

# МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ПРОЦЕСУ ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗОБРАЖЕНЬ ЛАЗЕРНОГО ПРОМЕНЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Вінницький національний технічний університет

## *Анотація*

*Запропоновано класифікацію чинників, що впливають на прогнозування зміни поведінки лазерного променя, яка була покладена в основу розробки моделі прогнозування зміни параметрів лазера на базі теорії нечіткої логіки.*

**Ключові слова:** лазерний промінь, нечітка логіка, лінгвістична змінна.

## *Abstract*

*The factors classification influenced to the prediction of changes in the behavior of the laser beam is proposed. This classification is the basis for the development of a model for predicting changes in the parameters of the laser based on the theory of fuzzy logic.*

**Keywords:** laser beam, fuzzy logic, linguistic variable.

## Вступ

Зважаючи на те, що реальні умови використання лазера не є ідеальними, поведінку лазерного променя стає важко передбачити. Це може привести до некоректної роботи лазера та його функціональної невідповідності поставленій задачі. Тому виникає проблема прогнозування зміни поведінки лазерного променя на основі даних про його певні характеристики, які можна отримати з його профілю в кожний поточний момент часу.

Метою роботи є розробка моделі прогнозування зміни параметрів лазера на базі теорії нечіткої логіки.

## Результати дослідження

До якісних чинників, які впливають на формування лазерного променя відносять [1]: рівень зашумленості середовища передачі (співвідношення якості формування зображень лазерної відеотраси за реальних умов до ідеальних, тобто лабораторних), рівень хімічного забруднення середовища, рівень фізичного забруднення середовища (мікро- та макрочастинки в повітрі), рівень оптичності середовища (рівень оптичного пропускання), рівень освітленості приміщення, рівень іонізованості повітря.

До основних кількісних чинників відносять [2]: рівень вологості повітря, температура середовища передачі, вік установки, потужність установки, ширина лазерного променя, довжина лазерної хвилі.

Позначимо через  $x_1, x_2, \dots, x_6$  якісні характеристики, для опису яких пропонується використовувати умовну шкалу від 0 ... 100. Опис кількісних характеристик  $x_7, x_8, \dots, x_{12}$  формується на основі даних спостережень. Окрім того, для опису всіх параметрів використовується лінгвістична оцінка у вигляді термів (табл. 1).

Відповідно загальної тенденції до зміни значення енергетичного центру лазерного пучка в залежності від впливу різних чинників пропонується визначати так:  $d_1$  – сильне відхилення обох координат;  $d_2$  – слабе відхилення обох координат;  $d_3$  – не зміниться;  $d_4$  – слабе відхилення однієї з координат;  $d_5$  – сильне відхилення однієї з координат.

Таблиця 1 – Представлення термів

П*	Назва	Діапазони зміни	Терми
$x_1$	Рівень зашумленості середовища передачі	0..100	Нульовий (НУ), незначний (НЕ), середній (С), високий (В), дуже високий (ДВ)
$x_2$	Рівень хімічного забруднення середовища	0..100	Нульовий (НУ), низький (НИ), середній (С), небезпечний (НЕ), смертельний (СМ)
$x_3$	Рівень фізичного забруднення середовища	0..100	Нульовий (НУ), малий (МА), середній (С), значний (З)
$x_4$	Рівень оптичності середовища (рівень оптичного пропускання)	0..100	Ідеальний (І), середній (С), поганий (П)
$x_5$	Рівень освітленості приміщення	0..100	Поганий (П), середній (С), яскравий (Я), дуже яскравий (ДЯ)
$x_6$	Рівень іонізованості повітря	0..100	Нульовий (НУ), низький (НИ), середній (С), високий (В)
$x_7$	Рівень вологості повітря	0..100%	Сухо 0-35% (С), нормально 35-70% (Н), волого 70-85% (В), дуже волого 85-100% (ДВ)
$x_8$	Температура середовища передачі	-25..+30 С	Дуже холодно -25..-10 С (ДХ), холодно -10..+5 С (Х), нормально +5..+20 С (Н), жарко +20..+30 С (Ж)
$x_9$	Вік установки	0..10 років	Нова 0..1 рік (Н), вживана 1..5 років (В), стара 5..10 років (С)
$x_{10}$	Потужність установки	1..200 мВатт	Мала 1..20 мВатт (М), велика 20..200 мВатт (В)
$x_{11}$	Ширина лазерного променя	0,05..0,5 мм	Мала 0,05..0,1 мм (М), велика 0,1..0,5 мм (В)
$x_{12}$	Довжина лазерної хвилі	200..1000 нм	Мала 200..400 нм (М), середня 400..600 нм (С), велика 600..1000 нм (В)

