритм нечіткого висновку) та блок переходу від невизначеності до конкретного чисельного вихідного вирішення задачі (дефазифікація). Алгоритм нечіткого висновку має три етапи: агрегування підумов – вибір правил з бази знань, що відповідні до вхідних даних; активізація підвисновків – виявлення міри істинності умов за кожним з обраних правил; акумулювання заключень – формування множини варіантів поведінки регулятора. Зазначено, що кожен крок алгоритму можна проілюструвати зображеннями. Тому доцільним буде застосування математичного процесора Maple, який має розвинену графічну складову, і до того ж, дозволяє одержувати розв'язки у аналітичному вигляді.

Виконаний у роботі огляд способів геометричного моделювання для аналізу поведінки динамічних систем з метою модифікацій їх систем керування показав доцільність розробки математичного забезпечення алгоритмів *опису і побудови геометричних моделей поверхонь поведінки* динамічних систем з нечіткими параметрами для можливості здійснення на цій основі процесу керування системою шляхом відстеження траєкторії руху “точки” миттєвих станів системи по поверхні поведінки.

В **другому розділі** розглянуто новий метод побудови *геометричних моделей поверхонь* поведінки динамічних систем з нечіткими параметрами, до складу якого входить аналітичний опис за допомогою R-функцій базових функцій належності; розробка набору нечітких правил та аналітичний опис за допомогою R-функцій результату їх виконання; формування аналітичного опису області можливих розв'язків задачі; побудова поверхонь поведінки, перехідних процесів та фазових портретів систем керування динамічними об'єктами з нечіткими параметрами.

Розроблено способи опису конкретних функцій належності для окремих лінгвістичних змінних. Для кожної змінної складаються набори лінгвістичних термів (окремих нечітких значень) вже з базових функцій належності (ФН) (рис. 4), які в роботі описані аналітично за допомогою R-функцій.

Трикутна ФН		Трапецієподібна ФН	
ФН Гаусса	Дзвонувата ФН	Сигмоїдальна ФН	
Z-поліноміальна ФН	π -поліноміальна ФН	S-поліноміальна ФН	

Рис. 4. Геометричні форми та назви базових функцій належності

Етап розробки набору нечітких правил та аналітичного опису за допомогою R-функцій результату їх виконання здійснюється традиційно, коли для вибору раціонального варіанту поведінки IP-регулятора, за допомогою процесу дефаззифікації, перебираються усі можливі варіанти, що отримані при реалізації алгоритму нечіткого висновку. Процес дефаззифікації здійснюється на основі одного з методів (центра тяжіння – центроїд площі, центру площі, лівого, середнього та правого модального максимуму). Вибраний раціональний варіант, в якості сигналу керування, подається на об'єкт керування, а їх сукупність для усіх можливих комбінацій вхідних даних формують поверхню раціональної поведінки IP-регулятора.

Формування аналітичного опису області можливих розв'язків задачі та побудови поверхонь поведінки, перехідних процесів та фазових портретів систем керування динамічними об'єктами з нечіткими параметрами в роботі здійснено на прикладах конкретно розв'язаних задач.

Однією з них є розробка системи регулювання температури у ємності устаткування у галузі хімічних технологій за допомогою “кондиціонера” (назва умовна).

Особливістю технології є те, що дестабілізуючим фактором є температура зовні ємності, яка

Рис. 5. Функціональна схема керування “кондиціонером” технологічного

може різко змінюватися в широких межах непередбачуваним чином (рис. 5). Вважається, що на систему керування із датчиків надходять сигнали для двох змінних: температури в ємності ($T, ^\circ\text{C}$, з умовними градаціями T1-холодно, T2-прохолодно, T3-нормально, T4-тепло, T5-гаряче) та швидкість її зміни ($S = \frac{dT}{dt}, ^\circ\text{C}/\text{хв.}$, з умовними градаціями S1-зменшення, S2-нульова, S3-збільшення). Вихідною змінною IP-регулятора є кут повороту регулятора температури відносно точки, у якій він вважається вимкненим.

