

УДК 004. 89; 519.816; 351.746.1

С.В. Онищук

*Національна академія Державної прикордонної служби України  
імені Б. Хмельницького, Хмельницький*

## ПРОГНОЗУВАННЯ ПРОТИПРАВНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НА ДЕРЖАВНОМУ КОРДОНІ ПОЗА ПУНКТАМИ ПРОПУСКУ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

*На основі аналізу наявних методичних підходів до прогнозування протиправної діяльності на державному кордоні запропоновано використання для прогнозування протиправної діяльності поза пунктами пропуску математичних моделей на базі апарату нечіткої логіки. Розроблено математичну модель прогнозу протиправної діяльності на ділянці відповідальності органу охорони державного кордону поза пунктами пропуску з використанням апарату нечіткої логіки та здійснено її експериментальну перевірку. Складність побудови моделі нечіткого логічного виводу з великою кількістю вхідних показників вирішується шляхом побудови ієрархічного дерева нечіткого логічного виводу.*

**Ключові слова:** прогнозування, протиправна діяльність, державний кордон, нечітка логіка.

### Вступ

#### Постановка проблеми у загальному вигляді.

Прогнозування протиправної діяльності поза пунктами пропуску являється досить складним завданням так як статистичних даних щодо таких правопорушень значно менше ніж в пунктах пропуску, особливо на ділянках, які не являються «активними». Складність такого прогнозування також обумовлюється великою кількістю факторів, які впливають на здійснення протиправної діяльності. До таких факторів відносяться: соціально-економічний стан в прикордонних районах України та суміжної країни, наявність та розмір різниці в цінах на певні види товарів в Україні та суміжній країні, зайнятість населення прикордоння, густина населеності прикордонних районів, стан під'їзних маршрутів, прохідність ділянки в залежності від пори року та погодних умов, наявність та тяжкість відповідальності (кримінальної, адміністративної, матеріальної) за певні види правопорушень, стан охорони кордону та стан інженерного обладнання ділянки, як з боку

України так і з суміжної держави та ін. Більшість із цих факторів досить складно оцінити та описати кількісними показниками, разом з тим вони можуть бути описані якісними показниками.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опирається автор.** Завданням прогнозування присвячено низку досліджень, зокрема роботи таких авторів, як Дж. Бокс, Г. Дженкінс, В.П. Боровіков, Г.І. Івченко, А.М. Єріна, В.С. Анфілатов, А.Л. Ємельянов, А.А. Кукушкін, І.В. Бестужев-Лада, О.В. Лозова, Г.В. Присенко, Є.І. Равікович, М.П. Лукашевич, І.І. Мигович, О.Г. Льовкіна [1, 2] та ін.

Дослідженням питань прогнозування у військовій справі займалися вчені Ю.В. Чуєв, Ю.Б. Михайлов. Організаційні та методологічні підходи до прогнозування в управлінській діяльності органів внутрішніх справ України розкрито в роботі Ю.Ф. Кравченка. Загальне завдання прогнозування показників службової діяльності прикордонних структур частково розглядалось А.Ф. Кучковим та Н.Ф. Лукашевичем. Питання прогнозування в Державній прикордонній службі ра-

ніше досліджувалися в роботах вчених О.С. Андрощука, В.П. Городнова, В.І. Денисова, В.А. Кириленка, А.П. Курашкевича, В.М. Серватюка, В.Ф. Сторожука, Д.В. Хруста, М.Ю. Цибровського. Однак у вказаних роботах в основному досліджувалися питання прогнозування показників діяльності пунктів пропуску через ДК, прогнозування прикордонних конфліктів. В ряді робіт, які містять методики прогнозування обстановки на ДК, значна увага приділена питанням регіональної стабільності, військово-політичній, економічній обстановці. Крім того в цих роботах для прогнозування використовувалися в основному статистичні методи та теорія ймовірностей, які для отримання достовірних результатів потребують великої кількості статистичних даних. Протиправна діяльність поза пунктами пропуску як правило не дає можливості отримання великої кількості статистичних даних, особливо на ділянках, які не являються «активними». Тому виникає необхідність в розробці нових математичних моделей, які дадуть можливість здійснювати якісне прогнозування протиправної діяльності поза пунктами пропуску. Одним із методів вирішення цього завдання є використання математичних моделей на базі апарату нечіткої логіки, які добре себе показали у ряді досліджень, що висвітлені у роботах таких вчених, як А.П. Ротштейн, Ю.І. Мітюшкін, Б.І. Мокін, С.Д. Штовба [3 – 5].

