

11. Голуб Г.А. Техніко-технологічне забезпечення енергетичної автономності агроєкосистем / Г.А. Голуб // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2010. – Вип. 144, ч. 4. – С. 303–312.

Проведено моделювання гумусного стану ґрунту на основі потоків і запасів вуглецю гумусу в ґрунті і органічного вуглецю негумусної природи – органічних решток і органічних добрив.

Гумус, вуглець, агроєкосистема, автономність, продуктивність.

The modeling humus soil based flows and stocks of carbon in soil humus and organic carbon don't humus source – organic residues and organic fertilizers.

Humus, carbon, agroecosystem, autonomy, productiveness.

УДК 681.3

МЕТОД СИНТЕЗУ FUZZY-РЕГУЛЯТОРІВ

**В.С. Ловейкін, доктор технічних наук
Ю.О. Ромасевич, кандидат технічних наук**

Наведено опис системи fuzzy-регулювання. Складено базу правил для fuzzy-ПІ-регулятора. Запропоновано метод налаштування fuzzy-регулятора, який дозволяє зменшити вимоги до його апаратної та програмної частин та підвищити швидкодію.

Fuzzy-регулятор, база правил, апроксимація, алгоритм Мамдані, терм, функція приналежності.

Постановка проблеми. Одним із найпоширеніших регуляторів, який використовується у сучасних мехатронних системах, є нечіткий або fuzzy-регулятор [1]. Використання fuzzy-регулятора виправдане у тих випадках, коли відсутня математична модель об'єкта регулювання або коли наявний емпіричний матеріал (база експертних знань) про регулювання системи. У будь-якому випадку, одну і ту ж задачу регулювання мехатронної системи можна

© В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич, 2014

вирішити за допомогою як класичних так і некласичних регуляторів (fuzzy-регуляторів або регуляторів побудованих на базі штучних нейронних мереж) [2].

Однією з проблем, яка стоїть перед розробником fuzzy-регулятора, є вибір апаратного та програмного забезпечення, на базі якого буде функціонувати регулятор. При цьому необхідно враховувати вимоги щодо швидкодії цифрового обладнання (мікроконтролера) та об'єму його пам'яті. Це впливає з того, що при виконанні розрахунку вихідного сигналу fuzzy-регулятора, мікроконтролер повинен виконувати значну кількість логічних та арифметичних операцій. Зниження кількості розрахунків, які виконує мікроконтролер під час процесу регулювання, послаблює вимоги до апаратного та програмного забезпечення fuzzy-регулятора. Це дозволяє зменшити капітальні витрати на розробку регулятора.

Аналіз останніх досліджень. У сучасній науково-технічній літературі [3-6] досить детально висвітлені питання синтезу fuzzy-регуляторів. Всі fuzzy-регулятори працюють за класичною схемою „фазифікація – логічний висновок – дефазифікація”. Основним алгоритмом, який використовується у даній схемі, є алгоритм запропонований Мамдані [7].

Для задач моделювання та розробки нечітких регуляторів використовуються комп'ютерні програми Matlab/Simulink [8], Mathematica/FuzzyLogic [9], FuzzyTech [10] та інші. Широке використання пакетів розширення математичних програмних продуктів, в яких виконуються нечіткі обчислення, вказує на те, що вони необхідні інженерам-проектантам нечітких систем регулювання.

Мета досліджень. Метою є розробка методу налаштування fuzzy-регулятора, який забезпечує підвищення ефективності його роботи. Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

1. описати методику синтезу fuzzy-регулятора за допомогою відомих методів;
2. побудувати fuzzy-ПІ-регулятор на основі складеної бази знань;
3. дати опис методу визначення апроксимаційної функції вихідної змінної (вихідного сигналу) fuzzy-регулятора.

Результати досліджень. Реалізація алгоритму fuzzy-регулювання в мехатронних системах покладається на fuzzy-регулятор. Процедура побудови алгоритму fuzzy-регулювання представлена у вигляді структурної схеми на рис. 1.

Як і в будь-якій традиційній системі у складі системи з fuzzy-регулятором можна виділити систему регулювання і об'єкт регулювання. Сама система fuzzy-регулювання складається із

чотирьох блоків, що виконують послідовно (в три етапи) процедуру формування алгоритму регулювання як функції вихідної змінної u від вхідних змінних $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ (рис. 2). Блок фаззифікації (**Ff**) перетворює вхідні фізичні змінні ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) у терми A_i лінгвістичних змінних і виділяє для кожного моменту часу (для кожного часового такту) значення функції приналежності $\mu_i(x_i)$ для активізованих правил.

