

**Євгенія Євгенівна Шабала**

Асистент кафедри інформаційних технологій

**Вікторія Василівна Ключова**

Асистент кафедри інформаційних технологій

*Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ*

## **ЗАСТОСУВАННЯ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ У ФОРМУВАННІ МОДЕЛІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ КАРТИ НА ОБЛАДНАННЯ ПЕРЕГОРОДОК КОМПЛЕКТНОЇ СИСТЕМИ КНАУФ**

*Розглянуто принцип застосування нечіткої логіки у формуванні моделі технологічної карти на обладнання перегородок комплектної системи КНАУФ та створення моделі нормоутворюючих факторів для технологічної карти на обладнання перегородок на металевому каркасі комплектної системи КНАУФ з використанням методу Сугено*

**Ключові слова:** *нормативна база, нормативний документ, система моделювання, нечітка логіка, метод Сугено, метод Мамдані, лінгвістичні змінні, терм-множина, функція належності, база правил*

*Рассмотрен принцип применения нечеткой логики в формировании модели технологической карты на устройство перегородок комплектной системы КНАУФ и создание модели нормообразующих факторов для технологической карты на устройство перегородок на металлическом каркасе комплектной системы КНАУФ с использованием метода Сугено*

**Ключевые слова:** *нормативная база, нормативный документ, система моделирования, нечеткая логика, метод Сугено, метод Мамдани, лингвистические переменные, терм-множество, функция принадлежности, база правил*

*The article “The use of fuzzy logic in formation of a model of technologic map for equipping of partitions of KNAUF complete system” is devoted to creation of a model for formation of norm creations factors of a technologic map for equipping of partitions on a metal frame of KNAUF complete system, using the principles of application of fuzzy logic on the base of method Sugeno. The article deals with the means of creating of informational systems that can be used for effective management of the construction process. To solve this problem the authors developed an experimental system for keeping the regulatory base in construction, which takes into account the norm creation factors, that is technologic and organizational conditions pf work, which have influence on numerical values of standard indexes. Topic suggested for consideration in the article is relevant because the use of Sugeno method, which provides a fuzzy logic conclusion in fuzzy knowledge base, allows to develop resource regulatory base that would correspond to the requirements of today`s construction industry. The advantages of using this system include, first of all, its simplicity and effectiveness.*

**Keywords:** *legal framework, regulations, system modeling, fuzzy logic method Sugeno, Mamdani method, linguistic variables, thermo-set, membership function, the base rules*

### **Постановка проблеми**

Однією з найбільших сфер економічної діяльності є будівництво. Будівництво забезпечує розширене відтворення виробничих потужностей і основних фондів для всього народного господарства.

Матеріальні ресурси в будівництві включають всі види будівельних матеріалів, будівельних виробів, деталей, напівфабрикатів та будівельних конструкцій. До складу поняття “матеріальні ресурси” входять матеріали та конструкції загальнобудівельного призначення, а також деталі,

взули й устаткування, що належать до систем інженерного забезпечення будівель і споруд. Матеріальні ресурси об'єднують предмети праці, що переробляються в процесі будівельного виробництва, які складають найбільш численний і дорогий вид ресурсів, що застосовуються в будівництві.

Матеріальні ресурси в будівництві використовуються у форматі специфікованої номенклатури будівельних матеріалів у натуральних одиницях виміру або об'єднують у формі товарних і номенклатурних груп матеріалів, під єдиним найменуванням і одиницею виміру усі різновиди та типи продукції промисловості будівельних матеріалів [1].

Згрупування будівельних матеріалів, побудовані в минулі періоди для вирішення планових завдань директивного управління економікою, збереглися дотепер і продовжують використовуватися при зміні характеру виробничих відносин. Старі номенклатурні переліки будівельних матеріалів пристосовуються і адаптуються до вирішення нових завдань ринкового саморегулювання в будівництві, що викликає певні труднощі в їх практичному застосуванні.

Нові принципи ринкового ціноутворення в будівництві виділяють положення про недоцільність включення в номенклатурні переліки таких видів будівельних матеріалів, з яких неможливо отримати цінові показники на регіональних ринках матеріальних ресурсів [1].

Нова система ведення нормативної бази в будівництві повинна враховувати нормоутворюючі фактори, тобто технологічну або організаційну умову виконання робіт, що впливає на числове значення нормативних показників. Це і є нормоутворюючим фактором, який задається у вигляді фактора впливу та його значення.

