

МОДЕЛЬ НЕЧІТКОГО ЛОГІЧНОГО ВИСНОВКУ ОЦІНКИ РИЗИКУ ПРОПУСКУ ВАНТАЖІВ ЧЕРЕЗ ДЕРЖАВНИЙ КОРДОН

Розглянуто завдання автоматизації процедури профілювання ризиків за встановленими характерними ознаками (індикаторами ризиків) вантажів, які можуть використовуватись для перевезення незаконних об'єктів, щодо здійснення пропуску (непропуску), проведення вибіркової (поглибленої) перевірки у пунктах пропуску через державний кордон. Запропоновано модель нечіткого логічного висновку, метод для розрахунку функцій належності вхідних і вихідних змінних, що подані як лінійні, та метод їх безпосередньої оцінки.

Вступ

Актуальність. За останні 10 років кількість вантажів, які переміщуються через державний кордон (ДК), збільшилась у 1,5 рази. Спостерігається також стійка тенденція збільшення перевезення незаконних об'єктів: нелегальних мігрантів, контрабанди, зброї, наркотичних засобів тощо. На сучасному етапі розвитку Державної прикордонної служби України (ДПСУ) постає питання підвищення ефективності виконання завдань щодо захисту національних інтересів на ДК [1]. Одним із напрямків його вирішення є вдосконалення управління ризиками. Згідно з положенням щодо аналізу та оцінки ризиків у ДПСУ [2], важливим елементом є профілювання (оцінка) ризиків — виявлення за встановленими або характерними (типовими) ознаками (індикаторами ризиків) осіб, транспортних засобів та вантажів, з боку яких існує висока ступінь причетності до протиправних дій (правопорушень) у сфері безпеки ДК, для проведення вибіркової (поглибленої) перевірки у пунктах пропуску через ДК або поза ними в межах контрольованих прикордонних районів. Як свідчить практика, одним із найскладніших питань з точки зору невизначеності та кількісного й якісного складу вхідних змінних є оцінка вантажів, які переміщуються через ДК [3].

Постановка завдання. Здійснення профілювання ризиків спрямовано на інформаційно-аналітичну підтримку персоналу, який безпосередньо несе службу на ДК, та передбачає обробку значної кількості ретроспективної й оперативної інформації за стислі терміни, що апіорі вимагає застосування математичних засобів з подальшою автоматизацією.

Постановку математичної задачі з оцінки ризику здійснимо у вигляді оцінки нелінійного об'єкта з множиною вхідних змінних $X = \{x_i\}$ та однією вихідною змінною y

$$y = f_y(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (1)$$

Як вхідні змінні виберемо ознаки (індикатори ризику) вантажів. Вихідна змінна y є показником ступеня причетності вантажу до перевезення незаконних об'єктів, на підставі якої приймається рішення.

Для автоматизації оцінки ризиків в ДПСУ створено підсистему «РИЗИК» [4]. Аналіз її застосування свідчить, що відпрацьовано питання автоматизації зберігання та видачі за запитом відповідної інформації. Питання аналізу (обробки) цієї інформації залишаються прерогативою інспекторів прикордонного контролю та інспекторів прикордонної служби (далі інспекторів) на підставі їх досвіду, інтуїції, суб'єктивних уявлень. Тобто, існуючі інформаційно-телекомунікаційні системи ДПСУ не в змозі здійснити достатньо оперативну й якісну підтримку прийняття рішення з питань оцінки ризиків і вимагають подальшого вдосконалення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для оцінки ризиків необхідно застосовувати не тільки якісні судження про ці ризики, але й різноманітні методи їх кількісного аналізу.

У роботі [5] подано дослідження, що спрямовані на автоматизацію розподілу сил і засобів в охороні ДК на підставі методів оптимізації. Водночас вирішенню завдань оцінки ризиків приділено недостатню увагу. У роботі [6] запропоновано модель, яка оснований на бінарній інтерпретації ознак (індикаторів ризику) опису вантажів. Аналіз цієї моделі засвідчив, що така інтерпретація не

є придатною для оцінки більшості індикаторів ризику, що мають якісних характер.

