

УДК 355.4

В.В. Антоненць

*Академія внутрішніх військ МВС України, Харків*

## МОДЕЛЬ ЕШЕЛОНУ ІЗОЛЯЦІЇ РАЙОНУ ПРОВЕДЕННЯ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ РОБІТ ПРИ РЕАГУВАННІ НА НАДЗВИЧАЙНУ СИТУАЦІЮ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ

*Наведена математична модель ешелону ізоляції району проведення аварійно-рятувальних робіт при реагуванні угруповання внутрішніх військ на надзвичайну ситуацію техногенного характеру, яка адекватно описує порядок розрахунку раціонального складу ешелону, проведена оцінка надійності отриманих результатів.*

**Ключові слова:** екзогенна змінна, рівняння регресії, індекс кореляції, середня похибка апроксимації.

### Вступ

**Постановка проблеми.** При реагуванні на надзвичайну ситуацію техногенного характеру (НС) на угруповання внутрішніх військ можуть покладатися наступні завдання:

- блокування (ізоляція) району небезпечного для перебування;
- посилення зовнішньої охорони важливих об'єктів;
- посилення охорони громадського порядку в місцях розташування евакуйованого населення та прилеглих до місця аварії районах;
- евакуація засуджених, підсудних установи утримання яких можуть потрапити до зони небезпечної для перебування;
- участь у евакуації (відселенні) населення, супроводження колон.

Як правило для виконання окремого часткового завдання при реагуванні на НС створюється ешелон, група, назва яких відповідає назві службово-бойового завдання, або способу виконання завдання (пожежогасіння, рятувальна, відселення, евакуації спецконтингенту, організації дорожнього руху, охорони важливих об'єктів, карного розшуку, боротьби зі злочинами в сфері економіки, обліку втрат населення, надання допомоги постраждалим та їх родичам, блокування, патрулювання, резерв, інші). До складу ешелонів, груп можуть входити як сили одного структурного підрозділу територіальної підсистеми охорони громадського порядку єдиної державної системи запобігання та реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру так і декількох, від них виділяються наступні види нарядів: патрулі, пости охорони порядку, патрулі й пости охорони об'єктів, контрольно-пропускні пункти, патрулі по нагляду за дорожнім рухом, пости регулювання руху, резерв. Крім того, залежно від характеру конкретної надзвичайної обставини можуть призначатися варти, наряди для супроводу автоколон з населенням (поїздів, судів), заслони й ін. види нарядів.

Перераховані наряди залежно від їхнього складу можуть бути змішаними, тобто укомплектованими не тільки військовослужбовцями внутрішніх військ, але й працівниками міліції, військовослужбовцями Збройних Сил України. У статті завдання, щодо ізоляції району вважається окремим і самостійним, сили інших функціональних підрозділів, які залучені до його виконання вважаються приданими.

Для виконання службово-бойового завдання з блокування (ізоляція) району небезпечного для перебування від угруповання внутрішніх військ створюється ешелон ізоляції, Рішення на залучення сил внутрішніх військ (ВВ) до реагування на НС приймає старший оперативний начальник, рішення на дії військ приймає командувач внутрішніх військ (начальник управління територіального командування ВВ, командир військової частини). Старший оперативний начальник при визначенні розміру угруповання внутрішніх військ необхідного для ефективного реагування на НС використовує логіко-аналітичну методику, яка побудована на суб'єктивних поглядах старшого оперативного начальника, і не дозволяє визначити на момент залучення сил до реагування на НС їх потреби для виконання часткових службово-бойових завдань, що призводить до створення, на початок реагування на НС, угруповання, яке за своїм складом та чисельністю не відповідає вимогам ситуації (залучення до реагування на НС або занадто значних сил, або створення угруповання неспроможного виконати усього обсягу службово-бойових завдань). Остаточне значення раціональної чисельності та складу угруповання внутрішніх військ при реагуванні на НС методика дозволяє отримати лише з моментом прийняття рішення на виконання службово-бойових завдань, яке потребує деталізації до окремого військового наряду, варти (чисельності, способу виконання завдання, місця виконання завдання, тривалості служби) при цьому для визначення їх чисельності відштовхуючись тільки лише від нормативних показників (зазначені у керівних документах [1, 2]) які є досить універсальними, але водночас і сильно узагальненими, по-

