

# Охорона правопорядку

УДК 004. 89; 519.816; 351.746.1

О.С. Андрощук, О.В. Михайленко

*Національна академія Державної прикордонної служби України  
імені Богдана Хмельницького, Хмельницький*

## АНАЛІЗ ДІЛЯНКИ ДЕРЖАВНОГО КОРДОНУ ЩОДО ПРОТИПРАВНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЧІТКОГО ЛОГІЧНОГО ВИВОДУ

*Розроблено модель нечіткого логічного виводу щодо оцінки ризику здійснення правопорушення на ділянці державного кордону. Застосування моделі надає можливість: використання якісних показників; урахування неточної, приблизної інформації; використання знань фахівців, які подаються у вигляді нечітких правил. Складність побудови нечіткої моделі виводу вирішується за допомогою ієрархічної системи виводу та баз знань.*

**Ключові слова:** модель, база знань, ризик, правопорушення на державному кордоні.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Одним із напрямків удосконалення управління підрозділами та органами охорони державного кордону (ДК) є підвищення оперативності й якості [1]. Коло завдань у такій обстановці суттєво зростає, причому більшість із них має слабоформалізований та неформалізований характер, умови їх вирішення безперервно ускладнюються. Потреба в нових методах управління органами охорони ДК особливо виявляється під час кримінального аналізу [2]. Особливо нагально це питання постає відносно аналізу ділянок ДК поза пунктами пропуску.

Постановку математичної задачі з оцінки ризику здійснимо у вигляді оцінки нелінійного об'єкту 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 правопорушення на ділянці ДК. Вихідна змінна  $y$  є показником ступеня можливості використання ділянки для здійснення правопорушення у сфері безпеки ДК.

Для автоматизації кримінального аналізу у Державній прикордонній службі України (ДПСУ) застосовується система "Analyst's Notebook" [3]. Аналіз її застосування свідчить, що відпрацьовано питання автоматизації виявлення та візуалізації зв'язків особи що причетна до незаконної діяльності (в основному на підставі телефонних дзвінків). Питання аналізу (обробки) цієї інформації залишаються прерогативою персоналу ДПСУ на підставі його досвіду, інтуїції, суб'єктивних уявлень. Оцінка причетності осіб до правопорушників не здійснюється.

Тобто, існуючі інформаційно-телекомунікаційні системи не в змозі здійснити достатньо оперативну й якісну підтримку прийняття рішення з питань

кримінального аналізу і вимагають подальшого вдосконалення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** свідчить, що питання інформаційно-аналітичної підтримки оперативно-розшукової діяльності, дізнання та слідства розглядаються у науковій літературі [4 – 6 тощо]. Одночасно саме інструментальні засоби кримінального аналізу досліджено недостатньо. Для здійснення кримінального аналізу необхідно застосовувати не тільки якісні судження про факти здійснення злочину, але й різноманітні методи їх кількісного аналізу.

У роботі [7] подано дослідження, що спрямовані на автоматизацію розподілу сил і засобів в охороні ДК на підставі методів оптимізації. Водночас, вирішенню завдань кримінального аналізу приділено недостатню увагу. У роботі [8] запропоновано модель, яка основана на бінарній інтерпретації ознак (індикаторів ризику) опису ділянки. Аналіз цієї моделі засвідчив, що така інтерпретація не є придатною для оцінки більшості індикаторів ризику, які мають якісний характер.

У роботі [9] запропоновано алгоритм, який дозволяє перевіряти достовірність та якість вихідної інформації.

В інших предметних сферах для здійснення аналізу найчастіше використовують апарат теорії ймовірностей та математичної статистики [10; 11]. Однак, ураховуючи, що прийняття рішень на підставі кримінального аналізу, відбувається в умовах, коли: події не відбуваються з достатньою періодичністю; більшість ознак є якісними і подаються природно-мовними описами, а їх оцінка здійснюється на підставі розмитих думок та оцінок експертів; інформація про основні параметри є неповною і нечіткою тощо, – застосування імовірнісних методів 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.

Питання оцінки ризиків осіб та транспортних засобів, які перетинають ДК із застосуванням моделей нечіткого логічного висновку розглядалось в

роботи [12], на підставі 3 – 5 ознак опису об'єкта дослідження. Дослідження більш складних моделей з великою кількістю ознак (табл. 1) не проводились.