Було розроблено комплекс програм для середовища математичного процесора Maple, за допомогою якого реалізовано алгоритм нечіткого висновку та сформовано чітке (чисельне) розв'язання задачі дефаззифікації (рис. 6). Для

визначеності наведемо приклади одержаних результатів обчислень за допомогою методів: 18.05 (лівого модального максимуму); 24.75 (середнього модального максимуму); 67.55 (правого модального максимуму); 24.92 (центру тяжіння).

(-18.99, 0) (68.99,0) (67.55, 0.05) (-18.05, 0.05)	
--	--

Рис. 6. Результат виконання алгоритму нечіткого висновку

В роботі одержано варіанти поведінки IP-регулятора при усіх можливих комбінаціях вхідних параметрів, що формують поверхні поведінки, у залежності від обраного методу дефаззифікації. Наголошено, що ці поверхні описано в аналітичному вигляді (у Maple-кодах). Аналітичні описи поверхонь поведінки тут не наводяться з причини їх громіздкості. На рис. 7 наведено поверхні поведінки в залежності від методів дефаззифікації: а) лівого модального максимуму; б) середнього модального максимуму; в) правого модального максимуму; г) центру тяжіння. На рис. 8 наведено поверхню поведінки, яка є результатом комбінації усіх чотирьох методів. Тут і далі на рисунках через x позначено температуру, через y – швидкість зміни температури.

а)	б)
в)	г)

Рис. 7. Форми геометричних моделей поверхонь поведінки, одержаних для різних методів дефаззифікації

На базі запропонованого методу вперше розроблено спосіб керування у часі динамічними об'єктами з нечіткими параметрами шляхом відстеження траєкторії руху “точки” миттєвих станів системи по поверхні поведінки (рис. 9).

Рис. 8. Результати комбінації усіх чотирьох методів	Рис. 9. Траєкторія руху “точки” миттєвих станів системи по поверхні поведінки
---	---

У **третьому розділі** на основі запропонованого методу розглянуто спосіб керування у часі динамічними об'єктами з нечіткими параметрами шляхом відстеження траєкторії руху “точки” миттєвих станів системи по поверхні поведінки. Для прикладу розробимо стратегії керування об'єктом “перевернутий маятник на візку” (рис. 10), для якого характерна нестійкість становища

рівноваги. Задача полягає у визначенні переміщень візка, які б запобігали падінню маятника.

Рис. 10. Схема “перевернутий маятник на візку” та сили, що на нього впливають

Спочатку розв’язання цієї задачі було здійснено класичним методом оптимального керування у середовищах двох програмних продуктів MatLab та Maple (для порівняння).

Математична модель являла собою систему диференційних рівнянь:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= x_3; \quad \dot{x}_2(t) = x_4; \quad \dot{x}_3(t) = u; \\ \dot{x}_4(t) &= \frac{g}{L'} \sin(x_2) - \frac{1}{L'} \cos(x_2) u; \\ x_1 &= s; \quad x_2 = \varphi; \quad x_3 = \dot{s}(t); \quad x_4 = \dot{\varphi}(t); \\ L' &= \frac{J + mL^2}{mL}, \end{aligned}$$

де обрано наступні позначення: s – переміщення осі маятника; φ – кут відхилення маятника; m – маса маятника; L – відстань між віссю та центром тяжіння; J – момент інерції маятника; mg – сила гравітації в центрі тяжіння; H – горизонтальна сила реакції осі маятника; V – вертикальна сила реакції осі маятника.

Оскільки цей об’єкт є багатозв’язним нелінійним динамічним об’єктом, то процедура аналітичного конструювання оптимального регулятора складається з процесу лінеаризації його моделі, що в принципі вже робить її менш адекватною, та визначення коефіцієнтів обернених зв’язків регулятора шляхом розв’язку векторно-матричного рівняння Ріккати у вигляді

$$C^T \cdot Q \cdot C - P \cdot B \cdot R^{-1} \cdot B^T \cdot P + P \cdot A + A^T \cdot P = 0.$$

Аналіз застосування двох програмних продуктів MatLAB та Maple для розв’язання задачі пошуку коефіцієнтів обернених зв’язків оптимального регулятора дозволив зробити висновок про доцільність використання розробленого комплексу Maple-програм для розв’язання поставленої задачі.