требуючими коректування з врахуванням специфіки конкретної обстановки в районі виконання службово-бойових завдань (СБЗ). Тому діапазон значень чисельності груп (ешелонів) угруповання ВВ є широким та час на визначення чисельності угруповання внутрішніх військ спроможного успішно виконати службово-бойові завдання обумовлені виникненням НС є настільки значним, що знецінює дані отримані в результаті розрахунку за цією методикою і свідчить про її недостатню ефективність. Вищезазначене безпосередньо стосується і СБЗ щодо ізоляції району проведення аварійно-рятувальних робіт.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз літератури та нормативно-правових актів показав, що жодна з існуючих методик не дає змогу повноцінно забезпечити прийняття рішення на визначення складу та розміру ешелону ізоляції району проведення аварійно-рятувальних робіт при реагуванні на надзвичайну ситуацію техногенного характеру. Так, у [2] визначається лише склад та чисельність окремих військових нарядів з охорони громадського порядку при виконанні службово-бойових завдань з охорони громадського порядку під час епідемій та епізоотій, не висвітлюючи підходів щодо визначення раціональної кількості цих нарядів та їх видів. Деякі існуючі методики визначення потрібної кількості особового складу угруповання внутрішніх військ для охорони місць надзвичайних ситуацій досить грубо визначають периметр зони необхідної для ізоляції та враховують лише спосіб охорони периметру ізоляційної зони шляхом інженерного обладнання та виставлення варт вздовж периметру, але такий спосіб майже не використовується при реагуванні на багато видів надзвичайних ситуацій техногенного характеру, що свідчить про необхідність розробки адекватної моделі ешелону ізоляції району проведення аварійно-рятувальних робіт, яка б дозволяла мати вихідними дані, які можна оперативним отримати зразу з моменту виникнення надзвичайної ситуації.

**Мета статті.** Розробити математичну модель ешелону ізоляції району проведення аварійно-рятувальних робіт при реагуванні на надзвичайну ситуацію техногенного характеру, яка адекватно описує порядок розрахунку раціонального складу ешелону.

### Основний матеріал

При визначенні раціонального складу ешелону ізоляції використаємо статистичні методи економетрики викладені у [3, 4]. Із сукупності факторів, які впливають на розмір ешелону ізоляції (результативна ознака), неможливо виділити один домінуючий фактор, необхідно враховувати вплив декількох факторів, що обумовлює використання у роботі методів множинної регресії. Зміст якого полягає у побудові функціональних залежностей між двома групами змінних величин  $(x_1, x_2, \dots, x_p)$  та  $(y)$ . При цьому мова йде про вплив екзогенних змінних  $(x)$

(це будуть аргументи функцій) на значення ендогенної змінної  $y$  (значення функції). Змінні  $(x)$  ми будемо називати факторами, а  $(y)$  – відгуком.

**Постановка завдання.** По наявним даними  $(n)$  спостережень за спільною змінною  $(n+1)$  параметра  $(y)$  та  $(x_j)$  та  $((y_i, x_{i,j}); j=1, 2, \dots, p; i=1, 2, \dots, n)$  необхідно визначити аналітичну залежність  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_p)$ , що щонайкраще описує дані спостережень, тобто побудувати рівняння регресії, яке б задовольняло умові  $\sum (y - \hat{y})^2 \rightarrow \min$ .

Побудова рівняння множинної регресії у роботі здійснюється у два етапи:

- специфікація моделі;
- оцінка параметрів обраної моделі.

#### Специфікація моделі множинної регресії

Специфікація моделі містить у собі рішення двох завдань: відбір  $(p)$  факторів  $(x_j)$ , які більш за все впливають на величину  $(y)$ ; вибір виду рівняння регресії  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_p)$ .