**Метою статті є** створення математичної моделі прогнозу протиправної діяльності на ділянці відповідальності органу охорони державного кордону поза пунктами пропуску з використанням апарату нечіткої логіки.

## Основна частина

На здійснення протиправної діяльності на державному кордоні поза пунктами пропуску впливає досить велика кількість факторів, які неможливо врахувати в сукупності. На основі попередніх досліджень [6] та особистого досвіду було відібрано ті фактори, які найбільш суттєво впливають на стан протиправної діяльності і для яких є реальна можливість отримання експериментальних даних. З урахуванням цих факторів розроблено ієрархічне дерево логічного виводу прогнозованого ступеню небезпеки здійснення протиправної діяльності на окремій ділянці органу охорони державного кордону поза пунктами пропуску (рис. 1).

Представленому на рис. 1 дереву логічного виводу відповідає така система співвідношень:

$$Y = f_Y(Z_1, Z_2, Z_3, Z_4); \quad (1)$$

$$Z_1 = f_{Z_1}(x_{11}, x_{12}, x_{13}); \quad (2)$$

$$Z_2 = f_{Z_2}(x_{21}, x_{22}, x_{23}); \quad (3)$$

$$Z_3 = f_{Z_3}(x_{31}, x_{32}, x_{33}); \quad (4)$$

$$Z_4 = f_{Z_4}(x_{41}, x_{42}, x_{43}), \quad (5)$$

де  $Z_1$  – лінгвістична змінна, що описує стан протиправної діяльності на ділянці;

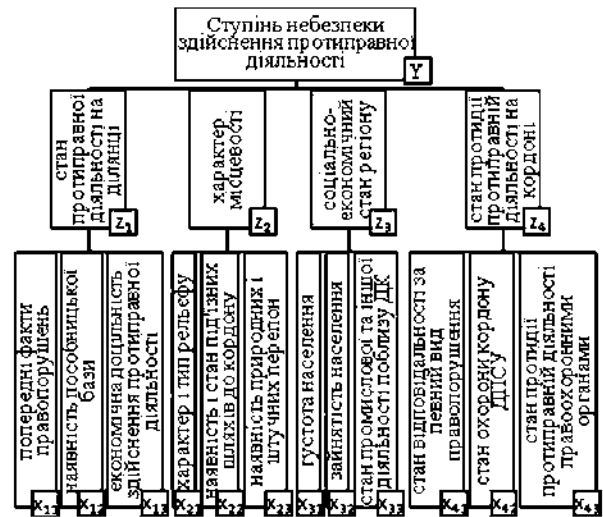


Рис. 1. Ієрархічне дерево логічного виводу прогнозованого ступеню небезпеки здійснення протиправної діяльності на окремій ділянці органу охорони державного кордону поза пунктами пропуску

$Z_2$  – лінгвістична змінна, що описує характер місцевості;

$Z_3$  – лінгвістична змінна, що описує соціально-економічний стан регіону;

$Z_4$  – лінгвістична змінна, що описує стан протидії протиправній діяльності на кордоні;

$f^*$  – функціональний зв'язок між вхідними та вихідними змінними.

У нечіткій моделі прогнозу ступеня небезпеки здійснення протиправної діяльності на окремій ділянці органу охорони державного кордону поза пунктами пропуску всі змінні подані як лінгвістичні універсальна множина яких  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$  вимірюється в балах в інтервалі дійсних чисел від 0 до 10 найбільш досвідченим персоналом виходячи з особистого досвіду та знань [6]. Як терм-множини змінних будемо використовувати:

для лінгвістичних змінних  $x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{22}, x_{23}, x_{31}, x_{32}, x_{33}, x_{41}, x_{42}, x_{43}, Z_1, Z_3, Z_4 - L_1 = \{\text{«низький»}, \text{«середній»}, \text{«високий»}\}$  рівень;

для лінгвістичних змінних  $x_{21}, Z_2, -L_2 = \{\text{«незручна»}, \text{«середня зручність»}, \text{«зручна»}\}$  рівень зручності;

для лінгвістичної змінної  $Y - L_3 = \{\text{«низький»}, \text{«нижче середнього»}, \text{«середній»}, \text{«вище середнього»}, \text{«високий»}\}$  рівень.