**Мета статті** – дослідження використання методологічного апарату теорії нечіткої логіки та подання інструментальних засобів автоматизації аналізу вхідних даних щодо причетності ділянки ДК до правопорушення на підставі моделі системи нечіткого виводу з кримінального аналізу із застосуванням ієрархічного підходу.

Таблиця 1

Аналіз ділянки ДК щодо протиправної діяльності

№ з/п	Назва задачі оцінки ризиків	Ознаки опису (вхідні змінні)	Ступінь причетності до правопорушення (вихідні змінні)	Керівні дії
1	Ділянки ДК, прикордонного району) поза пунктами пропуску	$x_1$ – попередні факти правопорушень, що були виявлені на ділянці ДК, або ознаки здійснення правопорушення чи підготовки до нього	Ступінь можливості використання ділянки для здійснення правопорушення	Корегування завдань прикордонних нарядів, інспекторів прикордонної служби
$x_2$ – характер і тип рельєфу, скриті підступи до кордону (об'єкти) як на суміжній, так і на нашій території				
$x_3$ – наявність природних і штучних перепон (річки, озера, болота, гідротехнічні споруди тощо)				
$x_4$ – наявність і стан доріг залізничних (автобусних) станцій і ділянки повільного руху транспортних засобів				
$x_5$ – наявність організацій, підприємств на ділянці підрозділу, їх вид діяльності				
$x_6$ – наявність пособницької бази в населених пунктах, у т. ч. і за кордоном				
$x_7$ – економічний стан регіону				
$x_8$ – національний склад населення				
$x_9$ – види релігії, традиції, звичаї				
$x_{10}$ – політичний настрій				

## Виклад основного матеріалу

Запропоновано застосування моделі нечіткого логічного виводу для оцінки ділянок ДК, відповідно до постановки математичної задачі (1). Нечіткий логічний вивід – це апроксимація залежності “входи-виходи” на основі лінгвістичних висловлювань <ЯКЩО–ТО>. Наприклад, якщо прикордонний район, має високий рівень правопорушень, та пособницька база, має високий рівень, то ступінь можливості використання ділянки для протиправної діяльності є високою.

Структура системи нечіткого висновку містить такі модулі [13]:

фазифікатор, який перетворює фіксований вектор вхідних змінних (чинників впливу) (X) у вектор нечітких множин, що необхідні для нечіткого виводу;

нечітка база знань, що складається з: бази правил, яка містить інформацію про залежність  $Y=f(X)$  у вигляді лінгвістичних правил <ЯКЩО–ТО> та призначена для формального подання емпіричних знань або знань експертів у предметній сфері; бази

даних, що містить параметри функцій належності та коефіцієнти важливості правил;

функції належності, які використовують для подання лінгвістичних термів у вигляді нечітких множин;

машина нечіткого логічного виводу, яка на основі правил бази знань визначає значення вихідної змінної у вигляді множини  $\tilde{Y}$ , що відповідає нечітким значенням вхідних змінних ( $\tilde{X}$ );

дефазифікатор, який перетворює вихідну нечітку множину  $\tilde{Y}$  у чітке число Y.

Змістовна інтерпретація нечіткої моделі передбачає вибір і специфікацію вхідних та вихідних змінних відповідної системи нечіткого виводу. Кожна ознака див. табл. 1 формалізується як рівень відповідності ділянки до здійснення правопорушень. Наприклад, рівень попередніх фактів правопорушень, що були виявлені на ділянці ДК, або ознак здійснення правопорушення чи підготовки до нього –  $x_1$ : Вочевидь, що чим вищою є оцінка, тим більше ділянка може бути застосована для протиправної діяльності.

У нашому випадку 10 вхідних змінних. Для уточнення моделі у подальшому можуть застосовуватись додаткові показники.

Вихідною змінною є рівень ступеня можливості використання ділянки для здійснення правопорушення – D: пересування нелегальних мігрантів, перевезення контрабанди, зброї, наркотиків тощо.

У нечіткій моделі аналізу застосування ділянки ДК 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 персоналом на підставі їх знань та досвіду. Як терм-множини змінних будемо використовувати множину  $L_1 = \{\text{“низький”}, \text{“середній”}, \text{“високий”}\}$  рівень.

Побудову функцій належності термів “низький”, “середній”, “високий”, що використовуються для лінгвістичної оцінки змінних, можливо здійснити за допомогою методу статистичної обробки експертної інформації, який поданий у [13].