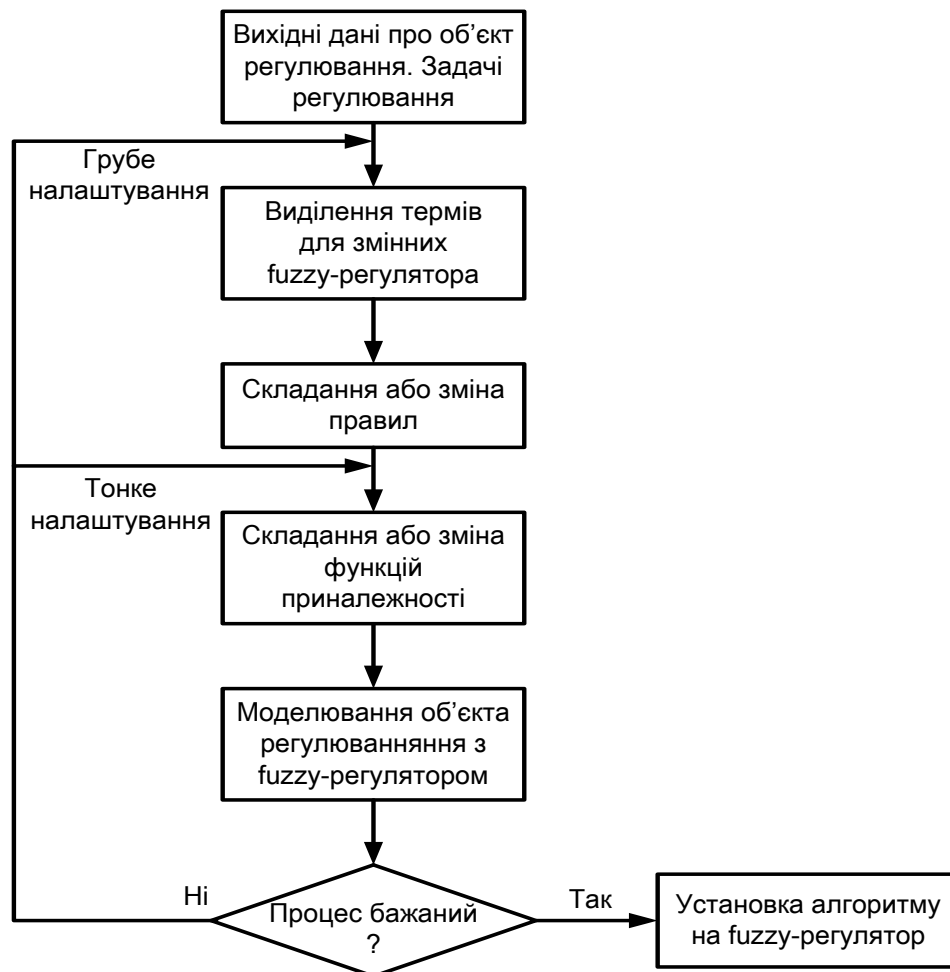


Рис. 1. Структурна схема побудови алгоритму fuzzy-регулятора.

Як і в будь-якій традиційній системі у складі системи з fuzzy-регулятором можна виділити систему регулювання і об'єкт регулювання. Сама система fuzzy-регулювання складається із чотирьох блоків, що виконують послідовно (в три етапи) процедуру формування алгоритму регулювання як функції вихідної змінної u від вхідних змінних $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ (рис. 2). Блок фаззифікації (**Ff**) перетворює вхідні фізичні змінні ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) у терми A_i лінгвістичних змінних і виділяє для кожного моменту часу (для кожного часового такту) значення функції приналежності $\mu_i(x_i)$ для активізованих правил.