\* П. – параметр

Тоді вихідним показником моделі буде відсоткова зміна значень координат енергетичного центру лазерного пучка, яка закладена в межах  $-10\%...+10\%$  для обох координат. Задача моделювання полягає в тому, щоб кожному поєднанню значень вхідних параметрів поставити у відповідність один з розв'язків:  $d_j (j = \overline{1,5})$ .

Кожний терм поданий нечіткою множиною із відповідною функцією належності [3].

Для раціоналізації вхідних параметрів у моделі впроваджені додаткові лінгвістичні змінні:

$m$  – рівень чистоти (незабрудненості) середовища  $\{x_1, x_2, x_3\}$ ;

$n$  – рівень сприятливості середовища до розповсюдження лазерного випромінювання  $\{x_4, \dots, x_8\}$ ;

$y$  – рівень якості лазерної установки  $\{x_9, x_{10}\}$ ;

$w$  – рівень якості лазерного променя  $\{x_{11}, x_{12}\}$ ;

Для оцінювання значень лінгвістичних змінних  $m, n, y, w$  використаємо єдину шкалу якісних термів із діапазоном від 0 до 100, де:

$H$  – низький;

$HC$  – нижче середнього;

$C$  – середній;

$BC$  – вище за середній;

$B$  – високий.

На основі інформації, яка буде зберігатись про об'єкт можна визначити нечітку математичну модель, яка буде використовуватися для прийняття рішень [4].

Структура моделі прогнозування енергетичного центру лазерного пучка можна представити у вигляді дерева логічного висновку, що відповідає співвідношенням:

$$d = f_d(m, n, y, w); \quad (1)$$

$$m = f_m(x_1, x_2, x_3) \quad (2)$$

$$n = f_n(x_4, x_5, x_6, x_7, x_8) \quad (3)$$

$$y = f_y(x_9, x_{10}) \quad (4)$$

$$w = f_w(x_{11}, x_{12}) \quad (5)$$

Наступним кроком моделювання є складання експертної бази знань. Нечітка база знань є носієм експертної інформації про причинно-наслідкові зв'язки між вхідними і вихідними змінними. Користуючись запропонованими термами та висновками експертів, вищенаведені співвідношення можна подати у вигляді нечітких ієрархічних баз знань. Фрагмент бази знань співвідношення наведено нижче.

Кожен рядок співвідношення відповідає певному лінгвістичному правилу. Наприклад, перший рядок (табл. 2.2)  $\{m=HC, n=HC, y=H, w=C\} = \{d = d_1\}$  можна розшифрувати так: рівень чистоти середовища – нижче середнього; рівень сприятливості середовища до розповсюдження лазерного випромінювання – нижче середнього; рівень якості лазерної установки – низький; рівень якості лазерного променя – середній. Для лінгвістичної оцінки вхідних змінних  $x_1 \dots x_{12}$  використовуються нечіткі терми. Подамо терми у вигляді нечітких множин, використовуючи модель функції належності (ФН), де:  $b$  і  $c$  – параметри ФН;  $b$  – координата максимуму функції;  $c$  – коефіцієнт концентрації-розтягування. На основі бази знань і ФН термів, використовуючи операції  $\cdot$  ( $I - \min$ ) і  $\vee$  (АБО –  $\max$ ), можна скласти нечіткі логічні рівняння, що описують дану модель. Ці рівняння необхідні для виконання процедури дефазифікації, тобто отримання результатів моделювання.