Наступний крок – побудова нечіткої бази знань. Опис задачі аналізу ділянки ДК потребує значної кількості правил (табл. 1). При великій кількості параметрів стану побудова системи висловлювань “входивиход” стає досить складною. Це зумовлено тим,

що в оперативній пам’яті людини одночасно утримується не більше  $7 \pm 2$  понять-ознак [14]. У складних системах, стан яких характеризується великою кількістю ознак, виникає проблема забезпечення повноти бази знань. Відомо, що кількість правил, необхідних для опису n вхідних змінних, значення яких визначається з використанням m термів, дорівнює  $R = m^n$  [13]. Наприклад, в нашому випадку,  $n = 10, m = 3$ , тоді кількість правил  $R = 3^{10} = 1000$ . Отже, кількість правил збільшується експоненційно зі збільшенням кількості вхідних змінних, що призводить до збільшення часу та складності виведення логічного рішення. Бази знань, що містять велику кількість правил, є складними у сприйнятті, редагуванні і використанні. Але процес прийняття рішень вимагає, проте, повного осмислення особливої ситуації. Це протиріччя розв’язується шляхом побудови ієрархічної бази знань [15]. Подібний підхід відповідає ієрархічній структурі процесу діяльності ДПСУ в особливих ситуаціях. У зв’язку з цим доцільно провести ієрархічну класифікацію параметрів стану і по ній побудувати дерево висновку, яке буде визначати систему вкладених одне в одне висловлювань-знань меншої розмірності. Приклад такого дерева для 10 вхідних змінних (табл. 1) показано на рис. 1.

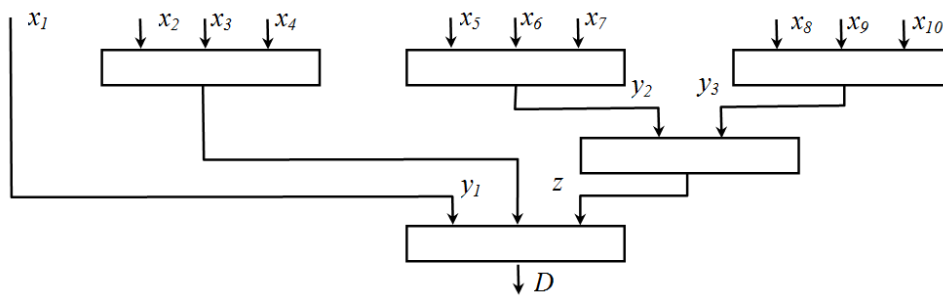


Рис. 1. Приклад дерева ієрархічного виводу

З прикладу видно, що знання виду

$$D = f_1(x_1, x_2, \dots, x_{10})$$

про зв’язок входів  $x_1 - x_{10}$  з виходом D, замінюються послідовністю співвідношень:

$$D = f_1(x_1, y_1, z), y_1 = f_2(x_2, x_3, x_4), y_2 = f_3(x_5, x_6, x_7), y_3 = f_4(x_8, x_9, x_{10}), z = f_5(y_2, y_3),$$

де  $y_1, y_2, y_3, z$  – проміжні лінгвістичні змінні.

Отже, кількість правил

$$R = 3^3 + 3^3 + 3^3 + 3^2 + 3^3 = 27 + 27 + 27 + 9 + 27 = 117,$$

що значно менше в порівнянні зі звичайним виводом.

За рахунок принципу ієрархічності можна враховувати практично необмежену кількість параметрів стану, що впливають на загальну оцінку. Доцільність порівневого подання експертних знань обумовлено не лише природною ієрархічністю об’єктів оцінювання, але й необхідністю врахування додаткових параметрів стану у міру накопичення знань про об’єкт. Крім того, використання принципу ієра-

рхічності надає можливість спростити правила та зменшити їх кількість.

На підставі експертного опитування побудовано нечіткі бази знань нечітких систем

$$D = f_1(x_1, y_1, z), y_1 = f_2(x_2, x_3, x_4), y_2 = f_3(x_5, x_6, x_7), y_3 = f_4(x_8, x_9, x_{10}), z = f_5(y_2, y_3),$$

які наведені в табл. 2.

Методом активації буде min. Оскільки в усіх правилах як логічна зв’язка для підумов застосовується лише нечітка кон’юнкція (операція “I”), 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.

Особливістю нечіткого логічного виводу по ієрархічній базі знань є відсутність процедур дефазифікації і фазифікації для проміжних змінних ( $y_1, y_2, y_3$  та z на рис. 1).