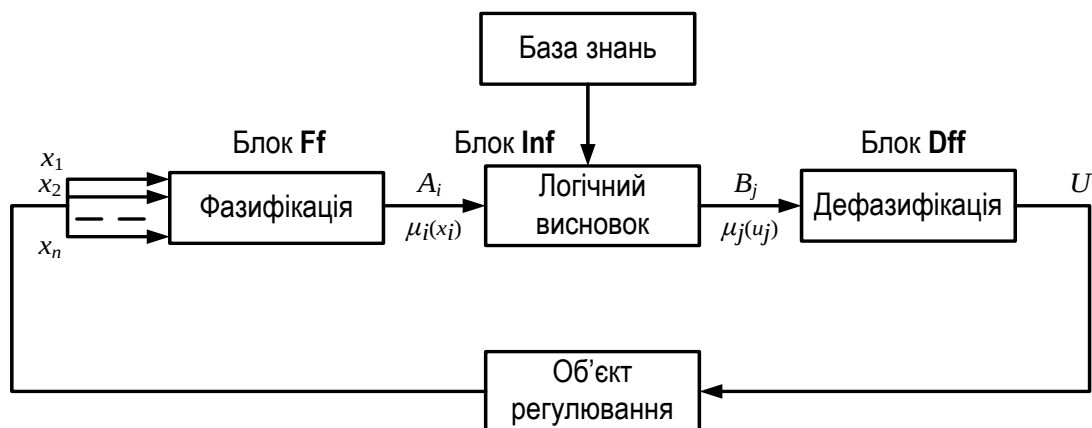


Рис. 2. Блочна структура системи fuzzy-регулювання.

Блок логічного висновку (**Inf**) відповідно до правил, закладених попередньо експертом в блок бази знань, визначає терми B_j вихідних лінгвістичних змінних й привласнює їм, згідно із принципами fuzzy-логіки, значення функцій приналежності $\mu_j(u_j)$.

Основу алгоритму fuzzy-регулювання становить масив правил, який знаходиться в блоці бази знань. Правила складаються експертом на підставі його розуміння завдання регулювання. Якщо мова йде про регульовану динамічну систему зі складним або неповним математичним описом, то за основу алгоритму регулювання може бути, наприклад, прийнята умова виконання системою заданого руху з мінімальним відхиленням від заданої швидкості. Правила перевіряються (експериментально або за допомогою розрахунку) і при необхідності корегуються. Додатково до масиву правил у склад алгоритму входять функції приналежності, що визначають кількісний взаємозв'язок фізичних змінних з лінгвістичними, тобто з термами. До форми функцій приналежності пред'являються мінімальні вимоги в силу наближеного принципу регулювання на основі fuzzy-логіки. Число функцій приналежності, що припадають на кожну фізичну змінну, вибирають із міркувань якості регулювання. Зі збільшенням числа функцій приналежності якість регулювання підвищується, однак при цьому ускладнюється алгоритм і підвищуються вимоги до його швидкодії. Наявний досвід побудови систем з fuzzy-регулюванням показав, що трьох-п'яти функцій приналежності для кожної вхідної змінної і п'яти-семи функцій приналежності для вихідної змінної виявляється досить для прийнятної якості регулювання. Розглянемо приклад ПІ-регулятора, який реалізований на базі fuzzy-логіки. Для цього розглянемо вхідні змінні: похибку параметра регулювання e , та її інтеграл $\int e dt$ (у

подальшому викладі матеріалу використано позначення $\int e dt = \gamma$).

При синтезі класичного ПІ-регулятора вихідний сигнал (вихідна змінна) визначається за наступним виразом:

$$u = k_p e + k_I \gamma, \quad (1)$$

де k_p та k_I – пропорційний та інтегральний вагові коефіцієнти відповідно, які показують важливість відповідної складової.

Проведемо фазифікацію вхідних та вихідної змінних. Для цього приймемо, що вхідні змінні fuzzy-регулятора мають по п'ять термів, а вихідна змінна – сім термів. Позначимо їх так: $NB_e, NS_e, Z_e, PS_e, PB_e$ – терми для змінної e ; $NB_\gamma, NS_\gamma, Z_\gamma, PS_\gamma, PB_\gamma$ – терми для змінної γ ; $NB_u, NM_u, NS_u, Z_u, PS_u, PM_u, PB_u$ – терми для вихідної змінної u . Не будемо наводити опис цих функцій приналежності, а лише побудуємо їх графіки (рис. 3).

При побудові графіків на рис. 3 прийнято, що Л-подібні функції приналежності до термів вхідних та вихідної змінної змінюються у межах від -1 до 1. Z- та S-подібні функції приналежностей змінних за межами діапазону [-1; 1] є постійними.

Наступний етап у процесі синтезу fuzzy-ПІ-регулятора – складання бази правил. Будемо використовувати правила, які подібні до тих, за якими працює класичний ПІ-регулятор. Всі правила представимо у вигляді табл. 1.

1. База лінгвістичних правил роботи fuzzy-ПІ-регулятора.