Включення в рівняння множинної регресії того або іншого набору факторів пов'язано, насамперед, з факторами, які враховує командир угруповання ВВ при визначенні способу виконання СБЗ, можливістю їх практичного отримання при плануванні дій та кількісного їх обрахунку, фактори не повинні бути взаємно корельованими й тим більше перебувати в точному функціональному зв'язку. Найбільш складною проблемою при проведенні специфікації моделі множинної регресії є відбір факторів, що включають у модель. Первісний відбір факторів виробляється на основі якісного теоретичного аналізу. Потім перевіряються вимоги, яким повинні відповідати фактори, що включають у модель. Фактори, що включають у множинну регресію, повинні пояснювати варіацію незалежної змінної – кожен фактор, що включає додатково в регресію, повинен приводити до істотного зростання коефіцієнта детермінації й скороченню залишкової дисперсії. Насичення моделі зайвими факторами приводить до статистичної незначимості параметрів регресії. На основі аналізу встановлено, що найвпливовішим фактором щодо розміру ешелону ізоляції є довжина периметру зони проведення ізоляційно-обмежувальних заходів, наступними факторами, які впливають на спосіб виконання службово-бойових завдань ешелоні ізоляції та його склад є густина населення у районі проведення ізоляційно-обмежувальних заходів  $(x_2)$ , тривалість виконання службово-бойових завдань  $(x_3)$  та використання інженерно-технічних засобів охорони при побудові бойового порядку  $(x_4)$ . В зв'язку з чим при побудові рівняння регресії для визначення розміру ешелону ізоляції  $(y)$  використовуємо метод шагової регресії (включення) для чого будемо одно факторні моделі для основного

фактору (довжина периметру зони проведення ізоляційно-обмежувальних заходів ( $x_1$ ) та обираємо з них найкращу за значенням коефіцієнта детермінації  $R^2$  та величиною середньої похибки апроксимації  $\bar{A}$ . У модель, отриману на першому кроці, по черзі включаємо кожний з інших факторів. З побудованих двохфакторних моделей вибираємо найкращу. У випадку статистично значимого збільшення коефіцієнта детермінації переходимо до побудови трьохфакторних моделей і т.д., доти, поки на черговому кроці включення додаткового фактору не

приведе до статистично значимого збільшення коефіцієнта детермінації та задовільного значення середньої похибки апроксимації.

Виходячи із сутності задачі на основі військово-теоретичного аналізу створений перелік факторів, які впливають на розмір ешелону ізоляції (блокування) та оформлена у вигляді таблиці вибірка їх показників, які отримані з практики дій внутрішніх військ у реагуванні на НС та матеріалів командно-штабних навчань за тематикою дослідження.

Таблиця 1

Статистичні показники ізоляційних заходів внутрішніх військ при надзвичайних ситуаціях техногенного та природного характеру

Місце та рік проведення ізоляційних заходів	Довжина периметру (км)	Густина населення (чол./км <sup>2</sup> )	Тривалість (1 – більше доби, 0 – менше доби)	Наявність ІТЗО (1 – так, 0 – ні)	Чисельність ешелону (чол.)
Чорнобиль, 1986 р.	28	420	1	1	65
Припя'ть, 1986 р.	18	420	1	1	63
Ожидів, 2007 р.	1	15	0	0	25
Астрахань, 1972 р.	200	3000	1	0	3200
КШН УЗТрК 2004 р.	15	2250	0	0	160
КШН УЗТрК 2005 р.	10	400	1	0	220
КШН УЗТрК 2006 р.	20	500	1	1	70

Для отримання якісного рівняння регресії визначимо екзогенні змінні, від яких ендогенна змінна знаходиться у прямій функціональній залежності і їх зв'язок є визначеним. Військово-теоретичний аналіз показав, що таким фактором виступає тривалість виконання службово-бойових завдань. В зв'язку з нормами службового навантаження на особовий склад та передбачення кратного збільшення чисельності сил призначеного для виконання СБЗ у випадку виконання службово-бойових завдань понад одну добу. Цей фактор є якісним тому для його врахування у рівнянні регресії вводимо дихотомічну фіктивну перемінну ( $x_3$ ), яка приймає лише два значення:

$$x_3 = \begin{cases} 1 - \text{тривалість}_\text{виконання}_\text{СБЗ}_\text{понад}_\text{доби}; \\ 0 - \text{тривалість}_\text{виконання}_\text{СБЗ}_\text{менше}_\text{доби}. \end{cases}$$