Розраховані коефіцієнти оптимального регулятора сформували систему керування об’єктом “перевернутий маятник на візку” та надали змогу отримати результати у вигляді фазових портретів (рис. 11). Проаналізовано графічні залежності поведінки системи оптимального керування для усіх параметрів системи, а саме: перехідні процеси при наявності одного додатного відхилення маятника від осі рівноваги та двох різноспрямованих відхилень, тривимірний фазовий портрет, що відображає розвиток у часі зв’язку між параметрами, при виході системи зі стану рівноваги, та його проекції на координатні площини, що являють собою двовимірний фазовий портрет та два перехідних процесів, відповідно.

Рис. 11. Взаємозв'язок параметрів
“кут відхилу від положення рівноваги” та “швидкість візка”

Після виконання алгоритму нечіткого висновку і проведення дефаззифікації, побудовано декілька варіантів поверхні раціональної поведінки системи ІР-керування, аналіз яких показав, що найбільш адекватним для даного випадку є метод дефаззифікації центру тяжіння. У випадку підключення регулятора до моделі об'єкту було отримано замкнену систему ІР-керування. В роботі розглянуто та проаналізовано відповідні зображення перехідних процесів у системі (рис. 12), фазові портрети поведінки динамічної системи ІР-керування, а також поведінки ІР-регулятора при різних видах дефаззифікації (рис. 13).

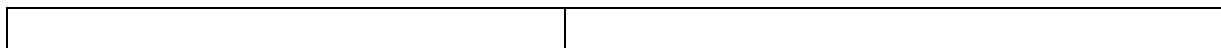
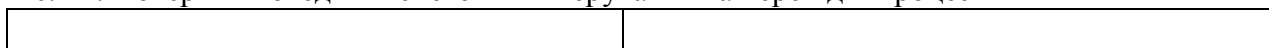
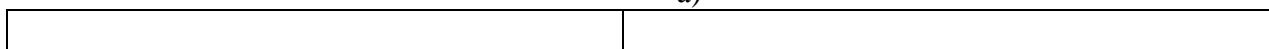


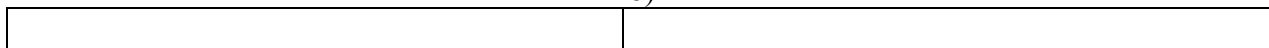
Рис. 12. Поверхня поведінки системи ІР-керування та перехідні процеси в ній



а)



б)



в)

Рис. 13. Поведінка ІР-регулятора при дефаззифікації:

а) методом центра тяжіння; б) методом правого модального максимуму; в) методом
лівого модального максимуму

Особливу увагу в роботі було звернуто на функціонування системи на оптимальних та допустимих режимах, для чого запропоновано виконувати переріз раціональної поверхні поведінки регулятора площинами рівня. На рис. 14 - 16 представлений переріз поверхні поведінки ІР-регулятора відповідно площиною оптимальної поведінки, межами допустимої поведінки (за умови $\pm 20\%$ потужності регулятора) та їх обох, а також відповідні проекції на площину вхідних параметрів.

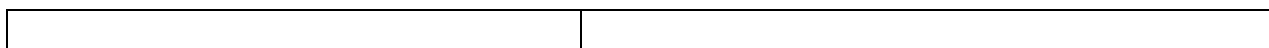


Рис. 14. Переріз поверхні поведінки ІР-регулятора площиною
оптимальної поведінки та її проекція на площину параметрів

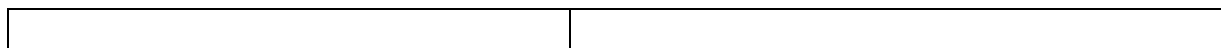


Рис. 15. Переріз поверхні поведінки ІР-регулятора межами допустимого
функціонування ($\pm 20\%$) та їх проекція на площину параметрів

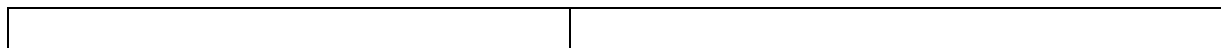


Рис. 16. Переріз поверхні поведінки ІР-регулятора площиною оптимального
та межами допустимого функціонування і їх проекція на площину параметрів

У четвертому розділі представлено можливе впровадження одержаних результатів дисертації для розрахунку двох різних систем - стабілізації нестійких об'єктів та позиціонування. При цьому наголошується, що дисертація присвячена саме геометричним

питанням вибору стратегії керування, а не технологічним питанням конструювання відповідного обладнання.