### **Аналіз основних технологій, досліджень і публікацій**

На сьогодні все більше компаній, які займаються процесами підготовки до будівництва, застосовують моделювання для своїх потреб. Майже за півтора десятиліття років масового використання засобів обчислювальної техніки для вирішення завдань моделювання склалося уявлення про набір підходящих програмних засобів. Сучасні системи моделювання підтримують весь арсенал новітніх інформаційних технологій, включаючи розвинені графічні оболонки для цілей конструювання моделей та інтерпретації вихідних результатів моделювання, мультимедійні засоби, анімацію в реальному масштабі часу, об'єктно-орієнтоване програмування, Internet – рішення та ін. Існує кілька типів програмного забезпечення, яке

використовується для створення імітаційних моделей: універсальні мови, мови імітаційного моделювання (GPSS, SIMAN та ін.), системи імітаційного моделювання (SIMULINK, Fuzzy Logic, Scicos, Extend, Arena та ін.).

Однією з найпопулярніших систем моделювання є Simulink, яка є додатком до пакету MATLAB. При моделюванні з використанням Simulink реалізується принцип візуального програмування, відповідно до якого користувач на екрані з бібліотеки стандартних блоків створює модель пристрою і здійснює розрахунки. При цьому, на відміну від класичних способів моделювання, користувачеві не потрібно досконало вивчати мову програмування і чисельні методи математики, а достатньо загальних знань, потрібних для роботи на комп'ютері і, звичайно, знань тієї предметної області, в якій він працює.

Simulink – це інтерактивна система для моделювання широкого класу динамічних систем, якими є система ведення нормативних документів для підготовки будівництва. Simulink працює з лінійними і нелінійними, безперервними і дискретними, багатовимірними системами. Програма забезпечує користувачеві графічний інтерфейс для конструювання моделей зі стандартних блоків, які зібрані в бібліотеки. Групуючи блоки в підсистеми, можна створювати ієрархічні моделі. Кількість блоків і зв'язків в моделі не обмежена. Simulink володіє відкритою архітектурою і дозволяє збагачувати середу моделювання, створюючи власні блоки і бібліотеки блоків з доступом з програм на MatLab, Fortran або C.

У процесі моделювання користувач може вибирати метод рішення диференціальних рівнянь, а також спосіб зміни модельного часу (з фіксованим або змінним кроком). У ході моделювання є можливість стежити за процесами, що відбуваються в системі. Для цього використовуються спеціальні пристрої спостереження, які входять до складу бібліотеки Simulink. Результати моделювання можуть бути представлені у вигляді графіків або таблиць.

Іншим програмним засобом, який можна застосувати для формування та моделювання нормативної бази, є Scicos (Scilab Connected Object Simulator) – складова частина пакета Scilab. Scicos в його складі забезпечує можливість візуального моделювання динамічних систем. Ці модельовані системи можуть бути як неперервними, так і дискретними.

Основними складовими частинами Scicos є:

– Графічний редактор: Scicos надає ієрархічному графічному редактору для будівництва моделей динамічних систем, використовуючи блок-схеми. Нові блоки можуть бути визначені користувачем у C, Fortran або Scilab.

- Компілятор: компілятор Scicos використовує зразковий опис, зазвичай, який містить в собі редактор Scicos.

- Симулятор: симулятор Scicos використовує таблиці планування та іншу інформацію, надану компілятором, щоб управляти моделюванням. Симулятор має гібридну природу, при якій він повинен мати справу з дискретними і безперервними системами часу і подіями.

Одним з найефективніших інструментів імітаційного моделювання є система Arena фірми System Modeling Corporation. Arena дозволяє будувати імітаційні моделі, програвати їх і аналізувати результати такого програвання. Оскільки імітаційне моделювання є універсальним засобом оптимізації процесів, моделі за допомогою Arena можуть бути побудовані для різноманітних сфер діяльності, в тому числі і для галузі будівництва.

Ще одним прогресивним програмним продуктом є Fuzzy Logic Toolbox – інтуїтивне графічне середовище для розробки інтелектуальних систем.

Пакет Fuzzy Logic володіє простим і добре продуманим інтерфейсом, що дає змогу легко проектувати і діагностувати нечіткі моделі. Забезпечується підтримка сучасних методів нечіткої кластеризації та адаптивні нечіткі нейронні мережі. Графічні засоби пакета дозволяють інтерактивно відстежувати особливості поведінки системи.

