

**С.Л. КРИВИЙ**

Київський Національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна,  
e-mail: *sl.krivoi@gmail.com*.

**В.М. ОПАНАСЕНКО**

Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Київ, Україна,  
e-mail: *vlopanas@ukr.net*.

**С.Б. ЗАВ'ЯЛОВ**

ТОВ «Радіонікс», Київ, Україна, e-mail: *radionix13@gmail.com*.

**АЛГЕБРАЇЧНІ ОПЕРАЦІЇ НАД НЕЧІТКИМИ МНОЖИНАМИ  
І ВІДНОШЕННЯМИ В АВТОМАТНІЙ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ  
З РЕАЛІЗАЦІЄЮ ЛОГІКОВИМИ АПАРАТНИМИ ЗАСОБАМИ**

**Анотація.** Розглянуто алгебраїчні операції над нечіткими множинами і відношеннями та їхня реалізація апаратними засобами в автоматній інтерпретації. Описано два способи зображення значень функцій належності нечітких множин та методи перетворення таких зображень. Наведено відповідні оцінки складності виконання операцій з такими зображеннями та обґрунтування коректності алгоритмів.

**Ключові слова:** нечіткі множини, відношення, алгебраїчні операції, скінченні автомати, FPGA.

**ВСТУП**

Адаптація апаратних засобів для розв'язання задачі розбиття векторів з цілими координатами, яка розглядалася в [1–8], надає змогу реалізувати операції над нечіткими множинами і відношеннями. Запропонований у цій роботі підхід до виконання зазначених операцій відомий як «технологія реконфігурованого комп'ютингу» [2, 3] і його втілення в реальні проекти стало можливим завдяки появі програмованих логікових інтегральних схем (ПЛІС).

Зокрема, в [4–8] розглядався метод розв'язання задачі адаптації апаратних засобів з формалізованим обґрунтуванням відповідних алгоритмів на основі адаптивних логічних мереж (АЛС), орієнтованих на реалізацію алгоритмів розбиття множини векторів з цілими координатами. З використанням алгоритмів такого розбиття у цій роботі на основі автоматного підходу пропонуються алгоритми виконання операцій над нечіткими множинами (НМ) і відношеннями (НВ).

**АЛГЕБРАЇЧНІ ОПЕРАЦІЇ ТА ЇХНЯ РЕАЛІЗАЦІЯ**

Операції над НМ і НВ поділяють на логічні і алгебраїчні. Для реалізації логічних операцій над НМ та НВ, як було показано в [1], потрібні операції віднімання, максимуму і мінімуму, а для реалізації алгебраїчних операцій — додавання, віднімання і множення. Далі будемо розглядати тільки алгебраїчні операції над НМ, до яких належать:

1) обчислення добутку НМ  $A$  і  $B$ , результатом якого є НМ  $A \cdot B$  з функцією належності  $\mu_{A \cdot B} = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$ ;

2) обчислення суми  $A + B$  НМ  $A$  і  $B$ , результатом якої є НМ  $A + B$  з функцією належності  $\mu_{A+B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$ ;

3) піднесення до степеня  $\alpha$  НМ  $A$ , результатом якого є НМ  $A^\alpha$  з функцією належності  $\mu_A(x)^\alpha$ , де  $\alpha$  — додатне раціональне число;

4) множення на число  $\alpha$  НМ  $A$ , результатом якого є НМ  $\alpha A$  з функцією належності  $\alpha \mu_A(x)$ , де  $\alpha \cdot \max_{x \in A} \mu_A(x) \leq 1$ ;