$\begin{matrix} e \\ \gamma \end{matrix}$	NB_e	NS_e	Z_e	PS_e	PB_e
NB_γ	PB_u	PB_u	PM_u	PS_u	Z_u
NS_γ	PB_u	PM_u	PS_u	Z_u	NS_u
Z_γ	PM_u	PS_u	Z_u	NS_u	NM_u
PS_γ	PS_u	Z_u	NS_u	NM_u	NB_u
PB_γ	Z_u	NS_u	NM_u	NB_u	NB_u

Для розрахунку вихідної змінної використаємо алгоритм Мамдані [7]. У результаті отримаємо, що вихідна змінна u є складною функцією вхідних змінних e та γ , а також функцій приналежності до термів вхідних та вихідної змінної.

При обчисленні вихідної змінної згідно алгоритму Мамдані необхідно: 1) встановити правила, які активізуються при поточних значеннях вхідних змінних; 2) визначити значення функцій приналежності до термів вхідних змінних для поточних значень e та γ ; 3) виконати операцію логічної диз'юнкції функцій приналежності для кожного активізованого правила; 4) виконати операцію кон'юнкції функцій приналежності для активізованих правил; 5) виконати дефазифікацію тобто знайти чисельне значення вихідної змінної за допомогою методу центра ваги. Отже, при виконанні розрахунку вихідної змінної програмна частина fuzzy-регулятора повинна

виконувати логічні та арифметичні операції. Зазначимо, що при збільшенні кількості термів та вхідних змінних вимоги щодо продуктивності цифрової системи регулятора значно підвищуються.

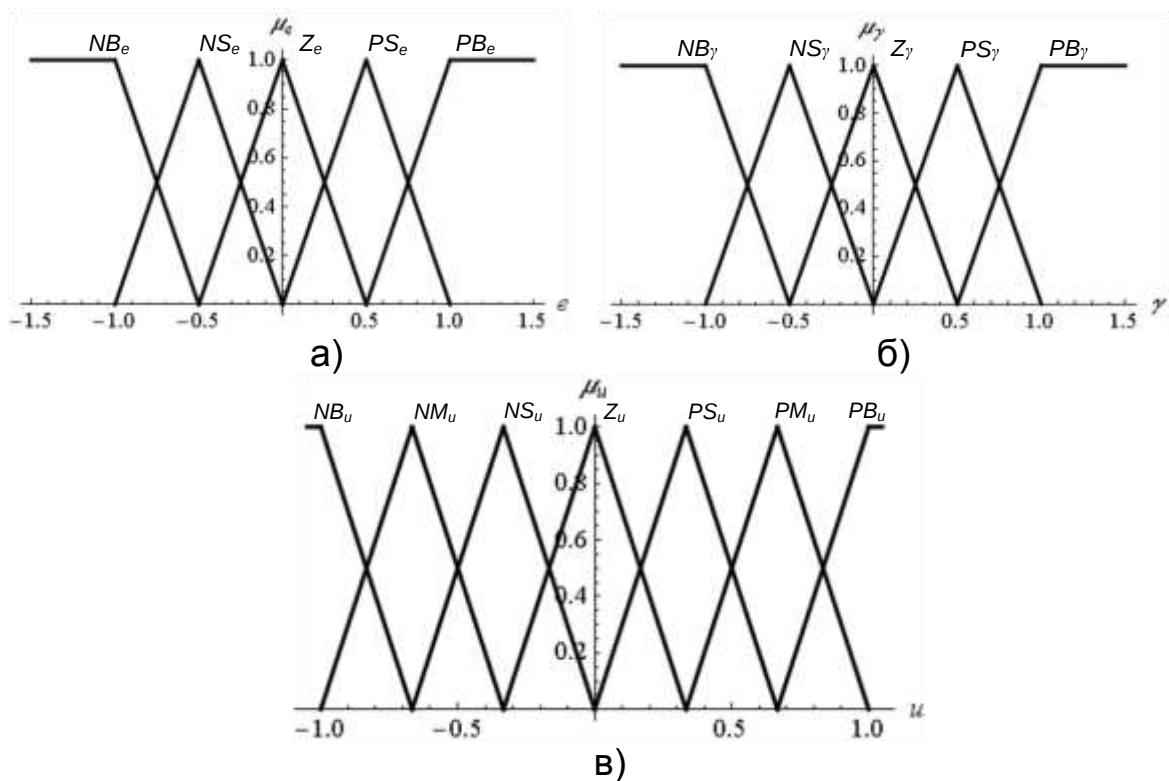


Рис. 3. Графіки функцій приналежності до: а) вхідної змінної e ; б) вхідної змінної γ ; в) вихідної змінної u .