Основні властивості:

- Визначення змінних, нечітких правил і функцій приналежності;
- Інтерактивний перегляд нечіткого логічного висновку;
- Сучасні методи: адаптивний нечіткий висновок з використанням нейронних мереж, нечітка кластеризація;
- Інтерактивне динамічне моделювання в SIMULINK;
- Генерація C коду за допомогою Real-Time Workshop.

Також пакет Fuzzy Logic має ряд переваг над більшістю програмних засобів:

- Простота у використанні. Пакет Fuzzy Logic створений для того, щоб Ви швидко оволоділи нечіткою логікою і застосовували її для вирішення практичних завдань. Тим, хто вже добре знайомий з нечіткою логікою, пакет пропонує сучасні методи і можливість створювати власні методи.
- Графічне проектування. Пакет Fuzzy Logic містить п'ять графічних редакторів для подання необхідної інформації в процесі проектування, створення та тестування нечітких моделей.
- Сучасні методи. Пакет Fuzzy Logic містить сучасні методи нечіткого моделювання, а саме:

- адаптивний нечіткий висновок з використанням нейронних мереж для автоматичного формування функцій належності в процесі навчання їх на вхідних даних;

- нечітка логіка та кластеризація для задачі розпізнавання образів;

- можливість вибору широко відомого методу Мамдані або потужного методу Сугено для створення гібридних нечітких систем.

- Інтеграція моделювання та генерації коду. Пакет призначений для спільної роботи з Simulink. За допомогою Real-Time Workshop можна генерувати ANSI C код для роботи в реальному часі.

- Створення моделей, що працюють у зовнішніх додатках.

Нечітка модель може бути збережена у форматі ASCII для подальшого використання поза середовищем MATLAB. Пакет надає ефективний інструмент нечіткого висновку, здатний запускати нечітку модель як автономний додаток або як частину іншої програми [5].

Інший програмний продукт – FUZZYTECH призначений для вирішення завдань нечіткого моделювання і розробки додатків на базі нечіткої логіки.

Основними кроками розробки програм FUZZYTECH є:

- 1) формалізація поставленого завдання – визначення вхідних і вихідних лінгвістичних змінних, зіставлення термів з конкретними фізичними значеннями;
- 2) визначення логічних операцій на основі Т-нормальних функцій;
- 3) визначення функцій належності для кожного терму;
- 4) розробка бази правил;
- 5) визначення методу дефазифікації вихідних даних;
- 6) аналіз та налагодження [8].

## Мета статті

Кошторисні норми витрат матеріалів значно полегшують планування вартості майбутнього будівництва, використовуючи обмежену кількість кошторисних нормативів, забезпечуючи при цьому достатню точність кошторисних розрахунків потреби в ресурсах і вартості етапів будівництва. Кошторисне укрупнення та усереднення методів виробництва робіт і характеристик ресурсів, що використовуються, призводить до відхилень середніх значень від умов реального виробництва, що обмежує можливість їх використання в цілях низового планування і господарського розрахунку в підрядній організації, а тим більше на рівні бригад і робочих місць. Використання елементних кошторисних норм для цілей низового планування

(організація виробництва і обліку, контроль при списанні матеріалів і т.п.) встановлює адміністрація підрядної організації. Для цього мають розроблятися фірмові норми витрати будівельних ресурсів. При вирішенні цих завдань необхідно, щоб основні методичні правила визначення кошторисних норм витрат матеріалів були перероблені і приведені у відповідність до сучасних вимог до нормативно-технічних документів, які регламентують цивільно-правові відносини і ринкові умови в сучасному будівництві. При переході до нових методичних принципів нормування, спадкоємність нормативної інформації на різних рівнях розробки і застосування кошторисних норм досягається єдністю методології їх розрахунку, типовою базовою структурою показників елементних норм і загальними правилами агрегування і дезагрегування нормативної інформації. Комплекс методик і вказівок щодо розрахунку окремих елементів кошторисно-інформаційної бази витрати ресурсів у будівництві повинен бути ув'язаний в єдину методологію ціноутворення, що передбачає варіантність розрахунків та отримання адекватних результатів, що відповідають ринковим умовам реалізації інвестиційно-будівельних проектів.

На основі наявної технологічної карти необхідно виділити нормоутворюючі фактори, записати їх окремо в базу даних та створити правила їх комбінування для отримання результату. Результатом процесу моделювання комбінування нормоутворюючих факторів буде модель використання різних комбінацій нормоутворюючих факторів на часовому інтервалі. Це дасть змогу оцінити значення показника НУФ, змінюючи комбінації нормоутворюючих факторів, що дасть більш точний результат розрахунку вартості будівництва, ніж чинні РЕКН.