В інших предметних сферах для оцінки ризиків найчастіше використовують апарат теорії ймовірностей та математичної статистики [7; 8]. Однак, ураховуючи, що прийняття рішень з оцінки ризику осіб, які перетинають ДК, відбувається в умовах невизначеності та неповноти інформації, застосування класичної ймовірності як характеристики масових процесів стає неможливим. Однією з перспективних сфер сучасних високих технологій є нечітке моделювання, що зумовлено тенденцією збільшення складності математичних і формальних моделей реальних систем та процесів управління, пов'язаних із бажанням підвищити їх адекватність і врахувати множину різних чинників, які впливають на процеси прийняття рішень.

Мета статті — дослідження використання методологічного апарату теорії нечіткої логіки та подання інструментальних засобів автоматизації аналізу вхідних даних щодо причетності вантажів, які переміщуються через ДК до перевезення незаконних об'єктів на підставі моделі системи нечіткого висновку з оцінки ризиків.

Основний текст

Спочатку доцільно детальніше розглянути завдання, які постають перед інспекторами. У випадку, коли вантаж перетинає ДК (виявляється у прикордонному районі), інспектор повинен прийняти рішення: пропустити чи не пропустити вантаж через ДК (затримати), відправити його для проведення вибіркової (поглибленої) перевірки тощо. Вочевидь, таке рішення приймається на підставі даних щодо осіб, які перевозять вантажі, транспортних засобів, які їх перевозять, і самих вантажів, що переміщуються через ДК (виявляються у прикордонному районі): поведінка особи; відповідність транспортного засобу контрабанді; можливість використання вантажу, що транспортується, для укриття осіб, які незаконно прямують через ДК, або для прикриття іншої протиправної діяльності; відповідність ваги й об'єму вантажу, заявленому в товаросупровідних документах, реальній вазі; цілісності вантажу; відповідність маршруту руху переміщенню незаконного об'єкта; відповідність упаковки вантажу тощо. У цьому випадку інформація отримується з оперативних джерел та завдяки візуальному спостереженню і спілкуванню.

Традиційно підґрунтям для прийняття рішення щодо пропуску вантажів та виявлення їх причетності до протиправної діяльності є досвід попередніх випадків, які мали місце в минулому. Доцільним є узагальнення правил пропуску на підставі цього досвіду.

В статті пропонується застосування моделі нечіткого логічного висновку для оцінки вантажів, які переміщуються через ДК, відповідно до постановки математичної задачі (1). Нечіткий логічний висновок — це апроксимація залежності «входи—виходи» на основі лінгвістичних висловлювань <ЯКЩО—ТО>. Наприклад, якщо поведінка особи має високий ступінь неадекватності (хвилювання), вантаж має великий об'єм та малу вагу, а країна, куди прямує вантаж, має високий рівень цін на певні види товарів (сигарети), то ступінь причетності вантажу до перевезення «контрабанди» (сигарети) є високою.

Змістовна інтерпретація нечіткої моделі передбачає вибір і специфікацію вхідних та вихідних змінних відповідної системи нечіткого висновку. Розглянемо приклад визначення причетності вантажу до перевезення такої категорії незаконних об'єктів, як «контрабанда». Нечітка модель буде мати 3 вхідних та 1 вихідну змінну.

У цьому випадку вхідними змінними є:

- рівень неадекватності поведінки особи, що перевозить вантаж — x_1 ;
- рівень відповідності стану транспортного засобу до перевезення контрабанди — x_2 ;
- рівень невідповідності упаковки вантажу заявленому у товаросупровідних документах — x_3 .

Чим вищою є оцінка за вхідними змінними, тим імовірніше, що вантаж може бути використано для перевезення контрабанди.

Для уточнення моделі у подальшому можуть застосовуватись додаткові показники.

Вихідною змінною є ступінь причетності вантажу до перевезення незаконних об'єктів — y [3]: «контрабанда», «зброя», «наркотики» тощо.

У нечіткій моделі оцінки ризику причетності вантажів до протиправної діяльності всі змінні подаються як лінгвістичні, універсальна множина яких $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ вимірюється в балах в інтервалі дійсних чисел від 0 до 10 інспекторами на підставі їх знань та досвіду.