Тестовим прикладом випробовування розробленої системи стабілізації нестійких об'єктів є комбінація об'єктів “рухомий візок – перевернутий маятник”, розглянутий у розділі 3. На рис. 17 а та на рис. 17 б зображено одержану поверхню поведінки ІР-регулятора та її переріз площинами оптимальної та допустимої поведінки відповідно.

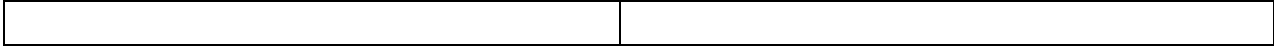


Рис. 17. Фазові портрети для аналізу поведінки маятника на візку

Аналіз поверхонь поведінки ІР-регулятора (рис. 17), одержаних на основі розробленого методу, показало, що при збільшенні кута відхилення від положення рівноваги настає перехід від оптимального режиму функціонування до допустимої межі. Далі проходить вихід до межі критичного режиму функціонування та при подальшому невеликому зростанні кута відхилення система не може задовольняти критеріям якості та, відповідно, не може функціонувати.

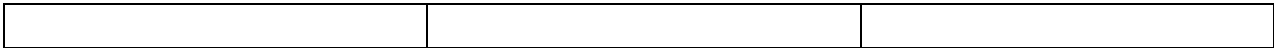
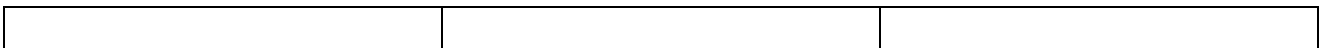
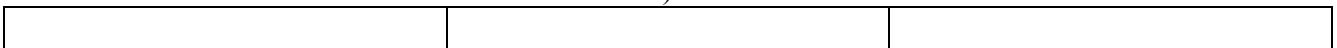


Рис. 18. Проекції фазових портретів на поверхню поведінки для кутів відхилення маятника: а) $\varphi = \pm 25^\circ$; б) $\varphi = \pm 26.85^\circ$; в) $\varphi = \pm 27^\circ$

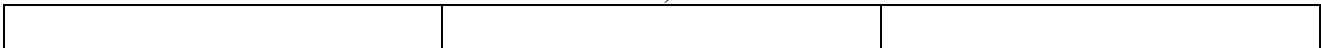
Найбільшу увагу звернено на виникнення можливості накладання фазового портрету саме на поверхню поведінки регулятора (рис. 18), та перерізу його площинами оптимального та допустимого режимів функціонування (рис. 19). Саме це дозволило, за допомогою графічних зображень та геометричних методів оцінити якість функціонування системи ІР-керування на базі відстеження траєкторії руху “точки” миттєвих станів системи по поверхні поведінки: час виходу на допустимий, критичний та “катастрофічний” режими функціонування, максимальне та мінімальне значення сигналу керування тощо.



а)



б)



в)

Рис. 19. Проекції фазових портретів поведінки системи на площину параметрів та поверхню поведінки для кутів відхилення маятника:

а) $\varphi = \pm 25^\circ$; б) $\varphi = \pm 26.85^\circ$; в) $\varphi = \pm 27^\circ$.

Прикладом системи позиціонування є комбінація об'єктів “портовий кран - вантаж на баржі - платформа” (рис. 20).

Можна вибрати дві граничні стратегії переміщення вантажу на платформу: кран повинен рухатися повільно, щоб не розгойдувати вантаж, але час використання крану дуже дорогий; переміщення вантажу робити при максимальній швидкості, а потім чекати над платформою, коли він перестане гойдатись, що позначиться на якості вантажу.