Таблиця 2 – Подання термів у вигляді нечітких множин

$m$	$n$	$y$	$w$	$D$
$HC$	$HC$	$H$	$C$	$d_1$
$C$	$C$	$BC$	$H$	
$H$	$H$	$C$	$HC$	
...	...	...	...	...
$B$	$B$	$HC$	$B$	$d_5$
$B$	$C$	$H$	$C$	
$B$	$B$	$H$	$BC$	

Фрагмент нечітких логічних рівнянь моделі прогнозування координат енергетичного центру лазерного пучка буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} \mu^{d_1}(d) &= [\mu^{HC}(m) \cdot \mu^{HC}(n) \cdot \mu^H(y) \cdot \mu^C(w)] \vee [\mu^C(m) \cdot \mu^C(n) \cdot \\ &\cdot \mu^{BC}(y) \cdot \mu^H(w)] \vee [\mu^H(m) \cdot \mu^H(n) \cdot \mu^C(y) \cdot \mu^{HC}(w)], \\ \mu^{d_2}(d) &= [\mu^C(m) \cdot \mu^C(n) \cdot \mu^C(y) \cdot \mu^C(w)] \vee [\mu^{BC}(m) \cdot \mu^{HC}(n) \cdot \\ &\cdot \mu^{BC}(y) \cdot \mu^{BC}(w)] \vee [\mu^{HC}(m) \cdot \mu^B(n) \cdot \mu^B(y) \cdot \mu^{BC}(w)], \\ \mu^{d_3}(d) &= [\mu^{BC}(m) \cdot \mu^{BC}(n) \cdot \mu^C(y) \cdot \mu^{HC}(w)] \vee [\mu^{BC}(m) \cdot \mu^C(n) \cdot \\ &\cdot \mu^C(y) \cdot \mu^C(w)] \vee [\mu^C(m) \cdot \mu^B(n) \cdot \mu^{HC}(y) \cdot \mu^{BC}(w)], \\ \mu^{d_4}(d) &= [\mu^{BC}(m) \cdot \mu^B(n) \cdot \mu^C(y) \cdot \mu^{BC}(w)] \vee [\mu^{BC}(m) \cdot \mu^{BC}(n) \cdot \\ &\cdot \mu^{HC}(y) \cdot \mu^C(w)] \vee [\mu^B(m) \cdot \mu^C(n) \cdot \mu^H(y) \cdot \mu^{HC}(w)], \\ \mu^{d_5}(d) &= [\mu^B(m) \cdot \mu^B(n) \cdot \mu^{HC}(y) \cdot \mu^B(w)] \vee [\mu^B(m) \cdot \mu^C(n) \cdot \\ &\cdot \mu^H(y) \cdot \mu^C(w)] \vee [\mu^B(m) \cdot \mu^B(n) \cdot \mu^H(y) \cdot \mu^{BC}(w)]. \end{aligned}$$

Загальне число нечітких логічних рівнянь складає 20. Зауважимо, що ваги правил в цих рівняннях не зазначені і кожне їх значення дорівнює одиниці. Запис нечітких логічних рівнянь є останнім кроком побудови моделі.

## Висновки

Запропоновано класифікацію чинників, що впливають на прогнозування зміни поведінки лазерного променя, яка була покладена в основу розробки моделі прогнозування зміни параметрів лазера на базі теорії нечіткої логіки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кожем'яко В.П. Методологічні підходи до паралельно-ієрархічної обробки плямових зображень лазерних пучків та їх прикладна реалізація / Кожем'яко В.П., Тимченко Л.І., Яровий А.А. // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. – №1 (11). – С. 14-25.
2. Яровий А.А. Методологічні особливості побудови 3D відображення плямових зображень лазерного променя та його розпізнавання / А.А. Яровий // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2010. – №2 (20). – С. 72-80.
3. Методичні вказівки до виконання практичних занять з дисципліни «Нечіткі моделі і методи штучного інтелекту» для здобувачів III (освітньо-наукового) рівня вищої освіти підготовки докторів філософії денної і заочної форм навчання спеціальності «Комп'ютерні науки». Модуль 1. «Нечіткі моделі прийняття рішень» / Уклад. В. І. Месюра, А. А. Яровий, І. Р. Арсенюк – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 56 с.
4. George F. Luger Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving, 6th Edition. Pearson. 2009. – 792 pp.

**Яровий Андрій Анатолійович** – д.т.н., професор, зав. кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет

**Краєвський Володимир Олександрович** – студент групи КН-20мз, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: krayevskiy@vntu.edu.ua

**Yaroviyi Andrii A.** – Dr. Sc. (Eng.), professor, head of Department for Computer Science, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

**Kraievskiy Volodymyr O.** – Faculty of Intelligent Information Technology and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: krayevskiy@vntu.edu.ua