Для кожної лінгвістичної змінної  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Y$  створено нечітку базу знань типу «Якщо – то» (табл. 1 – 5). Опираючись на дослідження [7] кількість правил визначена для лінгвістичних змінних  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$  в межах від 9 до 14 правил, для лінгвістичної змінної  $Y$  в межах від 27 до 41 правила, що дозволить отримати компактні бази знань, які є прозорішими та легше навчаються (у порівнянні з базами даних з максимальною кількістю правил) через меншу складність відповідної задачі оптимізації.

Таблиця 1

Нечітка база знань для лінгвістичної змінної  $Z_1$ 

№ вхідної комбінації	Стан протиправної діяльності на ділянці			То $Z_1$
	Якщо			
	попередні факти правопорушень ( $x_{11}$ )	наявність пособ- ницької бази ( $x_{12}$ )	економічна доці- льність здійснення протиправної дія- льності ( $x_{13}$ )	
11	низький	низький	низький	низький
12	середній	низький	низький	
13	низький	середній	низький	
14	низький	низький	середній	
21	середній	низький	середній	середній
22	низький	середній	середній	
23	середній	середній	середній	
24	високий	низький	середній	
25	низький	середній	високий	
26	середній	високий	середній	
31	високий	високий	середній	високий
32	високий	середній	високий	
33	середній	високий	високий	
34	високий	високий	високий	

Таблиця 3

Нечітка база знань для лінгвістичної змінної  $Z_3$ 

№ вхідної комбінації	Соціально-економічний стан регіону			То $Z_3$
	Якщо			
	густота населення ( $x_{31}$ )	зайнятість населення ( $x_{32}$ )	стан проми- слової та іншої діяль- ності побли- зу ДК ( $x_{33}$ )	
11	низький	низький	низький	низький
12	середній	низький	низький	
13	низький	низький	середній	
14	середній	низький	середній	
15	високий	низький	середній	
21	середній	середній	низький	середній
22	низький	середній	середній	
23	високий	середній	низький	
24	високий	середній	середній	
25	середній	середній	високий	
31	середній	високий	середній	високий
32	високий	високий	середній	
33	високий	середній	високий	
34	високий	високий	високий	

Таблиця 2

Нечітка база знань для лінгвістичної змінної  $Z_2$ 

№ вхідної комбінації	Характер місцевості			То $Z_2$
	Якщо			
	характер і тип рельє- фу ( $x_{21}$ )	наявність і стан під'їзних шляхів до кордону ( $x_{22}$ )	наявність природних і штучних перепон ( $x_{23}$ )	
11	незручний	низький	високий	незручна
12	незручний	низький	середній	
13	середня зручність	середній	високий	
14	середня зручність	низький	середній	
15	зручний	низький	високий	
21	середня зручність	середній	середній	середня зручність
22	середня зручність	низький	низький	
23	незручний	середній	низький	
24	зручний	середній	середній	
25	зручний	низький	низький	
31	зручний	високий	середній	зручна
32	зручний	середній	низький	
33	середня зручність	високий	низький	
34	зручний	високий	низький	

Таблиця 4

Нечітка база знань для лінгвістичної змінної  $Z_4$ 

№ вхідної комбінації	Стан протидії протиправній діяльності на кордоні			То $Z_4$
	Якщо			
	стан відповідальності за певний вид право- порушення ( $x_{41}$ )	стан охорони кордону ДПСУ ( $x_{42}$ )	стан протидії проти- правній діяльності правоохоронними органами ( $x_{43}$ )	
11	низький	низький	низький	низький
12	низький	середній	низький	
13	низький	низький	середній	
14	низький	середній	середній	
15	високий	низький	середній	
21	середній	середній	низький	середній
22	середній	середній	середній	
23	середній	високий	низький	
24	середній	низький	високий	
25	середній	середній	високий	
31	середній	високий	середній	високий
32	високий	високий	середній	
33	високий	середній	високий	
34	високий	високий	високий	