Показано можливість поєднання цих протилежних стратегій за допомогою застосування системи ІР-керування. Для цього сформована база знань, у даному випадку з 9 нечітких правил. Для кожної з обраних вхідних та вихідної лінгвістичних змінних, призначено

Рис. 20. Схема об'єкту керування
“кран – вантаж на баржі – платформа”

по 5 термів, з відповідними функціями належності для відстані, для кута відхилення вантажу та потужності крана.

Далі, за алгоритмом нечіткого висновку, проведені процеси агрегування, активізації та акумулювання правил, на підставі яких шляхом дефазифікації знаходиться точка поверхні поведінки, що відповідає раціональній стратегії поведінки системи. Сукупність усіх раціональних значень сигналу керування на множині вхідних параметрів сформували поверхню поведінки IP-регулятора.

Як приклад демонстрації функціонування системи IP-керування, а також та для аналізу її поведінки на одержано результати виконання алгоритму нечіткого висновку для трьох методів дефазифікації: метода центра тяжіння, а також методів правого або лівого модального максимуму для пари вхідних параметрів: відстань до цілі 20 м, кут відхилення -15° (вантаж позаду крана).

Аналіз результатів показав, що конфігурація поверхні поведінки IP-регулятора, залежить від застосованого методу дефазифікації. Методи правого та лівого модального максимуму, у зв'язку з східчастістю їхньої поверхні, близькі до граничних умов застосування системи IP-керування, а метод центру площі дає осереднений результат, що передбачає більш поширене його використання на практиці. За допомогою одержаних результатів можна сформулювати рекомендації стосовно стратегії керування системою позиціонування “портовий кран - вантаж на баржі - платформа”. При цьому з'являється можливість анімаційної інтерпретації поведінки IP-регулятора в процесі дефазифікації його вихідних параметрів різними методами. Тобто ще на стадії проектування можна одержувати форму раціональної поверхні поведінки системи керування, без підключення її до реального об'єкта, та отримати результати, за якими можна зробити висновок про характеристики систем IP-керування на всій множині вхідних параметрів.

Метод розрахунку і програми прийнято до впровадження в АТЗТ “Важпроматоматика” та у навчальному процесі НТУ “ХП”.

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

На основі проведених у даній дисертаційній роботі досліджень розв'язана важлива науково-технічна задача керування різновидом нелінійної динамічної системи з нечіткими параметрами. Для цього розроблено новий метод побудови геометричних моделей поверхонь поведінки динамічних систем з нечіткими параметрами. Метод дозволяє керувати у часі динамічними об'єктами з нечіткими параметрами шляхом наочного відстеження траєкторії руху “точки” миттєвих станів системи по поверхні поведінки цієї системи.

Значення для науки полягає в запропонованих прийомах геометричного моделювання систем керування нелінійними динамічними системами та унаочнення процесів їх поведінки при нечітких вихідних параметрах.

Значення для практики полягає в скороченні термінів та витрат при розробці системи керування, а також підвищенні надійності систем керування, що забезпечує раціональну експлуатацію динамічних об'єктів.

При цьому отримано результати, що мають науково-практичну цінність.

1. Аналіз існуючих методів керування у часі об'єктами з нечіткими параметрами показав, що вони, як правило, не спираються на аналітичний опис поверхонь поведінки нелінійних динамічних систем, а також в повній мірі не використовують їх геометричні моделі для виробки стратегії керування.

2. Розв'язання поставленої науково-технічної задачі полягає в розробці нового методу побудови геометричних моделей поверхонь поведінки динамічних систем з нечіткими параметрами, який дозволяє:

- здійснювати в середовищі пакету Maple за допомогою R-функцій аналітичний опис базових функцій належності;

- складати набори нечітких правил, та виконувати за допомогою R-функцій аналітичні описи результатів їх виконання;
- складати алгоритми нечіткого висновку та формувати аналітичні описи областей можливих розв'язків задачі;
- будувати поверхні поведінки, графіки перехідних процесів та зображення фазових портретів систем керування об'єктами з нечіткими параметрами.