## Виклад основного матеріалу

Сьогодні нечітка логіка є стандартним методом при моделюванні та проектуванні в різних сферах, а також і в будівництві. Механізм нечіткої логіки у порівнянні з іншими штучними інтелектуальними системами має ряд переваг.

По-перше, при одних і тих же обсягах вхідної та вихідної інформації, блок прийняття рішень стає компактніше і простіше для сприйняття користувачем.

По-друге, рішення складних і громіздких завдань має гнучку стратегію адаптивного "налаштування" з обмеженням необхідної точності розрахунків і стає простіше. Ці переваги дозволяють зробити вибір підходу для розв'язання задачі прогнозування на користь використання апарату нечіткої логіки [6].

Fuzzy Logic Toolbox – це пакет прикладних програм, що входять до складу середовища MatLab. Базовим поняттям Fuzzy Logic Toolbox є FIS-структура – система нечіткого виводу (Fuzzy Inference System). FIS-структура містить всі необхідні дані для реалізації функціонального відображення "входи-виходи" на основі нечіткого логічного висновку згідно зі схемою, наведеною на рис. 1 [7].

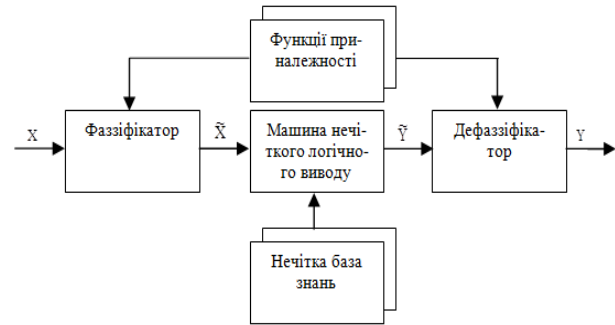


Рис. 1. Нечіткий логічний вивід

Позначення:

$X$  – вхідний чіткий вектор;

$\tilde{X}$  – вектор нечітких множин, що відповідає вхідному вектору  $X$ ;

$\tilde{Y}$  – результат логічного виводу у вигляді вектора нечітких множин;

$Y$  – вихідний чіткий вектор.

Для створення експериментального прикладу беремо типову технологічну карту на обладнання перегородок на металевому каркасі комплектної системи КНАУФ із застосуванням гіпсоволокнистих листів (рис. 2).

Нормативные показатели расхода материалов на устройство 1 м² перегородки, С.361

Наименование материалов	Ед. измерения	Размер перегородки, м			
		4×2,7 (глухая)	6×2,7 (один проем)	9×2,7 (два проема)	16,2×2,7 (три проема и температур. шов)
1	2	3	4	5	6
<b>Каркас и крепежные изделия</b>					
Профиль направляющий ПН 50/40, ТУ 1121-004-04001508-2003	м	1,51	1,58	1,61	1,59
Профиль стоечный ПС 50/50, ТУ 1121-004-04001508-2003	м	2,04	2,54	2,6	2,44
Профиль направляющий ПН 28/27 (на устройство температур. шва), ТУ 1121-004-04001508-2003	м	-	-	-	0,15
Лента уплотнительная типа Дихтунгсбанд сеч. 50×3,2 мм	м	1,26	1,17	1,07	0,94
Любель типа К 6/35	шт.	1,69	1,63	1,43	1,17
Материал изолирующий из минеральных волокон	м²	1,03	1,03	1,03	1,03
Брусок деревянный, размер 50×50×2695 мм	м	-	0,39	0,54	0,44
Любели анкерные металлические	шт.	-	0,7	0,97	0,79
Верхний уголок для крепления несущих элементов двери 100×123 мм	шт.	-	0,14	0,20	0,16
Нижний уголок для крепления несущих элементов двери 100×123 мм	шт.	-	0,14	0,20	0,16
<b>Обшивка</b>					
Лист гипсоволокнистый ГВЛ 12,5 мм, ГОСТ Р 51829-2001	м²	2,1	2,26	2,35	2,3
Лист гипсоволокнистый ГВЛ 10 мм, ГОСТ Р 51829-2001	м²	-	-	-	0,007
Винт самонарезающий с острым концом и зенкующей головкой, ГОСТ 11652-80*, длиной, мм:					
30	шт.	35,33	37,88	36,01	36,12
45	шт.	-	-	-	0,69
9	шт.	-	-	-	0,88
<b>Заделка швов</b>					
Шпаклевка Фугенфюллер ГВ, ТУ 5745-011-04001508-97	кг	0,92	0,91	0,90	0,89
Лента армирующая	м	2,27	2,49	2,64	2,86
Лента разделительная 50 мм	м	1,77	1,62	1,42	1,15
Грунтовка Тифенгрунд	кг	0,22	0,22	0,22	0,22