В зв'язку з тим що кратність збільшення сил у

відповідності до нормативно-правових документів при виконанні завдань понад одну добу коливається у межах (2÷3) у рівнянні регресії вплив фактору тривалості виконання службово-бойових завдань врахуємо через включення до рівняння регресії множника ( $e^{x_3}$ ), який приймає значення 2,7 при  $x_3 = 1$  та 1 при  $x_3 = 0$ .

Для побудови якісного рівняння регресії при визначенні зв'язків інших факторів з відгуком необхідно виключити вплив фактору ( $x_3$ ) на розмір ешелону ізоляції у подальших розрахунках. Тому у подальших розрахунках екзогенним фактором вважатимемо:

$$y_{i;x_1,x_2,x_4} = y_i / e^{x_3} \quad (1)$$

З урахуванням формули (1) представимо вихідні дані у вигляді табл. 2.

Таблиця 2

Статистичні показники ізоляційних заходів внутрішніх військ при надзвичайних ситуаціях техногенного та природного характеру з врахуванням тривалості виконання завдання

Місце та рік проведення ізоляційних заходів	Довжина периметру (км)	Густина населення (чол./км <sup>2</sup> )	Наявність ІТЗО (1 – так, 0 – ні.)	Чисельність ешелону без врахування фактору тривалості виконання СБЗ (чол.)
Чорнобиль, 1986 р.	28	420	1	24
Припя'ть, 1986 р.	18	420	1	24
Ожидів, 2007 р.	1	15	0	25
Астрахань, 1972 р.	200	3000	0	1222
КШН УЗТрК 2004 р.	15	2250	0	160
КШН УЗТрК 2005 р.	10	400	0	82

КШН УЗТрК 2006 р.	20	500	1	26
-------------------	----	-----	---	----

Побудуємо рівняння парної регресії для визначення зв'язку чисельності ешелону ізоляції ( $y$ ) від довжини периметру ( $x_1$ ) району проведення ізоляційно-обмежувальних заходів.

Для надання характеристики залежності ( $y$ ) від ( $x_1$ ) розрахуємо параметри наступних функцій: 1) лінійної; 2) ступеневої; 3) показової.

1. Для розрахунку параметрів  $a$  та  $b$  лінійної регресії  $y = a + bx_1$  вирішимо систему нормальних рівнянь відносно  $a$  та  $b$ :

$$\begin{cases} n \cdot a + b \sum x_1 = \sum y, \\ a \sum x_1 + b \sum x_1^2 = \sum y \cdot x_1. \end{cases}$$

За вихідними даними розраховуємо  $\sum y, \sum x_1, \sum y \cdot x_1, \sum x_1^2, \sum y^2$ , та побудуємо розрахункову табл. 3.

$$b = \frac{\overline{y \cdot x_1} - \bar{y} \cdot \bar{x}_1}{\sigma_x^2} \approx 6,2; \quad a = \bar{y} - b \cdot \bar{x}_1 \approx -35,65.$$

Рівняння регресії:  $\hat{y} = -35,65 + 6,2 \cdot x_1$ .

Таблиця 3

Розрахункові значення

	$y$	$x_1$	$yx_1$	$x_1^2$	$y^2$	$\hat{y}_x$	$(y - \hat{y}_x)$	$A_i$
1	24,00	28,00	672,00	784,00	576,00	138,16	-114,16	475,65
2	24,00	18,00	432,00	324,00	576,00	76,08	-52,08	217,01
3	25,00	1,00	25,00	1,00	625,00	-29,44	54,44	217,77
4	1222,00	200,00	244400,00	40000,00	1493284,00	1205,82	16,18	1,32
5	160,00	15,00	2400,00	225,00	25600,00	57,46	102,54	64,09
6	82,00	10,00	820,00	100,00	6724,00	26,42	55,58	67,78
7	26,00	20,00	520,00	400,00	676,00	88,50	-62,50	240,37
$\Sigma$	1563,00	292,00	249269,00	41834,00	1528061,00	1563,00	0,00	1283,99
середнє значення	223,29	41,71	35609,86	5976,29	218294,43	*	*	183,43
$\sigma$	410,41	65,09	*	*	*	*	*	*
$\sigma^2$	168437,92	4236,20	*	*	*	*	*	*