Таблиця 2

## Нечіткі бази знань

Нечітка база знань щодо $y_1 = f_2(x_2, x_3, x_4)$				Нечітка база знань щодо $y_2 = f_3(x_5, x_6, x_7)$			
Низький	Низький	Низький	Низький	Низький	Низький	Низький	Низький
Середній	Низький	Низький	Низький	Низький	Середній	Середній	Середній
Середній	Високий	Низький	Середній	Середній	Високий	Середній	Середній
Високий	Середній	Високий	Середній	Середній	Середній	Високий	Середній
Високий	Високий	Високий	Високий	Високий	Високий	Високий	Високий
Нечітка база знань щодо $y_3 = f_4(x_8, x_9, x_{10})$				Нечітка база знань щодо $z = f_5(y_2, y_3)$			
Низький	Середній	Низький	Низький	Низький	Середній	Низький	
Низький	Низький	Середній	Середній	Низький	Низький	Низький	
Середній	Середній	Низький	Середній	Середній	Низький	Низький	
Середній	Середній	Середній	Середній	Середній	Середній	Середній	
Високий	Середній	Високий	Високий	Високий	Середній	Середній	
Високий	Високий	Високий	Високий	Високий	Високий	Високий	
Нечітка база знань щодо $D = f_1(x_1, y_1, z)$							
Низький	Середній	Низький	Низький	Середній	Середній	Середній	Середній
Низький	Низький	Середній	Низький	Високий	Середній	Середній	Середній
Середній	Середній	Низький	Середній	Високий	Середній	Високий	Високий

Результат логічного виводу у вигляді нечіткої множини безпосередньо передається в машину нечіткого логічного виведення наступного рівня ієрархії. Тому для опису проміжних змінних в ієрархічних нечітких базах знань досить задати тільки термножини, без визначення функцій належності.

Реалізацію моделі нечіткого логічного виводу здійснено з використанням пакету fuzzyTech. Було знайдено значення вихідної змінної D, для заданих вхідних змінних:

$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	D
9	8	9	8	8	6	7	6	2	4	8,5
2	1	2	2	3	1	8	7	5	6	3,2

На рис 2 зображено ієрархічну схему нечіткого логічного виводу, яку побудовано в середовищі fuzzyTech 5.8.

Отримані результати співпадають з інтуїтивно отриманими.

Практичну реалізацію цієї моделі здійснено у вигляді програмного модуля “Аналіз ділянки кордону”, яку запропоновано включити до складу підсистеми “РИЗИК”.

Перевірку адекватності розробленої моделі нечіткого логічного висновку здійснено за допомогою експерименту. Експеримент проводився на базі кафедри прикордонної служби Національної академії ДПСУ. Для експерименту були відібрані дані щодо ділянок, які використовувались для протиправної

діяльності через ДК у різний час, у різних відділах прикордонної служби.

В експерименті брали участь три навчальні групи: дві контрольні й одна експериментальна (по 20 слухачів у кожній). Під час експерименту кожному слухачу надавалися відомості стосовно 30 ділянок ДК, по 15 кожної категорії (контрабанда наявна та контрабанда відсутня). У завдання інспекторів першої контрольної групи входило оцінити ділянку та віднести її до однієї з двох категорій (висока та низька ступінь причетності до протиправної діяльності) без застосування засобів автоматизації. У завдання слухачів другої контрольної групи входило оцінити ділянку та віднести її до однієї з двох категорій із застосуванням програмного модуля на підставі моделі [8].

Завдання інспекторів експериментальної групи полягало в оцінці вантажів та віднесення їх до однієї з двох категорій із застосуванням засобів автоматизації (розробленого автором програмного модуля “Аналіз ділянки кордону”). Після введення останнього параметру видається оцінка ризику в балах. Якщо вона знаходиться в межах 5–10 балів, то ділянка оцінюється високим рівнем можливості здійснення контрабандної діяльності.

Під час експерименту оцінювались такі показники: час, який витрачався на оцінку ділянки; якість прийнятого рішення – оцінка ділянки співпадає з існуючою (правильне рішення), оцінка не співпадає (неправильне рішення).