Рис. 2. Технологічна карта на обладнання перегородок на металевому каркасі комплектної системи КНАУФ

Для створення моделі формування нормоутворюючих факторів для технологічної карти на обладнання перегородок на металевому каркасі комплектної системи КНАУФ необхідно виділити лінгвістичні змінні та терми, які будуть входними даними для створення бази правил. Лінгвістичною називається змінна, що приймає значення із множини слів або словосполучень деякої природної або штучної мови. Безліч допустимих значень лінгвістичної змінної називається терм-множиною. Визначення значення змінної словами, без використання чисел, для людини є більш природним.

Лінгвістична змінна задається п'ятіркою:

$$(x, T, U, G, M),$$

де  $x$  – ім'я змінної;  $T$  – терм-множина, кожен елемент якої (терм) є нечіткою множиною на універсальній множині;  $U, G$  – синтаксичні правила, часто у вигляді граматики, що породжують назву термів;  $M$  – семантичні правила, які задають функції належності нечітких термів, породжених синтаксичними правилами.

Лінгвістичні змінні, по суті, є нормоутворюючими факторами у формуванні технологічної карти.

Отже, формуємо входні дані для моделювання використання нормоутворюючих факторів для технологічної карти на обладнання перегородок на металевому каркасі комплектної системи КНАУФ (рис. 3).

#### ВХІДНІ ДАНІ

Перегородка С 361			
Номер	Лінгвістичні змінні	Терми	Код
1	Найменування матеріалів	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Профіль напрямлювач ПН 50/40, ТУ 1121-004-04001508-2003</li> <li>➤ Профіль стійковий ПС 50/50, ТУ 1121-004-04001508-2003</li> <li>➤ Профіль напрямлювач ПН 28/27 (на обладнання темпер. шва), ТУ 1121-004-04001508-2003</li> <li>➤ Стрічка ущільнювальна типа Диктунгсбанд переріз. 50×3,2 мм</li> <li>➤ Дюбель типа К 6/35</li> <li>➤ Матеріал ізолюючий із мінеральних волокон</li> <li>➤ Брусок дерев'яний, розмір 50×50×2695 мм</li> <li>➤ Дюбелі анкерні металеві</li> <li>➤ Верхній куток для кріплення несущих елементів дверей 100×123 мм</li> <li>➤ Нижній куток для кріплення несущих елементів дверей 100×123 мм</li> <li>➤ Лист гіпсоволокнистий ГВЛ 12,5 мм, ГОСТ Р 51829-2001</li> <li>➤ Лист гіпсоволокнистий ГВЛ 10 мм, ГОСТ Р 51829-2001</li> <li>➤ Гвинт самонарізний з гострим кінцем і зенкуючою головкою, ГОСТ 11652-80*</li> <li>➤ Шпаклівка Фугенфоллер ГВ, ТУ 5745-011-04001508-97</li> <li>➤ Слюда аркувальна</li> <li>➤ Слюда роздільна 50 мм</li> <li>➤ Грунтовка Тифенгрунд</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a1</li> <li>a2</li> <li>a3</li> <li>a4</li> <li>a5</li> <li>a6</li> <li>a7</li> <li>a8</li> <li>a9</li> <li>a10</li> <li>a11</li> <li>a12</li> <li>a13</li> <li>a14</li> <li>a15</li> <li>a16</li> <li>a17</li> </ul>
2	Одиниця виміру	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ м</li> <li>➤ м</li> <li>➤ м</li> <li>➤ м</li> <li>➤ шт.</li> <li>➤ м²</li> <li>➤ м</li> <li>➤ шт.</li> <li>➤ шт.</li> <li>➤ шт.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>b1</li> <li>b2</li> <li>b3</li> <li>b4</li> <li>b5</li> <li>b6</li> <li>b7</li> <li>b8</li> <li>b9</li> <li>b10</li> </ul>

Рис.3. Опис входних даних

Кожному терму надаємо унікальний код, який використовується для зручності введення даних в систему. Інструментарій нечіткої логіки у складі пакету Matlab містить одинадцять вбудованих типів функцій приналежності, які формуються на основі кусково-лінійних функцій, розподілу Гаусса, сигмоїдної кривої, квадратичних і кубічних поліноміальних кривих. У даному випадку використовується функція `gaussmf`.