Як терм-множину першої вхідної змінної x_1 будемо використовувати множину $L_1 = \{\text{«низький»}, \text{«середній»}, \text{«високий»}\}$ рівень неадекватності.

Побудову функцій належності термів «низький», «середній», «високий», що використовуються для лінгвістичної оцінки змінної x_j , здійснимо за допомогою методу статистичної обробки експертної інформації, поданого у [9]. Вважатимемо, що експертні оцінки є бінарними: 1 (0) указує на наявність (відсутність) в елемента властивостей нечіткої множини.

Результати опитування п'яти експертів наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Результати опитування експертів

K	Терми	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10
Експерт 1	Низький	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Середній	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	Високий	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Експерт 2	Низький	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Середній	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	Високий	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Експерт 3	Низький	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Середній	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	Високий	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Експерт 4	Низький	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Середній	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Високий	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Експерт 5	Низький	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Середній	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
	Високий	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Функції належності термів розраховуються за формулою [9]

$$\mu_j(u_i) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K b_{j,i}^k, \tag{2}$$

де K — кількість експертів; $b_{j,i}^k$ — думка k -го експерта про наявність в елемента u_i універсальної множини властивостей нечіткої множини лінгвістичних термів, $k = 1 \dots K$, $j = 1 \dots m$, $i = 1 \dots m$.

Графіки отриманих функцій належності термів, апроксимацію яких здійснено трапецієподібними та трикутною функціями і представлено у середовищі MatLab 7.0.1, показано на рис. 1. Як термножини другої змінної x_2 до перевезення контрабанди будемо використовувати аналогічну множину $L_2 = \{\text{«низька»}, \text{«середня»}, \text{«висока»}\}$ відповідність стану транспортного засобу; третьої змінної x_3 — множину $L_3 = \{\text{«низька»}, \text{«середня»}, \text{«висока»}\}$ невідповідність упакування вантажу.

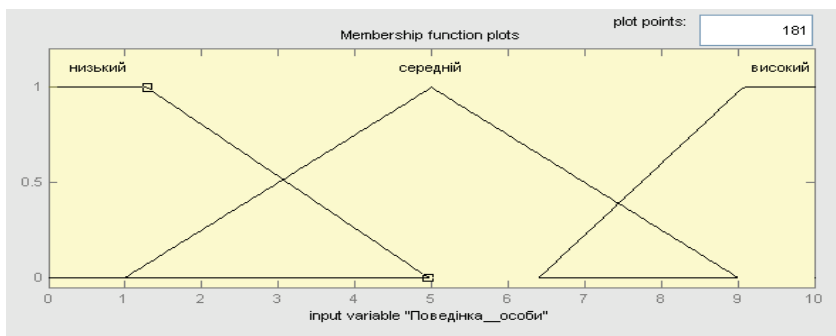
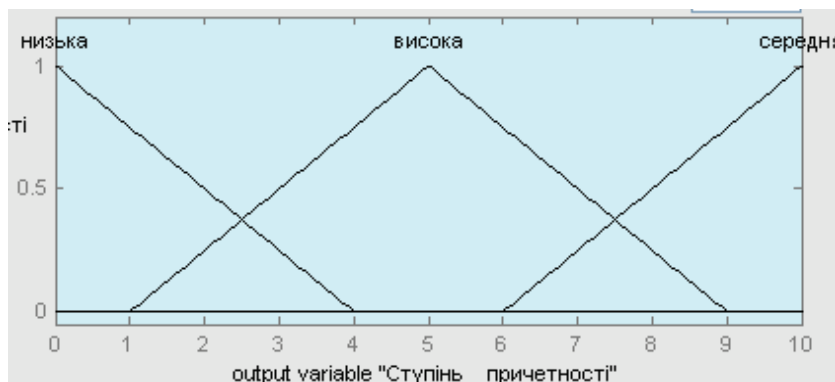


Рис. 1. Графіки функцій належності термів лінгвістичної змінної x_1 у середовищі MatLab 7.0.1

Як термножини вихідної змінної y — $L_6 = \{\text{«низька»}, \text{«середня»}, \text{«висока»}\}$ причетність вантажу до перевезення незаконних об'єктів будемо використовувати множину із функціями належності, що подані на рис. 2.