Запропонований спосіб дозволяє здійснювати описи поверхонь поведінки на аналітичному рівні, що є ефективним засобом для подальшого аналізу і дослідження явища, яке моделюється, а також дозволяє будувати розв'язки для достатньо широкого кола систем керування з нечіткими параметрами.

3. На основі запропонованого методу вперше розроблено спосіб керування у часі динамічними об'єктами з нечіткими параметрами шляхом відстеження траєкторії руху "точки" миттєвих станів системи по поверхні поведінки. В роботі розроблено конкретні приклади керування:

- кондиціонером, для підтримки заданої температури в ємності устаткування;
- системою "кран – вантаж на баржі - платформа", з метою мінімізації часу розвантаження з обмеженням на амплітуду розгойдування вантажу;
- оберненим маятником, вісь якого закріплена на рухомому візку, з метою забезпечення рівноваги маятника шляхом переміщення візка.

4. Здійснено впровадження. Метод розрахунку і програми прийнято до впровадження в АТЗТ "Важпромавтоматика", та у навчальному процесі кафедри нарисної геометрії і графіки Національному технічному університеті "ХПІ" в курсі "Геометричне і комп'ютерне моделювання".

5. Подальший розвиток запропонованих досліджень можливо провадити в напрямку суттєвого ускладнення нелінійності геометричних моделей поверхонь поведінки динамічних систем з нечіткими параметрами, та коли виникає потреба виконувати обробку експертних знань на рівні лінгвістичних формулювань. Можливі впровадження доцільно здійснювати у системах розпізнавання, у виробничих процесах, у керуванні метрополітенами, при складанні розкладу руху автобусів, тощо.

Основні положення дисертації опубліковано в таких роботах:

1. *Бобова О.С.* Основи керування динамічними системами з використанням геометричних інтерпретацій // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К.: КНУБА, 2004. – Вип. 74. – С. 250-255.
2. *Бобова Е.С.* К вопросу исследования нестандартных задач модального управления путем их синтеза в среде пакета VISUAL SIMULATOR // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Харків: ХДУХТ, 2002. – Вип. 2. – С. 125-129.
3. *Бобова О.С.* Комп'ютерне проектування систем управління електроприводом // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Харків: ХДУХТ, 2003. – Вип.3. – С.82-86.
4. *Бобова О.С.* Геометричне моделювання перехідних процесів у динамічних системах // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Харків: ХДУХТ, 2004. – Вип. 4. – С. 130-136.
5. *Бобова О.С.* Визначення інтерпретацій керування динамічними системами // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Харків: ХДУХТ, 2004. – Вип. 5. – С. 101-105.
6. *Сидоренко О.С.* Керування динамічними системами з нечіткими вихідними даними та нелінійними елементами методами геометричного моделювання // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К.: КНУБА, 2005. – Вип. 75. – С. 199- 206.
7. *Сидоренко О.С.* Використання нечіткої логіки при моделюванні поведінки динамічного об'єкту з нечіткими вхідними даними // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь: ТДАТА, 2006. – Вип. 4. – Т. 31. – С. 100-108.

8. Сидоренко О.С. Геометричне моделювання систем керування об'єктами з нечіткими параметрами // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Дніпропетровськ, 2006. – Вип. 3(44). – С. 98-102.

9. Сидоренко О.С. Методи теорії нечітких множин та геометричного моделювання в задачах керування динамічними системами з нечіткими параметрами // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Харків: ХДУХТ, 2004. – Вип. 8. – С. 120-128.

10. Сидоренко О.С. Геометричне моделювання процесу керування динамічними системами з нечіткими параметрами // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Харків: ХДУХТ, 2005. – Вип. 10. – С. 104-111.

11. Сидоренко О.С. Керування нелінійними динамічними системами засобами теорії нечітких множин // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Харків: ХДУХТ, 2005. – Вип. 11. – С. 126-132.

12. Сидоренко О.С. Геометричне моделювання систем автоматизованого керування динамічними об'єктами з детермінованими та нечіткими параметрами. // Геометричне та комп'ютерне моделювання – Харків: ХДУХТ, 2006. – Вип.14. – С. 162-169.