Функція `gaussmf` ( $y = \text{gaussmf}(x, \text{params})$ ) задає функцію належності у вигляді симетричної гауссівської кривої. Ця функція задається формулою, параметри якої геометрично інтерпретуються таким чином:

$$\mu(x) = e^{-\frac{(x-b)^2}{2c^2}}; \quad (1)$$

де  $b$  – координата максимуму функції належності;  $c$  – коефіцієнт концентрації функції приналежності.

Функція `gaussmf` застосовується для визначення гладких симетричних функцій приналежності. Функція `gaussmf` має два входних аргументи:

$x$  – вектор, для координат якого необхідно розрахувати ступені належності;

$\text{Params}$  – вектор параметрів функції належності. Порядок визначення параметрів –  $[c \ b]$ .

Функція `gaussmf` повертає вихідний аргумент  $y$ , що містить міру приналежності координат вектора  $x$ .

Отримуємо графік, який відображає використання конкретних ресурсів на часовому інтервалі (рис. 4).

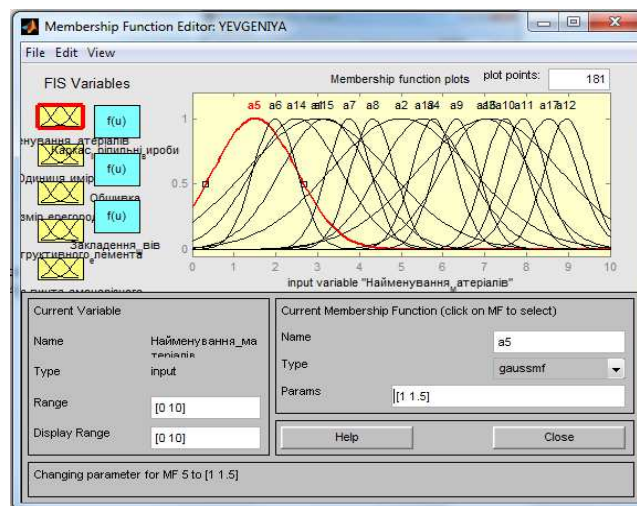


Рис. 4. Формування входних даних

Таким же чином формуємо вихідні дані. Як терми обираємо числові значення нормативних показників. Кожному терму також надаємо унікальний код ( $k1-k76$ ). У даному випадку необхідно отримати дані у вигляді чітких значень, тому використовується функція належності константа (`constant`), яка задається одним числом (рис. 5).



ВИХІДНІ ДАНІ

Номер	Лінгвістичні змінні	Терми	Код
Перегородка С 361			
Каркас і кріпильні вироби out			
1	Кількість профілів напрямлюючих ПН 50/40, ТУ 1121-004-04001508-2003	> 1,51	k1
		> 1,58	k2
		> 1,61	k3
		> 1,59	k4
2	Кількість профілів стійкових ПС 50/50, ТУ 1121-004-04001508-2003	> 2,04	k5
		> 2,54	k6
		> 2,6	k7
		> 2,44	k8
3	Кількість профілів напрямлюючих ПН 28/27 (на обладнання темпер. шва), ТУ 1121-004-04001508-2003	> -	k9
		> -	k10
		> -	k11
		> 0,15	k12
4	Кількість стрічки ущільнювальних типу Диктунгемба перерізі. 50х3,2 мм	> 1,26	k13
		> 1,17	k14
		> 1,07	k15
		> 0,94	k16
5	Кількість дюбелів типу К 6/35	> 1,69	k17
		> 1,63	k18
		> 1,43	k19
		> 1,17	k20
6	Кількість матеріалу ізолюючого із мінеральних волокон	> 1,03	k21
		> 1,03	k22
		> 1,03	k23
		> 1,03	k24
7	Кількість брусків дерев'яних, розмір 50х50х2695 мм	> -	k25
		> 0,39	k26
		> 0,54	k27
		> 0,44	k28
8	Кількість дюбелів анкерних металеві	> -	k29
		> 0,7	k30
		> 0,97	k31
		> 0,79	k32
9	Кількість верхніх кутків для кріплення несущих елементів дверей 100х123 мм	> -	k33
		> 0,14	k34
		> 0,20	k35
		> 0,16	k36
10	Кількість нижніх кутків для кріплення несущих елементів дверей 100х123 мм	> -	k37
		> 0,14	k38
		> 0,20	k39
		> 0,16	k40
Обшивка out			
11	Кількість листів гіпсокартонних ГВЛ 12,5 мм, ГОСТ Р 51829-2001	> 2,1	k41
		> 2,26	k42
		> 2,35	k43

Рис.5. Опис вихідних даних

Формування вихідних даних наведено на рис. 6.