Для визначення тісноти зв'язку досліджуваних показників розрахуємо лінійний коефіцієнт парної кореляції:

$$r_{x_1y} = b \frac{\sigma_{x_1}}{\sigma_y} = \frac{\text{cov}(x_1, y)}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{\overline{y \cdot x_1} - \bar{y} \cdot \bar{x}_1}{\sigma_x \sigma_y} = 0,98.$$

Варіації результату на 98% пояснюється варіацією фактору ( $x_1$ ) підставляючи в рівняння регресії фактичні значення ( $x_1$ ), визначимо теоретичні (розрахункові) значення  $\hat{y}_{x_1}$ . Знаходимо значення середньої похибки апроксимації  $\bar{A}$ :

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum A_i = \frac{1}{n} \sum |y - \hat{y}| \cdot 100\% = 183,4\%.$$

В середньому розрахункові значення відхиляються від фактичних на 183,4%, що говорить про високу похибку апроксимації, допустимий ліміт значення  $\bar{A}$  – не більше 8 – 10%, що не задовольняє вимогам точності побудованої моделі і свідчить про недостатність рівняння парної регресії і є підтвердженням гіпотези о необхідності побудови багатофакторного рівняння регресії.

2. Побудуємо ступеневу модель  $y = a \cdot x^b$ , для чого проведемо процедуру лінеаризації змінних шляхом логарифмування обох частин рівняння:

$$\lg y = \lg a + b \cdot \lg x; \quad Y = C + b \cdot X,$$

де  $Y = \lg y, X = \lg x, C = \lg a$ .

Для розрахунків побудуємо табл. 4.

Таблиця 4

Розрахункові значення

	$Y$	$X_1$	$YX_1$	$X_1^2$	$Y^2$	$\hat{y}_x$	$(y - \hat{y}_x)^2$	$A_i$
1	1,38	1,45	2,00	2,09	1,90	93,37	4812,83	289,06
2	1,38	1,26	1,73	1,58	1,90	71,18	2225,96	196,58
3	1,40	0,00	0,00	0,00	1,95	12,06	167,49	51,77
4	3,09	2,30	7,10	5,29	9,53	312,42	827334,04	74,43
5	2,20	1,18	2,59	1,38	4,86	63,64	9285,55	60,23
6	1,91	1,00	1,91	1,00	3,66	49,61	1049,25	39,50
7	1,41	1,30	1,84	1,69	2,00	75,94	2493,92	192,07
$\Sigma$	12,78	8,48	17,18	13,04	25,82	678,22	847369,05	903,65
середнє значення	1,83	1,21	2,45	1,86	3,69	96,89	121052,72	129,09
$\sigma$	0,60	0,63	*	*	*	*	*	*

$\sigma^2$	0,36	0,40	*	*	*	*	*	*
------------	------	------	---	---	---	---	---	---

Розрахуємо С та b:

$$b = (\bar{y} \cdot \bar{x}_1 - \bar{y} \cdot \bar{x}_1) / \sigma_x^2 \approx 0,61; \quad C = \bar{Y} - b \cdot \bar{X}_1 = 1,08.$$

Отримаємо лінійне рівняння:

$$\hat{Y} = 1,08 + 0,61 \cdot X_1;$$

Провівши його потенціювання, отримаємо:

$$\hat{Y} = 10^{1,08} \cdot x_1^{0,61} = 12,06 \cdot x_1^{0,61}.$$

Підставляючи в дане рівняння регресії фактичні значення  $x$ , отримаємо теоретичні значення результату  $\hat{Y}_x$ . За ними визначимо показники: тісноти зв'язку – індекс кореляції  $R_{xy}$  та середню похибку апроксимації  $\bar{A}_i$ :

$$R_{xy} = \sqrt{1 - \sum (y - \hat{y})^2 / \sum (y - \bar{y})^2} = 0,65; \quad \bar{A} = 129,09\%;$$

Характеристики ступеневої моделі вказують, що вона значно краще лінійної функції описує взаємозв'язок між  $y$  та  $x$ , проте середня похибка апроксимації є високою.