Однак, цього можна уникнути, якщо при налаштуванні fuzzy-регулятора визначити функцію вихідної змінної. Ця функція визначається лише після того, як буде встановлено, що прийняті налаштування fuzzy-регулятора забезпечують бажану якість процесу регулювання. Під налаштуваннями fuzzy-регулятора розуміється: кількість термів вхідних та вихідних змінних; функції приналежності до термів; база правил; метод визначення вихідної змінної [7].

Для визначення функції вихідної змінної необхідно виконати дискретизацію задачі регулювання, тобто використати у розрахунках лише дискретні значення вхідних змінних, які розташовані на відстані своїх кроків Δe та $\Delta \gamma$: для змінних e та γ відповідно. Чим менші кроки Δe та $\Delta \gamma$ прийняті у розрахунках, тим точніше буде знайдена функція вихідної змінної. Однак, при досить великій кількості вхідних змінних необхідно обирати невеликі кроки Δe та $\Delta \gamma$, оскільки при цьому значно зростає кількість розрахунків. Дійсно, для n вхідних змінних кількість N розрахованих дискретних значень вихідної змінної визначається за виразом:

$$N = \prod_{i=2}^n \frac{X_i}{\Delta x_i}, \quad (2)$$

де X_i – область зміни i -тої вхідної змінної; Δx_i – крок зміни i -тої вхідної змінної.

Надалі для дискретних значень вхідних змінних виконується розрахунок вихідної змінної за алгоритмом Мамдані. Таким чином, формується багатомірний масив даних, в якому дискретним значенням вхідних змінних відповідає дискретне значення вихідної змінної. На рис. 4 показано поверхню, яка включає точки з розрахованими координатами. Графік на рис. 4 побудований при $\Delta e=20$ та $\Delta y=20$.

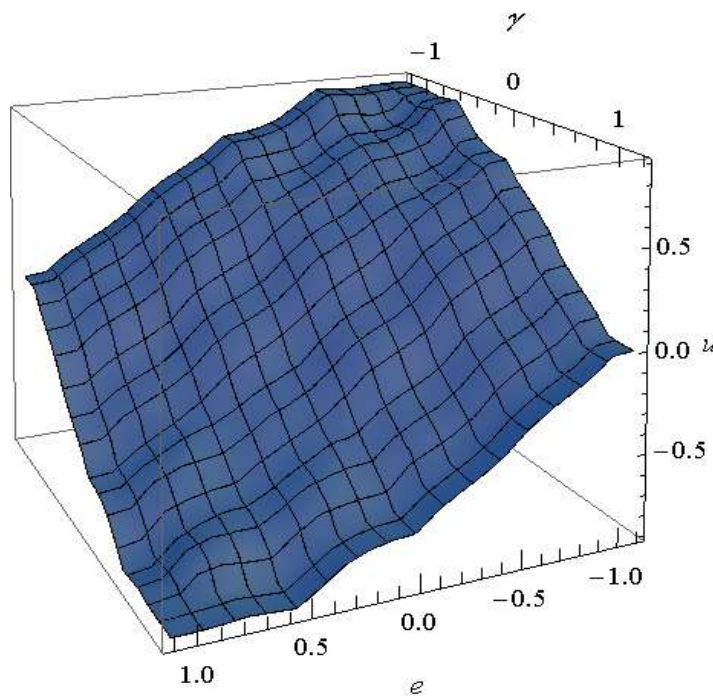


Рис. 4. Графік функції вихідної змінної u .

Всі описані вище розрахунки повинні виконуватися у програмному забезпеченні, а потім отриманий масив даних записується у пам'ять мікроконтролерного пристрою, на базі якого побудований fuzzy-регулятор. Звичайно під час виконання процесу регулювання вхідні змінні приймають значення, які не точно відповідають дискретним значенням вихідних змінних у багатомірному масиві. У цьому випадку розрахунок дискретного значення вихідної змінної виконується методом інтерполяції.

Для зменшення об'єму пам'яті мікроконтролерного пристрою або для зменшення кількості розрахунків, які він виконує у процесі регулювання, при налаштуванні fuzzy-регулятора може бути виконана апроксимація багатомірного масиву поліномом з n

аргументами. Дійсно, отриманий багатомірний масив даних представляє собою деяку табульовану функцію. „Відновлення” або „оцінка” цієї функції може бути виконана, наприклад, методом найменших квадратів.