Наступний крок — побудова нечіткої бази знань. Для аналізу особи, яка перетинає ДК, застосовуються евристичні правила. Кількість правил, необхідних для опису n вхідних змінних, значення яких визначається з використанням m термів, дорівнює $R = m^n$ (у нашому випадку 27). Базу знань побудовано за допомогою експертного опитування, фрагмент її подано в табл. 2.

Рис. 2. Графіки функцій належності термів лінгвістичної змінної y

Таблиця 2

Евристичні правила щодо пропуску вантажів, які переміщуються через ДК

Якщо			То
x_1	x_2	x_3	y
низький	низька	низька	низький
низький	низька	середня	низький
низький	низька	висока	низький
...
середній	низька	низька	середній
середній	низька	середня	низький
середній	низька	висока	низький
...
високий	висока	низька	високий
високий	висока	середня	високий
високий	висока	висока	високий

Як схему нечіткого висновку будемо використовувати метод Мамдані, тому методом активації буде \min , який розраховується за формулою [9]

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \mu_A(x) \wedge \mu_A(y) = \min(\mu_A(x), \mu_A(y)). \quad (3)$$

Далі необхідно визначити методи агрегування підумов. Оскільки в усіх правилах як логічна зв'язка для підумов застосовується лише нечітка кон'юнкція (операція «І»), то як метод агрегування будемо використовувати операцію \min -кон'юнкції. Для акумуляції закінчень правил будемо використовувати \max -диз'юнкцію. Як метод дефазифікації будемо використовувати метод центру тяжіння за формулою [9]

$$y_0 = \frac{\int y \mu(y) dy}{\int \mu(y) dy}. \quad (4)$$

Реалізацію моделі нечіткого логічного висновку здійснено з використанням пакету MATLAB 7.0.1.

Виконаємо аналіз побудованої системи нечіткого висновку для завдання аналізу вантажу, який переміщується через ДК. З цією метою відкриємо вікно перегляду правил системи MATLAB 7.0.1 та введемо такі значення вхідних змінних: $x_1 = 8$ балів, $x_2 = 9$ балів, $x_3 = 2$ бали. Ці оцінки на інтуїтивному рівні свідчать про високу причетність особи до протиправної діяльності.

Процедура нечіткого висновку, яка виконана MATLAB 7.0.1. для розробленої нечіткої моделі, видає в результаті значення вихідної змінної y , що дорівнює 6,45 (рис. 3) (модель [6] видає значення 5), це свідчить про високу ступінь причетності вантажу до протиправної діяльності.