Сидоренко О.С. Геометричне моделювання поведінки динамічних систем з нечіткими параметрами. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.01 – Прикладна геометрія, інженерна графіка. – Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна, 2007.

Дисертація присвячена розв'язанню важливої науково-технічної задачі керування різновидом нелінійної динамічної системи з нечіткими параметрами. Для цього розроблено новий метод побудови геометричних моделей поверхонь поведінки динамічних систем з нечіткими параметрами. Метод дозволяє керувати у часі динамічними об'єктами з нечіткими параметрами шляхом наочного відстеження траєкторії руху “точки” миттєвих станів системи по поверхні поведінки цієї системи.

Новий метод побудови геометричних моделей поверхонь поведінки динамічних систем з нечіткими параметрами дозволяє: здійснювати в середовищі пакету Maple за допомогою R-функцій аналітичний опис базових функцій належності; складати набори нечітких правил, та виконувати за допомогою R-функцій аналітичні описи результатів їх виконання; складати алгоритми нечіткого висновку та формувати аналітичні описи областей можливих розв'язків задачі; будувати поверхні поведінки, графіки перехідних процесів та зображення фазових портретів систем керування об'єктами з нечіткими параметрами. На основі запропонованого методу розроблено спосіб керування у часі динамічними об'єктами з нечіткими параметрами шляхом відстеження траєкторії руху “точки” миттєвих станів системи по поверхні поведінки. Розроблено конкретні приклади керування: кондиціонером, для підтримки заданої температури в ємності хімічного устаткування; системою “кран – вантаж на баржі - платформа”, з метою мінімізації часу розвантаження з обмеженням на амплітуду розгойдування вантажу; оберненим маятником, вісь якого закріплена на рухомому візку, з метою забезпечення рівноваги маятника шляхом переміщення візка. Результати впроваджено на АТЗТ “Важпромавтоматика”, та у навчальному процесі кафедри НГГ НТУ “ХПІ”, що підтверджується відповідними довідками.

Ключові слова: динамічні системи, нечіткі множини, нечітка логіка, геометричне моделювання, поверхня поведінки, наочність, нелінійні змінні.

Сидоренко Е.С. Геометрическое моделирование поведения динамических систем с нечеткими параметрами. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.01.01 – Прикладная геометрия, инженерная графика. – Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев, Украина, 2007.

Диссертация посвящена решению важной научно-технической задачи управления разнообразностью нелинейных динамических систем с нечеткими параметрами. Для этого разработан новый метод построения геометрических моделей поверхностей поведения динамических систем с нечеткими параметрами. Метод позволяет управлять во времени объектами с нечеткими параметрами путем наглядного отслеживания траектории движения “точки” мгновенных состояний системы по поверхности поведения этой системы.

Новый метод построения геометрических моделей поверхностей поведения динамических систем с нечеткими параметрами позволяет: осуществлять в среде системы компьютерной математики Maple при помощи R-функций аналитическое описание базовых функций принадлежности; составлять наборы нечетких правил, и выполнять с помощью R-функций аналитическое описание результатов их выполнения; составлять алгоритмы нечеткого вывода и формировать аналитические описания областей возможных решений задачи; строить поверхности поведения, графики переходных процессов и изображения фазовых портретов функционирования систем управления объектами с нечеткими параметрами. На основе предложенного метода разработан способ управления во времени динамическими объектами с нечеткими параметрами путем отслеживания траектории движения “точки” мгновенных состояний системы по поверхности поведения. Формирование аналитического описания области возможных решений задачи и построение поверхностей поведения, переходных процессов и фазовых портретов систем управления динамическими объектами с нечеткими параметрами в работе осуществлено на примерах конкретно разрешимых задач.