Як тільки апроксимаційна функція знайдена, вона може бути занесена у пам'ять мікроконтролера. У процесі регулювання за відомою апроксимаційною функцією, виконується розрахунок вихідної змінної u . Зазначимо, при розрахунку апроксимаційної функції вихідної змінної деякі члени поліному можуть бути статистично не значимими, тому їх можна відкинути – це дасть змогу спростити апроксимаційну функцію. Можна провести певну аналогію між апроксимаційною функцією та виразом для класичного ПІ-регулятора (1). Функція вихідної змінної u класичного ПІ-регулятора лінійно залежить від вхідної змінної та її інтеграла. На відміну від цього функція вихідної змінної fuzzy-регулятора нелінійно залежить від вхідних змінних, що видно з рис. 4.

Висновок. Таким чином, основна ідея запропонованого методу синтезу fuzzy-регулятора полягає у тому, що кількість розрахунків у процесі регулювання зменшується, за рахунок використання апроксимаційної функції вихідної змінної або багатомірного масиву. Ціною збільшення передексплуатаційних налаштувань fuzzy-регулятора вирішується задача підвищення його швидкодії та зменшення вимог до апаратної та програмної частин.

Список літератури

1. Деменков Н.П. Нечеткое управление в технических системах / Н.П. Деменков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 200 с.
2. Васильев В.И. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика / В.И. Васильев, Б.Г. Ильясев. – М.: Радиотехника, 2009. – 392 с.
3. Ульянов С.В. Интеллектуальное робастное управление: технологии мягких вычислений / С.В. Ульянов, Л.В. Литвинцева, В.Н. Добрынин, А.А. Мишин. – М.: ВНИИгеосистем, 2011. – 406 с.
4. Гостев В.И. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления / В.И. Гостев. – К.: Радиоіаматор, 2008. – 972 с.
5. Усков А.А. Интеллектуальные системы управления на основе методов нечеткой логики / А.А. Усков, В.В. Круглов. – Смоленск: Смоленская городская типография, 2003. – 177 с.
6. Зак Ю.А. Принятие решений в условиях нечетких и размытых данных: Fuzzy-технологии / Ю.А. Зак. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. – 352 с.
7. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzytech / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ. Петербург, 2005. – 736 с.
8. Дьяконов В. Simulink 4. Специальный справочник / В. Дьяконов. – СПб.: Питер, 2002. – 528 с.
9. <http://www.wolfram.com/products/applications/fuzzylogic/> [Електронний ресурс] – Назва з екрану.
10. <http://www.fuzzytech.com> [Електронний ресурс] – Назва з екрану.

Приведено описання системи fuzzy-регулювання. Складена база правил для fuzzy-ПИ-регулятора. Предложено метод налаштування fuzzy-регулятора, який дозволяє зменшити вимоги до його апаратної та програмної частини та підвищити швидкість.

Fuzzy-регулятор, база правил, апроксимація, алгоритм Мамдани, терм, функція приналежності.

The description of fuzzy-system regulation has stated. The base rules for fuzzy-PI-regulator has designed. The method for fuzzy-controller setting has proposed. It allows to decrease the objectives for its hardware and software and to increase the speed of fuzzy-controller.

Fuzzy-controller, base of rules, approximation, Mamdani's algorithm, term, membership function.

УДК 664.8.022.1

ЕФЕКТИВНІСТЬ ПЕРЕРОБКИ МОЛОКА В УМОВАХ ПІДПРИЄМСТВА ВИРОБНИКА МОЛОЧНОЇ СИРОВИНИ

***Ю.Б. Гербер, Г.А. Голуб, доктори технічних наук
О.В. Гаврилов, кандидат технічних наук***

У статті запропоновані технологічні схеми виробництва молочної продукції, які впроваджені у навчально-виробничому підрозділі ПФ НУБіП України "Кримський агротехнологічний університет" шляхом створення навчально-науково-виробничого тваринницького комплексу, а також навчально-технологічної лабораторії переробки молока.

Молочна сировина, молочна продукція, поголів'я тварин, собівартість, прибуток.

Постановка проблеми. Основні фінансові проблеми сільськогосподарського виробництва пов'язані із тим, що воно є сировинним придатком переробної харчової промисловості. Завдяки цьому прибутки від реалізації продуктів харчування поглинаються переробною харчовою промисловістю, а розрахунки із сільськогосподарськими виробниками здійснюються за кінцевим принципом. Крім того, для здешевлення продуктів харчування та забезпечення продовження їх термінів зберігання, харчова

© Ю.Б. Гербер, Г.А. Голуб, О.В. Гаврилов, 2014