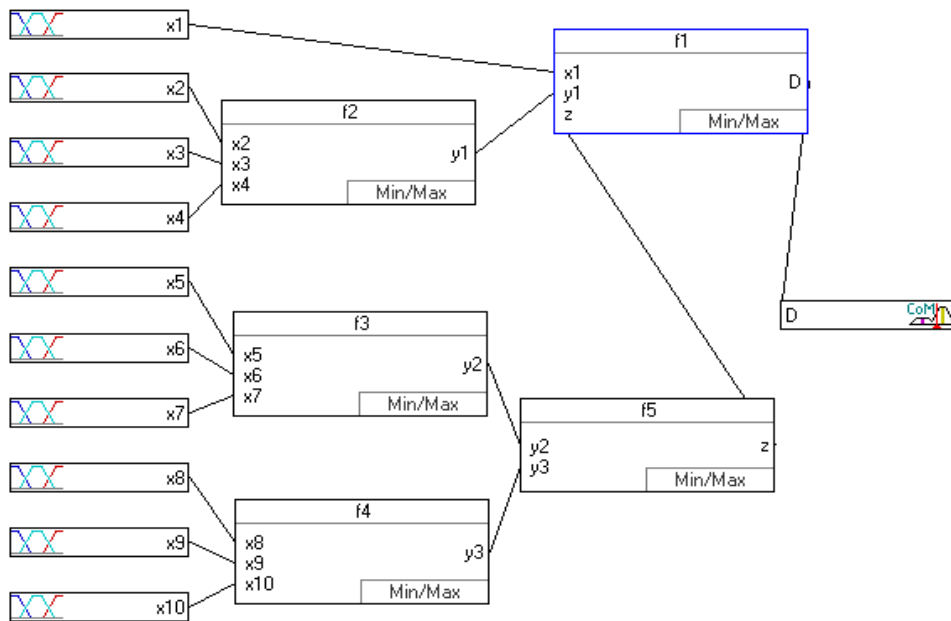


Рис. 2. Ієрархічна схема нечіткого логічного виводу

Результати експерименту, які подано на рис. 3, а (щодо часу на оцінку ділянки) і на рис. 3, б (щодо якості прийнятих рішень), свідчать, що застосування розробленого програмного модуля на основі моделі ієрархічного нечіткого логічного висновку “Оцінка ризику ділянки ДК” надає змогу: зменшити час на оцінку особи у 1,7 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 1,2 рази порівняно з відомим підходом.

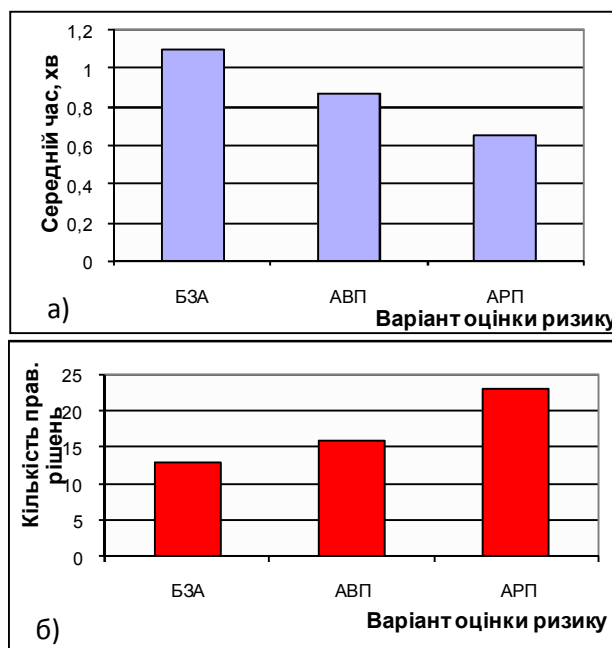


Рис. 3. Результати експериментальної перевірки:  
 БЗА – без засобів автоматизації;  
 АВП – автоматизація (відомий підхід);  
 АРП – автоматизація (розроблений підхід)

## Висновки

Отже, у статті подано модель нечіткого логічного виводу щодо аналізу використання ділянки ДК для протиправної діяльності та здійснено її експериментальну перевірку. На відміну від існуючих моделей надає можливість: використання якісних показників; урахування неточної інформації про значення ознак; використання знань фахівців з прикордонної служби – експертів, які подаються у вигляді нечітких правил виводу; отримання більш якісної оцінки об'єкта, що досліджується під час профілювання ризиків. Складність побудови нечіткої моделі виводу вирішується за допомогою ієрархічної системи виводу та баз знань. Упровадження цієї моделі у складі програмного забезпечення інформаційно-телекомунікаційних систем ДПСУ надасть змогу скоротити час на профілювання ризиків та підвищити якість рішень, які приймаються.