3. Побудові рівняння показової кривої  $y = a \cdot b^x$  передуює процедура лінеаризації змінних при логарифмуванні обох частин рівняння:

$$\lg y = \lg a + x \cdot \lg b; \quad Y = C + B \cdot x,$$

де  $Y = \lg y, B = \lg b, C = \lg a$ .

Для розрахунків побудуємо табл. 5.

Таблиця 5

Розрахункові значення

	Y	$x_1$	$Yx_1$	$x_1^2$	$Y^2$	$\hat{Y}_x$	$(y - \hat{Y}_x)^2$	$A_i$
1	1,38	28	38,65	784,00	1,90	52,39	805,77	118,28
2	1,38	18	24,84	324,00	1,90	43,83	393,08	82,61
3	1,40	1	1,40	1,00	1,95	32,36	54,17	29,44
4	3,09	200	617,41	40000,00	9,53	1126,97	9030,24	7,78
5	2,20	15	33,06	225,00	4,86	41,54	14032,27	74,04
6	1,91	10	19,14	100,00	3,66	38,00	1936,28	53,66
7	1,41	20	28,30	400,00	2,00	45,42	377,07	74,69
$\Sigma$	12,78	292,00	762,80	41834,00	25,82	1380,50	26628,88	440,49
середнє значення	1,83	41,71	108,97	5976,29	3,69	197,21	3804,13	62,93
$\sigma$	0,60	65,09	*	*	*	*	*	*
$\sigma^2$	0,36	4236,20	*	*	*	*	*	*

Значення параметрів регресії А та В склали:

$$B = (\bar{Y}x - \bar{Y} \cdot \bar{x}) / \sigma_x^2 = 0,0078; \quad A = \bar{Y} - B \cdot \bar{x} = 1,502.$$

Отримане лінійне рівняння:

$$\hat{Y} = 1,502 + 0,0078 \cdot x.$$

Проведемо потенціювання отриманого рівняння та запишемо у звичайній формі:

$$\hat{Y} = 10^{1,502} \cdot 10^{0,0078 \cdot x} = 31,79 \cdot 1,018^x.$$

Проведемо оцінку тісноти зв'язку через індекс кореляції:

$$R_{xy} = \sqrt{1 - \sum (y - \hat{y})^2 / \sum (y - \bar{y})^2} = 0,84; \quad \bar{A} = 62,93\%,$$

що говорить про те що похибка апроксимації значно нижче ніж у вище розроблених моделей, а індекс кореляції найвищий. Тому у роботі зупиняємось на показовому рівнянні парної регресії між розміром ешелону ізоляції та довжиною периметру ізоляції (блокування)  $\hat{Y} = 31,79 \cdot 1,018^x$ . Дана модель нелінійна відносно параметру, який оцінюється, бо включає параметри а та b неаддитивно, проте показник тісноти зв'язку надійний та відображає стійку залежність розміру ешелону ізоляції від довжини периметру ізоляції. В той же час висока дисперсія та значна середня похибка апроксимації  $\bar{A}_i$  вимагають покращення рівняння регресії, для чого з використанням методу виключення будемо рівняння множинної регресії. Аналіз статистичних даних показав що зв'язок між чисельністю ешелону ізоляції та густиною населення більш точно описує ступенева функція:

$$\hat{Y}_{x_2} = a \cdot x_2^{b_2}.$$

В зв'язку з тим, що фактор використання інженерно-технічних засобів охорони при побудові бойового порядку ешелону ізоляції є якісною змінною, для його врахування у рівнянні регресії вводимо дихотомічну фіктивну перемінну ( $x_4$ ), яка приймає лише два значення:

$$x_4 = \begin{cases} 1 - \text{при}_\text{використанні}_\text{ІТЗО}, \\ 0 - \text{без}_\text{використання}_\text{ІТЗО}. \end{cases}$$