Таблиця 5

Нечітка база знань для лінгвістичної змінної Y

№ вхідної комбінації	Ступінь небезпеки здійснення протиправної діяльності				Y	
	Якщо					То
	стан протиправної діяльності на ділянці (Z <sub>1</sub> )	характер місцевості (Z <sub>2</sub> )	соціально-економічний стан регіону (Z <sub>3</sub> )	стан протиправної діяльності на кордоні (Z <sub>4</sub> )		
11	низький	незручна	високий	середній	низький	
12	низький	незручна	високий	високий		
13	низький	незручна	середній	низький		
14	низький	незручна	середній	середній		
15	низький	незручна	низький	високий		
16	низький	сер. зручн.	високий	середній		
21	середній	незручна	низький	високий	нижче середнього	
22	середній	незручна	високий	низький		
23	низький	сер. зручн.	низький	високий		
24	середній	незручна	середній	середній		
25	низький	сер. зручн.	середній	високий		
26	низький	зручна	високий	середній		
27	низький	зручна	високий	високий		
28	низький	сер. зручн.	середній	низький		
31	середній	незручна	середній	низький	середній	
32	середній	сер. зручн.	середній	середній		
33	середній	сер. зручн.	низький	високий		
34	середній	незручна	низький	середній		
35	низький	зручна	низький	високий		
36	середній	зручна	високий	середній		
41	середній	незручна	низький	низький	вище середнього	
42	середній	зручна	середній	середній		
43	високий	зручна	середній	середній		
44	середній	зручна	високий	низький		
45	високий	сер. зручн.	середній	середній		
46	середній	зручна	середній	низький		
47	середній	зручна	низький	високий		
51	середній	сер. зручн.	низький	низький	високий	
52	високий	сер. зручн.	низький	середній		
53	високий	сер. зручн.	низький	низький		
54	середній	зручна	низький	низький		
55	високий	зручна	середній	низький		
56	високий	зручна	низький	середній		

Використовуючи методи запропоновані в роботах [3, 4] на основі нечіткої бази знань виведемо систему рівнянь:

$$\begin{aligned}
 \mu^H(Z_1) &= [\mu^H(x_{11}) \wedge \mu^H(x_{12}) \wedge \mu^H(x_{13})] \vee; \\
 &\vee [\mu^C(x_{11}) \wedge \mu^H(x_{12}) \wedge \mu^H(x_{13})] \vee \\
 &\vee [\mu^H(x_{11}) \wedge \mu^C(x_{12}) \wedge \mu^H(x_{13})] \vee \\
 &\vee [\mu^H(x_{11}) \wedge \mu^H(x_{12}) \wedge \mu^C(x_{13})]; \\
 \mu^C(Z_1) &= [\mu^C(x_{11}) \wedge \mu^H(x_{12}) \wedge \mu^C(x_{13})] \vee \\
 &\vee [\mu^H(x_{11}) \wedge \mu^C(x_{12}) \wedge \mu^C(x_{13})] \vee \\
 &\vee [\mu^C(x_{11}) \wedge \mu^C(x_{12}) \wedge \mu^C(x_{13})] \vee \\
 &\vee [\mu^B(x_{11}) \wedge \mu^H(x_{12}) \wedge \mu^C(x_{13})] \vee \\
 &\vee [\mu^H(x_{11}) \wedge \mu^C(x_{12}) \wedge \mu^B(x_{13})] \vee \\
 &\vee [\mu^C(x_{11}) \wedge \mu^B(x_{12}) \wedge \mu^C(x_{13})]; \\
 \mu^B(Z_1) &= [\mu^B(x_{11}) \wedge \mu^B(x_{12}) \wedge \mu^C(x_{13})] \vee \\
 &\vee [\mu^B(x_{11}) \wedge \mu^C(x_{12}) \wedge \mu^B(x_{13})] \vee \\
 &\vee [\mu^C(x_{11}) \wedge \mu^B(x_{12}) \wedge \mu^B(x_{13})] \vee
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

$$\vee [\mu^B(x_{11}) \wedge \mu^B(x_{12}) \wedge \mu^B(x_{13})],$$

де  $\mu^i(Z_1)$ ,  $i = H, C, B$  – функція належності вектора вхідних змінних  $X=(x_{11}, x_{12}, x_{13})$  значенню вихідної змінної  $Z_1$ ;  $\mu^i(x_{1j})$ ,  $i = H, C, B$ ,  $j = 1, 2, 3$  – функція належності параметра  $x_{1j}$  нечіткому терму  $i$ ;  $\wedge$  – логічне І;  $\vee$  – логічне АБО.