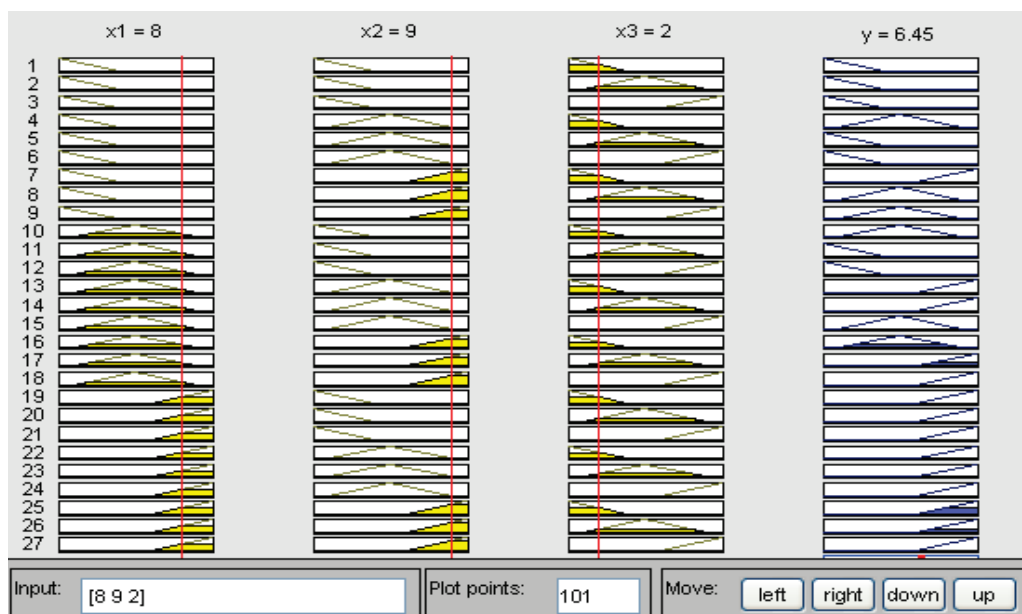


Рис. 3. Графічний інтерфейс програми перегляду правил для першого випадку перевірки системи нечіткого висновку

Далі виконаємо перевірку для значень змінних $x_1 = 3$, $x_2 = 2$, $x_3 = 6$. При цьому вихідна змінна $y = 4,01$ (модель [6] видає значення 3,2), що свідчить про низьку причетність вантажу до протиправної діяльності. Як видно, отримана оцінка у цьому випадку також збігається з інтуїтивними міркуваннями.

Порівняння результатів нечіткого висновку для двох розглянутих варіантів значень вхідних змінних свідчить, що граничне значення вихідної змінної, яке впливає на рішення щодо пропуску вантажу через ДК, може бути вибрано в межах 5 балів.

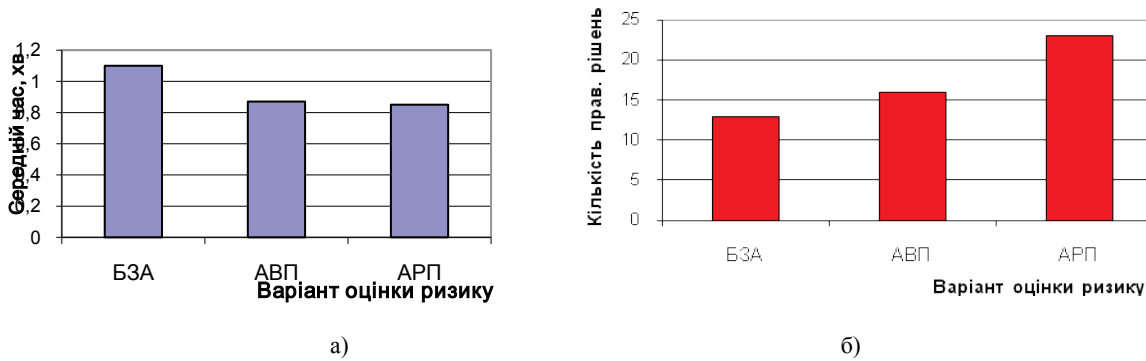
Практичну реалізацію цієї моделі здійснено у вигляді програмного модуля «Оцінка ризику вантажів», який запропоновано включити до складу підсистеми «РИЗИК».

Перевірку адекватності розробленої моделі нечіткого логічного висновку здійснено за допомогою експерименту. Експеримент проводився на базі кафедри прикордонного контролю Національної академії ДПСУ. Для експерименту були відібрані дані щодо вантажів, які перетинали пункти пропуску різного призначення через ДК у різний час.

В експерименті брали участь три навчальні групи інспекторів: дві контрольні й одна експериментальна (по 20 слухачів у кожній). Під час експерименту кожному ІПК надавалися відомості стосовно 30 вантажів, які «переміщувались через ДК» — по 15 кожній категорії (контрабанда наявна та контрабанда відсутня). Завданням інспекторів першої контрольної групи було оцінити вантаж та віднести його до однієї з двох категорій без застосування засобів автоматизації. Завдання інспекторів другої контрольної групи — оцінка вантажу та віднесення його до однієї з двох категорій із застосуванням програмного модуля на підставі моделі [6].

Завдання інспекторів експериментальної групи полягало в оцінці вантажів та віднесення їх до однієї з двох категорій із застосуванням засобів автоматизації (розробленого автором програмного модуля «Оцінка ризику вантажів»). Після введення останнього параметра видається оцінка ризику в балах. Якщо вона знаходиться в межах 5–10 балів, то вантаж оцінюється як причетний до зберігання контрабанди.