Запропонований підхід вимагає розробки методів формалізації знань і досвіду, накопичених експертами (офіцерами штабів, керівниками підрозділів (органів), інспекторами); викладачами; розробниками інтегрованої інформаційно-телекомунікаційної системи “Гарт”), що є перспективою подальших досліджень у цьому напрямку.

## Список 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 журн. : [www.liga.net](http://www.liga.net).
2. Яніцкі М. Оперативний кримінальний аналіз. Міжнародна організація з міграції / М. Яніцкі. – К., 2009.
3. IBM i2 Analyst's Notebook: Режим доступу : <http://www-01.ibm.com/common/ssi/cgi-bin>.

4. Яковец Е.Н. Проблемы аналитической работы в оперативно-розыскной деятельности органов внутренних дел : [монография] / Е.Н. Яковец. – М. : Изд. дом Шумиловой И.И., 2005. – 219 с.

5. Захаров В.П. Проблемы інформаційного забезпечення правоохоронних структур : [навч.-практ. посіб.] / В.П. Захаров, В.І. Рудешко. – Львів : ЛьвДУВС, 2007. – 372 с.

6. Белов О. А. Информационное обеспечение раскрытия и расследования преступлений : [монография] / О. А. Белов. – М. : Юрлитинформ, 2009. – 136 с.

7. Литвин М. М. Методики оперативно-тактичних розрахунків : навчальний посібник / М. М. Литвин, А. Б. Мисик, І. С. Катеринчук. – Хмельницький : Видавництво НАДПСУ імені Богдана Хмельницького, 2004. – 82 с.

8. Сторожук В. Ф. Ідентифікація типу протиправних ситуацій, що виникають на гірсько-лісистій ділянці відділу прикордонної служби / В. Ф. Сторожук // Збірник наукових праць № 53. Ч. II. – Хмельницький : Видавництво НАДПСУ імені Богдана Хмельницького, 2010. – С. 52–55.

9. Фаріон О. Б. Алгоритм опрацювання оперативно-розшукової інформації для забезпечення потреб кримінального аналізу злочинної діяльності / О. Б. Фаріон // Збірник наукових праць НАДПСУ. Серія : військові та технічні науки / [гол. ред. Олексієнко Б. М.]. – Хмельницький : Видавництво НАДПСУ, 2013. – № 1(59). – С. 194–203.

10. Балдин К. В. Риск-менеджмент : учебное пособие / К. В. Балдин. – М.: Эксмо, 2006. – 368 с.

11. Head G. L. Essentials of Risk Management / G.L. Head, I. I. Horn. - Insurance Institute of amca, – 1994. – 230 p.

12. Андрощук О. С. Модель нечіткого логічного виводу оцінки ризику пропуску правопорушників через державний кордон / О. С. Андрощук, Е. В. Матусяк // Збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації НТУ України “КПІ”. – К. : ВІТІ НТУУ “КПІ”, 2011. – Вип. 1. – С. 27–37.

13. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MatLab / С. Д. Штовба. – М. : Горячая линия–Телеком, 2007. – 288 с.

14. Miller G. A. The Magic Number Seven Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information / G. A. Miller // Psychological Review. – 1956. – №63. – P. 81–97.

15. Wang L. X. Analysis and design of Hierarchical Fuzzy Systems / L. X. Wang // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – 1999. – № 7(5). – P. 617–624.

Надійшла до редколегії 5.11.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.А. Дробаха, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

#### АНАЛИЗ УЧАСТКА ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГРАНИЦЫ ПО ПРОТИВОПРАВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА

А.С. Андрощук, А.В. Михайленко

Разработана модель нечеткого логического вывода по оценке риска совершения правонарушения на участке государственной границы. Применение модели позволяет: использование качественных показателей; учитывать неточную, приблизительную информацию, использование знаний специалистов, которые представляются в виде нечетких правил. Сложность построения нечеткой модели вывода преодолевается с помощью иерархической системы вывода и баз знаний.

**Ключевые слова:** модель, база знаний, риск, правонарушения на государственной границе.

#### ANALYSIS ON STATE BORDER ILLEGAL ACTIVITIES USING FUZZY LOGIC INFERENCE

A.S. Androshchuk, A.V. Mikhaylenko

Developed dataware identification crisis, emergencies and events in operational performance and develop recommendations for their localization (liquidation). The fundamentals of practical application of intelligent decision support system managers (duty) on the management offices and entities of state border protection in these situations.

**Keywords:** the situation, the algorithm, the system solution.