Аналогічним чином на підставі нечітких баз знань (табл. 1 – 5) виводяться системи рівнянь для параметрів  $Z_2, Z_3, Z_4, Y$ .

Реалізацію моделі здійснено з використанням пакету fuzzyTECH [8]. На рис. 2 зображена ієрархічна схема нечіткого логічного виводу побудована в середовищі fuzzyTECH 6.06a. Перевірку адекватності моделі здійснено шляхом проведення експерименту на базі Житомирського прикордонного загону. Експеримент проводився протягом року, прогнозування протиправної діяльності здійснювалося на місяць для кожного відділу прикордонної служби прикордонного загону за видами типових правопорушень. Оцінка вхідних параметрів здійснювалася групою досвідчених офіцерів управління прикордонного загону у балах в межах від 0 до 10.

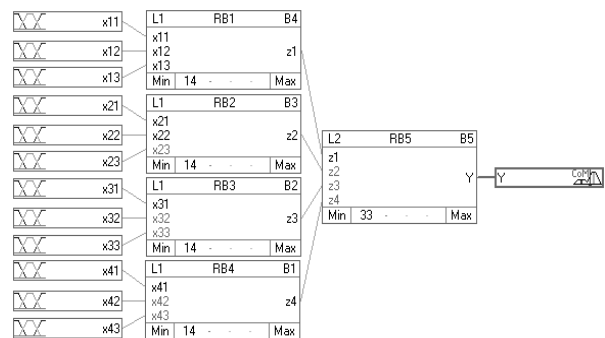


Рис. 2. Ієрархічна схема нечіткого логічного виводу побудована в середовищі fuzzyTech 6.06a

В табл. 6 подано фрагмент результатів прогнозу. Отримані результати експерименту (рис. 3) свідчать, що кількість правильних рішень прийнятих за результатами прогнозування з використанням нечіткої моделі прогнозу ступеня небезпеки здійснення протиправної діяльності на окремій ділянці органу охорони державного кордону поза пунктами пропуску збільшується у порівнянні з існуючими підходами [9] у 1,25 рази.

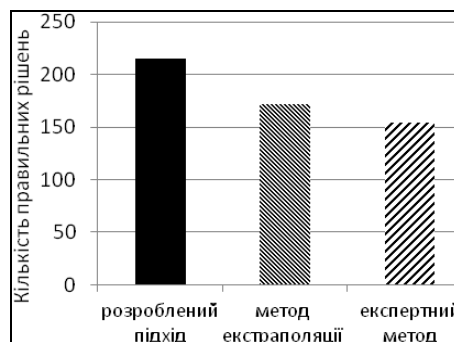


Рис. 3. Результати експериментальної перевірки

Таблиця 6

Результати експерименту

Відділи прикордонної служби	Вхідні змінні													Вихідна змінна Y
	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>21</sub>	X <sub>22</sub>	X <sub>23</sub>	X <sub>31</sub>	X <sub>32</sub>	X <sub>33</sub>	X <sub>41</sub>	X <sub>42</sub>	X <sub>43</sub>		
Іванків	0	1	1	7	2	8	1	8	2	3	7	7	2,3	
Млачівка	1	2	3	7	4	6	2	5	2	3	6	5	3,2	
Овруч	5	7	8	7	8	3	6	6	4	3	8	5	6,9	
Лучанки	5	6	7	7	6	4	5	4	4	3	7	4	6,7	
Копище	8	10	9	7	7	4	7	3	3	3	4	3	8,7	

### Висновки

У роботі розроблено математичну модель прогнозу протиправної діяльності на ділянці відповідальності органу охорони державного кордону поза пунктами пропуску з використанням апарату нечіткої логіки та здійснено її експериментальну перевірку. Використання цієї моделі дає можливість врахування під час прогнозування якісних показників, неточної та приблизної інформації, знань експертів з питань охорони кордону.