Під час експерименту оцінювались такі показники: час, який витрачався на оцінку вантажу; якість прийнятого рішення — оцінка вантажу збігається з відомою (правильне рішення), оцінка не збігається (неправильне рішення). Результати експерименту, які подано на рис. 4а — стосовно часу на оцінку вантажу, на рис 4б — стосовно якості прийнятих рішень свідчать, що застосування розробленого програмного модуля на основі моделі нечіткого логічного висновку «Оцінка ризику вантажів» надає можливість: зменшити час на оцінку особи у 1,3 рази порівняно з оцінкою ризиків без засобів автоматизації; збільшити кількість правильних рішень у 1,8 рази порівняно з оцінкою ризиків без засобів автоматизації та у 1,3 рази порівняно з відомим підходом.



а) б)

Рис. 4. Результати експериментальної перевірки:

БЗА — без засобів автоматизації; АВП — автоматизація (відомий підхід);

АРП — автоматизація (розроблений підхід)

Висновки

Отже, у статті подано модель нечіткого логічного висновку щодо оцінки ризику вантажів, які переміщуються через ДК, та здійснено її експериментальну перевірку. Застосування цієї моделі на відміну від існуючих надає такі можливості: використання якісних показників; урахування неточної, приблизної інформації про значення ознак; використання знань фахівців з діяльності ДПСУ — експертів, які подаються у вигляді нечітких правил висновку; отримання якіснішої оцінки досліджуваного об'єкта під час оцінки ризиків. Упровадження цієї моделі у складі програмно-алгоритмічного забезпечення інформаційно-телекомунікаційних систем ДПСУ надасть змогу скоротити час на профілювання ризиків.

Запропонований підхід вимагає розробки методів формалізації знань і досвіду, накопичених експертами (офіцерами штабів; керівниками підрозділів, органів, управлінь, Адміністрації ДПСУ; інспекторами; викладачами, розробниками тощо), що є перспективою подальших досліджень у цьому напрямку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Про Концепцію розвитку Державної прикордонної служби України на період до 2015 року [Електронний ресурс] : Указ Президента України від 19 черв. 2006 р. № 546/2006 // Комп'ютерна інформаційно-правова система «Ліга». — Режим доступу до журналу : www.liga.net.
2. Про введення в дію інструкції з аналізу ризиків у Державній прикордонній службі України : Наказ Адміністрації Державної прикордонної служби України від 28 грудня 2009 р. № 1035. — К. : АДПСУ, 2009.
3. Альбом схем з організації та здійснення прикордонного контролю. — Хмельницький : Видавництво НАДПСУ, 2006. — 136 с.
4. Про прийняття на озброєння підсистеми «Ризик» : Наказ Голови ДПСУ від 02 черв. 2005 р. № 511 / Державна прикордонна служба України. — Офіц. вид. — К., 2005.
5. Литвин М. М. Методики оперативного-тактичних розрахунків : навч. посіб. / М. М. Литвин, А. Б. Мисик, І. С. Катеринчук. — Хмельницький : Видавництво Національної академії Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, 2004. — 82 с.
6. Городнов В. П. Модель визначення ступеня відповідності об'єкта уваги даним про потенційного порушника в пунктах пропуску через державний кордон / В. П. Городнов, В. А. Кириленко, Р. Г. Каратаєв // Збірник наукових праць № 46. Ч. II. — Хмельницький : Видавництво Національної академії Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, 2009. — С. 18—22.
7. Балдин К. В. Риск-менеджмент : учеб. пос. / К. В. Балдин. — М. : Эксмо, 2006. — 368 с.
8. Head G. L. Essentials of Risk Management / G. L. Head, I. I. Horn. — Insurance Institute of America. — 1994. — 230 p.
9. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MatLab / С. Д. Штовба. — М. : Горячая линия-Телеком, 2007. — 288 с.

Рекомендована кафедрою комп'ютерних систем управління

Стаття надійшла до редакції 23.02.11

Рекомендована до друку 15.03.11

Андрощук Олександр Степанович — доцент кафедри інженерного та технічного забезпечення охорони державного кордону.

Національна академія Державної прикордонної служби України ім. Богдана Хмельницького, Хмельницький