Відношення впливу факту наявності у бойовому порядку ешелону ізоляції ІТЗО наперед не відомо, висувається гіпотеза про показовий вид функції залежності відгуку ( $y$ ) від фактору ( $x_4$ ):

$$\hat{Y}_{x_4} = a \cdot b_4^{x_4}.$$

На базі вище викладеного можливо побудувати рівняння множинної регресії для визначення чисельності ешелону ізоляції без врахування фактору, який враховує пропорційне збільшення відгуку від тривалості виконання СБЗ:

$$\hat{Y}_{x_1, x_2, x_3, x_4} = a \cdot b_1^{x_1} \cdot b_2^{x_2} \cdot b_4^{x_4}.$$

Параметри рівняння множинної регресії визначимо з використанням методу найменших квадратів. В зв'язку з нелінійною залежністю ознак, приводимо рівняння множинної регресії до лінійного виду, і будемо в подальшому при розрахунках використовувати не вихідні дані, а перетворені. Тому процедуру лінеаризації проведемо шляхом логарифмування обох частин рівняння регресії:

$$\ln \mathcal{F}_{x_1, x_2, x_3, x_4} = \ln a + x_1 \cdot \ln b_1 + b_2 \cdot \ln x_2 + x_4 \cdot \ln b_4;$$

$$Y = C + B_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot X_2 + B_4 \cdot x_4,$$

де:  $Y = \ln \mathcal{F}_{x_1, x_2, x_3, x_4}$ ;  $C = \ln a$ ;  $B_1 = \ln b_1$ ;

$$X_2 = \ln x_2; B_4 = \ln b_4.$$

Побудуємо систему рівнянь, рішення яких дозволить отримати оцінки параметрів регресії:

$$\begin{cases} \sum Y = nC + B_1 \sum x_1 + b_2 \sum X_2 + B_4 \sum x_4 \\ \sum Yx_1 = C \sum x_1 + B_1 \sum x_1^2 + b_2 \sum X_2 x_1 + B_4 \sum x_4 x_1 \\ \sum YX_2 = C \sum X_2 + B_1 \sum x_1 X_2 + b_2 \sum X_2^2 + B_4 \sum x_4 X_2 \\ \sum Yx_4 = C \sum x_4 + B_1 \sum x_1 x_4 + b_2 \sum X_2 x_4 + B_4 \sum x_4^2 \end{cases}$$

Для рішення цієї системи рівнянь використаємо метод визначників:

$$C = \frac{\Delta C}{\Delta}, B_1 = \frac{\Delta B_1}{\Delta}, b_2 = \frac{\Delta b_2}{\Delta}, B_4 = \frac{\Delta B_4}{\Delta};$$

де  $\Delta$  – визначник системи;  $\Delta C, \Delta B_1, \Delta b_2, \Delta B_4$  – приватні визначники.

$$\Delta = \begin{vmatrix} n & \sum x_1 & \sum X_2 & \sum x_4 \\ \sum x_1 & \sum x_1^2 & \sum x_2 x_1 & \sum x_4 x_1 \\ \sum X_2 & \sum x_1 X_2 & \sum X_2^2 & \sum x_4 X_2 \\ \sum x_4 & \sum x_1 x_4 & \sum x_2 x_4 & \sum x_4^2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 7 & 292 & 39,4 & 3 \\ 292 & 41834 & 2105,5 & 66 \\ 34,4 & 2105,5 & 248,5 & 15 \\ 3 & 66 & 15 & 3 \end{vmatrix} = 624792,25;$$