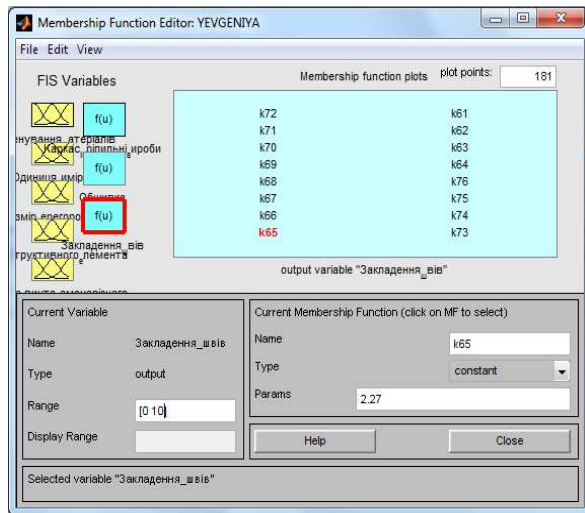


Рис.6. Формування вихідних даних

Модуль fuzzy дає змогу будувати нечіткі системи двох типів - Мамдані та Сугено.

Нечіткий логічний вивід за алгоритмом Сугено виконується по нечіткій базі знань:

$$\bigcup_{p=1}^{k_i} \left( \bigcap_{i=1}^n x_i = a_{i,jp} \text{ з вагою } w_{jp} \right) \rightarrow y = b_{j,0} + b_{j,1}x + \dots + b_{j,n}x_n, \quad (2)$$

де  $j = 1..m$ ,  $b_i, j$  – деякі числа.

База знань Сугено аналогічна базі знань Мамдані за винятком висновків правил dj, які задаються не нечіткими термами, а лінійною функцією від входів:

$$d_j = b_{j,0} + \sum_{i=1,n} b_{j,i}x_i. \quad (3)$$

Правила в базі знань Сугено є свого роду перемикачами з одного лінійного закону «входи-вихід» на інший, теж лінійний. Межі підобластей розмиті, отже, одночасно можуть виконуватися декілька лінійних законів, але з різними ступенями.

Ступені приналежності вхідного вектора  $x^* = (x^*_1, x^*_2, \dots, x^*_n)$  до значень  $d_j = b_{j,0} + \sum_{i=1,n} b_{j,i} \cdot x_i$  розраховуються таким чином:

$$\mu_{d_j}(x^*) = \bigvee_{p=1,k_i} w_{jp} \cdot \bigwedge_{i=1,n} [\mu_{ip}(x^*_i)], \quad j = \overline{1,m}, \quad (4)$$

де  $\bigvee$  ( $\bigwedge$ ) – операція з t-нормами, тобто з безлічі реалізацій логічної операції АБО (І). У нечіткому логічному висновку Сугено найчастіше використовуються такі реалізації трикутних норм: імовірнісне АБО як s-норма і твір як t-норма.

В результаті отримуємо таку нечітку множину  $\tilde{y}$ , яка відповідає вхідному вектору  $x^*$ :

$$\tilde{y} = \frac{\mu_{d_1}(x^*)}{d_1} + \frac{\mu_{d_2}(x^*)}{d_2} + \dots + \frac{\mu_{d_m}(x^*)}{d_m}. \quad (5)$$

Основна відмінність між системами Мамдані та Сугено полягає в різних способах визначення значень вихідної змінної в правилах, що утворюють базу знань. У системах типу Мамдані значення вихідної змінної задаються нечіткими термами, в системах типу Сугено – як лінійна комбінація вхідних змінних.

Отже, для досягнення вищесформованої мети необхідно використати метод Сугено, оскільки вихідними даними будуть числові значення нормативних показників.

Далі формуємо нечітку базу знань. Нечіткою базою знань називається сукупність нечітких правил "Якщо - то", що визначають взаємозв'язок між входами і виходами досліджуваного об'єкта (рис. 7).