В работе получены варианты поведения IP-регулятора при всех возможных комбинациях входных параметров, которые формируют поверхности поведения, в зависимости от избранного метода дефаззификации. Приведены найденные в аналитическом виде поверхности поведения в зависимости от методов дефаззификации: а) левого модального максимума; б) среднего модального максимума; в) правого модального максимума; г) центра тяготения. Аналитические описания поверхностей поведения в автореферате не приводятся по причине их громоздкости. В работе приведены примеры поверхностей поведения, которые являются результатом комбинации всех четырех методов. Особое внимание в работе было обращено на функционирование системы на оптимальных и допустимых режимах, для чего предложено выполнять перерез рациональной поверхности поведения регулятора плоскостями уровня. Приведено множество сечений поверхности поведения IP-регулятора, соответственно, плоскостью оптимального поведения, границами допустимого поведения (при условии 20% мощности регулятора) и их обеих, а также соответствующие проекции на плоскость входных параметров и саму поверхность поведения регулятора.

Разработаны конкретные примеры управления: кондиционером, для устранения флуктуации температуры в емкости химической установки; системой “подъемный кран - груз на барже - платформа”, с целью минимизации времени разгрузки с ограничением на амплитуду раскачивания груза; обратным маятником, ось которого закреплена на подвижной тележке, с целью обеспечения равновесия маятника путем перемещения тележки.

В работе предпринята попытка установить связь между современной теорией управления и методами теории геометрического моделирования. Наличие графических изображений показало возможности геометрического моделирования поведения динамических систем с нечеткими параметрами в виде поверхностей поведения IP-регуляторов, переходных процессов в системе и фазовых портретов развития процесса функционирования системы.

Преимуществом рассмотренного метода является то, что появляется возможность анимационной интерпретации поведения IP-регулятора в процессе дефаззификации его исходных параметров разными методами. Еще на стадии проектирования можно получить

форму рациональной поверхности поведения системы управления, без подключения ее к реальному объекту, и получить результаты, по которым и можно сделать вывод о характеристиках систем IP-управление на всем множестве входных параметров в соответствии с критериями качества.

Ключевые слова: динамические системы, нечеткие множества, нечеткая логика, геометрическое моделирование, поверхность поведения, наглядность, нелинейные переменные.

Sydorenko O.S. Geometric modeling of dynamic systems with fuzzy parameters behavior. – Manuscript.

Dissertation for acquiring a Candidate of Sciences scientific degree by discipline 05.01.01 – Applied Geometry, engineering graphics. – Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, 2007.

Dissertation is devoted to the decision of important scientific and technical task of management the variety of the nonlinear dynamic system with unclear parameters. For this purpose the new method of construction of geometrical models of surfaces of conduct of the dynamic systems is developed with unclear parameters. A method allows to manage in time by dynamic objects with unclear parameters by the evident watching of trajectory of motion of “point” of the instantaneous states of the system on the surface of conduct of this system.

The new method of construction of geometrical models of surfaces of conduct of the dynamic systems allows with unclear parameters: to carry out in an environment the systems of computers mathematics of Maple through R-functions analytical description of base functions of belonging; to make the sets of unclear rules, and to execute analytical descriptions of results of their implementation by R-functions; to make the algorithms of unclear conclusion and form analytical descriptions of areas of possible decisions of task; to build the surfaces of conduct, graphs of transitional processes and representing the portraits of phases of the control objects systems with unclear parameters.

On the basis of the offered method a management method is developed in time by dynamic objects with unclear parameters by watching of trajectory of motion of “point” of the instantaneous states of the system on the surface of conduct. The concrete examples of management are developed: by a conditioner, for the removal of fluctuation of temperature in an apartment; by the system “lifting faucet - container on a barge - platform”, with the purpose of minimization of unloading time with a limit on amplitude of loosening of load; by a reverse pendulum the axis of which is fastened on a mobile light cart, with the purpose of providing of equilibrium of pendulum by moving of light cart.

Keywords: dynamic systems, fuzzy sets, fuzzy logic, geometrical design, surface of conduct, evidentness, nonlinear variables.

Підписано до друку 04.04.2007 р.	Формат 60x80 1\16	Друк.
ризограф.	Ум. друк. арк. 1,25	Наклад 100
Вид. №	Зам. №	
УЦЗ України, 61023, м. Харків, вул. Чернишевського, 94.		