Складність побудови моделі нечіткого логічного виводу з великою кількістю вхідних показників вирішується шляхом побудови ієрархічного дерева нечіткого логічного виводу.

**Перспективи подальших розвідок у даному напрямку.** В ході подальших досліджень доцільно розробити методику прогнозування протиправної діяльності на ділянці відповідальності органу охорони державного кордону поза пунктами пропуску з використанням розробленої у роботі моделі.

### ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОТИВОПРАВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГРАНИЦЕ ВНЕ ПУНКТОВ ПРОПУСКА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

С.В. Онищук

На основе анализа имеющихся методических подходов к прогнозированию противоправной деятельности на государственной границе предложено использование для прогнозирования противоправной деятельности вне пунктов пропуска математических моделей на базе аппарата нечеткой логики. Разработана математическая модель прогноза противоправной деятельности на участке ответственности органа охраны государственной границы вне пунктов пропуска с использованием аппарата нечеткой логики и осуществлена ее экспериментальная проверка. Сложность построения модели нечеткого логического вывода с большим количеством входных показателей решается путем построения иерархического дерева нечеткого логического вывода.

**Ключевые слова:** прогнозирование, противоправная деятельность, государственная граница, нечеткая логика.

### PREDICTION ILLEGAL ACTIVITY ON THE STATE BORDER CROSSING POINTS OUTSIDE ON FUZZY LOGIC

S.V. Onyshchuk

Based on the analysis of existing methodological approaches to predicting illegal activities on the border suggested use for predicting illegal activities crossing points outside mathematical models based on fuzzy logic. Developed a mathematical model for predicting illegal activities in the areas of responsibility of guarding the state border crossing points outside using fuzzy logic and carried out its verification. The complexity of constructing a model of fuzzy inference with lots of input parameters is solved by constructing a hierarchical tree fuzzy inference.

**Keywords:** prediction of, illegal activities, state border, fuzzy logic.

### Список літератури

1. Бокс Дж. Анализ временных рядов. Прогноз и управление / Дж. Бокс, Г. Дженкинс. – М.: Мир, 1974.
2. Лукашевич М.П. Теорія і методи соціальної роботи : навч. посіб. / М.П. Лукашевич, І.І. Мигович. – 2-ге вид., доп. і випр. – К.: МАУП, 2003. – 168 с.
3. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации / А.П. Ротштейн. – Винница: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 1999. – 320 с.
4. Митюшкин Ю.И. Soft Computing: идентификация закономерностей нечёткими базами знаний / Ю.И. Митюшкин, Б.И. Мокин, А.П. Ротштейн. – Винница: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2002. – 145 с.
5. Штовба С.Д. Проектирование нечётких систем средствами MATLAB. / Штовба С.Д. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
6. Андрощук О.С. Оцінка ризику ділянки державного кордону щодо протиправної діяльності із застосуванням ієрархічного нечіткого логічного висновку / О.С. Андрощук, А.І. Войтович // Зб. наук. пр. Національної академії Державної прикордонної служби України імені Б. Хмельницького № 55. Ч. II. – Хмельницький, 2011. – С. 70-74.
7. Штовба С.Д. Вплив кількості нечітких правил на точність бази знань Мамдані / С.Д. Штовба, В.В. Мазуренко, О.Д. Панкевич // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2011. – № 2. – С. 185-188.
8. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и FuzzyTECH / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
9. Кириленко В.А. Математичний апарат прогнозу інтенсивності потоку виявлених типових правопорушень дільничними інспекторами прикордонної служби на ділянці відповідальності відділу прикордонної служби типу «В» / В.А. Кириленко, О.Б. Фаріон // Зб. наук. пр. Національної академії Державної прикордонної служби України імені Б. Хмельницького № 48/1. Ч. II. – Хмельницький, 2009. – С. 28-33.

Надійшла до редколегії 18.06.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, доц. О.С. Андрощук, Національна академія Державної прикордонної служби України ім. Б.Хмельницького, Хмельницький.