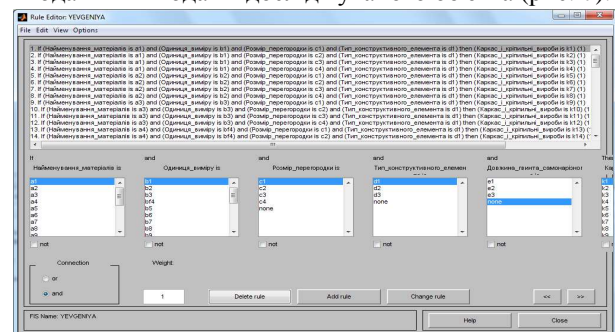


Рис.7. Формування сукупності нечітких правил

У результаті створення правил отримуємо результат моделювання використання нормоутворюючих факторів для технологічної карти на обладнання перегородок на металевому каркасі комплектної системи КНАУФ, який показано на рис. 8.

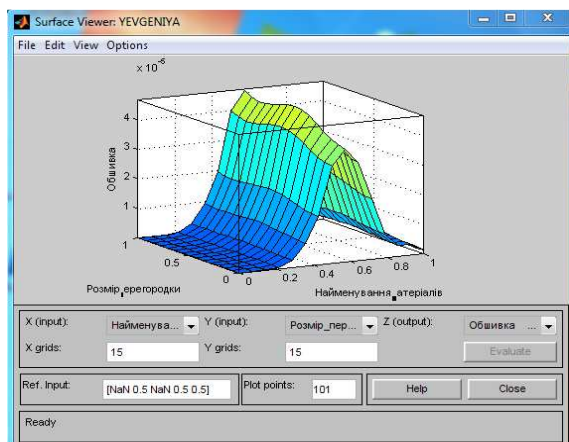


Рис.8. Результат моделювання використання нормоутворюючих факторів для технологічної карти на обладнання перегородок на металевому каркасі комплектної системи КНАУФ

На ньому відображені залежності між такими нормоутворюючими факторами: «Найменування ресурсів» та «Розмір перегородки», а також відображається значення показників із групи виходів «Обшивка» від зазначених вище нормоутворюючих факторів.

## Висновки

В області управління технічними системами нечітке моделювання дає змогу отримувати більш адекватні результати у порівнянні з результатами, які ґрунтуються на використанні традиційних аналітичних моделей і алгоритмів управління. Результати процесу моделювання комбінування нормоутворюючих факторів дають змогу оцінити значення показника НУФ, змінюючи комбінації нормоутворюючих факторів. Це дозволяє отримати більш точний результат розрахунку вартості будівництва, ніж чинні РЕКН.

## Список літератури

1. Вовк О.Л. *Електронная библиотека по теме диссертации: Исследование трудноформализуемых алгоритмов нечеткого управления объектами* [Электронный ресурс]. URL: <http://masters.donntu.edu.ua/2002/fvti/vovk/libr/page4.htm>
2. Національна бібліотека України ім. Вернадського. Наукова періодика України [Електронний ресурс]. URL: [http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/vcpi/Sa/2012\\_30/15\\_30.pdf](http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/vcpi/Sa/2012_30/15_30.pdf)
3. Штовба С.Д. *Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику*. – Винница: Издательство винницкого государственного технического университета, 2001. – 198 с.
4. Ходашинский И.А. *Программа, методические указания и контрольные задания, составленные на основании ГОС ВО для специальности 230102 – Автоматизированные системы обработки информации и управления, утвержденного 27.03.2000 г.* – Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2006. – 32 с.

## References

1. Vovk O.L. *Electronic Library on the dissertation topic: Research of difficult to formalize algorithms of objects fuzzy management* [electronic source]. - <http://masters.donntu.edu.ua/2002/fvti/vovk/libr/page4.htm>
2. The National Vernadsky Library of Ukraine. *Scientific Periodicals of Ukraine* [Electronic source]. - [http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/vcpi/Sa/2012\\_30/15\\_30.pdf](http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/vcpi/Sa/2012_30/15_30.pdf)
3. Shtovba S.D. *Introduction to the theory of fuzzy sets and fuzzy logic*, Vinnitsa: Publisher Vinnitsa State Technical University, 2001. – 198.
4. Hodashinsky I.A. *Program guidance and control tasks based on a standard of high education for the specialty 230102 – Computer aided data processing and management systems, approved 27.03.2000*, Tomsk: Tomsk Interuniversity Center for Distance Education, 2006. – 32.

Стаття надійшла до редколегії 24.01.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А.О. Білощицький, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.