$$\Delta C = \begin{vmatrix} \sum Y & \sum x_1 & \sum X_2 & \sum x_4 \\ \sum Yx_1 & \sum x_1^2 & \sum X_2 x_1 & \sum x_4 x_1 \\ \sum YX_2 & \sum x_1 X_2 & \sum X_2^2 & \sum x_4 X_2 \\ \sum Yx_4 & \sum x_1 x_4 & \sum X_2 x_4 & \sum x_4^2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 29,4 & 292 & 39,4 & 3 \\ 1755,9 & 41834 & 2105,5 & 66 \\ 179,14 & 2105,5 & 248,5 & 15 \\ 9,59 & 66 & 15 & 3 \end{vmatrix} = 18029829,58;$$

$$\Delta B_1 = \begin{vmatrix} n & \sum Y & \sum X_2 & \sum x_4 \\ \sum x_1 & \sum Yx_1 & \sum X_2 x_1 & \sum x_4 x_1 \\ \sum X_2 & \sum Yx_2 & \sum X_2^2 & \sum x_4 X_2 \\ \sum x_4 & \sum Yx_4 & \sum X_2 x_4 & \sum x_4^2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 7 & 29,4 & 39,4 & 3 \\ 292 & 1755,9 & 2105,5 & 66 \\ 34,4 & 179,14 & 248,5 & 15 \\ 3 & 9,59 & 15 & 3 \end{vmatrix} = 76235,97;$$

$$\Delta b_2 = \begin{vmatrix} n & \sum x_1 & \sum Y & \sum x_4 \\ \sum x_1 & \sum x_1^2 & \sum Yx_1 & \sum x_4 x_1 \\ \sum X_2 & \sum x_1 X_2 & \sum YX_2 & \sum x_4 X_2 \\ \sum x_4 & \sum x_1 x_4 & \sum Yx_4 & \sum x_4^2 \end{vmatrix} =$$

$$= \begin{vmatrix} 7 & 292 & 29,4 & 3 \\ 292 & 41834 & 1755,9 & 66 \\ 34,4 & 2105,5 & 179,14 & 15 \\ 3 & 66 & 9,59 & 3 \end{vmatrix} = 1407169,72;$$

$$\Delta B_4 = \begin{vmatrix} n & \sum x_1 & \sum X_2 & \sum Y \\ \sum x_1 & \sum x_1^2 & \sum X_2 x_1 & \sum Yx_1 \\ \sum X_2 & \sum x_1 X_2 & \sum X_2^2 & \sum YX_2 \\ \sum x_4 & \sum x_1 x_4 & \sum X_2 x_4 & \sum Yx_4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 7 & 292 & 39,4 & 29,4 \\ 292 & 41834 & 2105,5 & 1755,9 \\ 34,4 & 2105,5 & 248,5 & 179,14 \\ 3 & 66 & 15 & 9,59 \end{vmatrix} = -6769494,89.$$

Тоді:  $C = 2,885931$ ,  $B_1 = 0,012203$ ,  $b_2 = 0,225238$ ,  $B_4 = -1,08355$ .

Отримаємо лінійне рівняння:

$$Y = 2,886 + 0,0122 \cdot x_1 + 0,2252 \cdot X_2 - 1,08355 \cdot x_4.$$

Провівши його потенціювання, отримаємо:

$$\mathcal{F}_{x_1, x_2, x_4} = 10,228 \cdot 1,0112^{x_1} \cdot x_2^{0,321} \cdot 0,26^{x_4},$$

а після перетворень

$$\mathcal{F} = 10,228 \cdot 1,0112^{x_1} \cdot x_2^{0,321} \cdot e^{x_3} \cdot 0,26^{x_4}.$$

Підставляючи в дане рівняння фактичні значення  $x_1, x_2, x_3, x_4$ , отримаємо теоретичні значення результату  $\mathcal{F}$ . За ними розрахуємо показники: тісноти зв'язку – індекс кореляції  $R_{y, x_1, x_2, x_3, x_4}$  та середню похибку апроксимації  $\bar{A}$ , які визначає якість побудованої моделі:

$R_{y, x_1, x_2, x_3, x_4} = \sqrt{1 - \frac{\sum (y - \mathcal{F})^2}{\sum (y - \bar{y})^2}} = 0,99$ ; – це означає що 99% варіацій чисельності ешелону ізоляції пояснюється варіаціями факторів  $x_1, x_2, x_3, x_4$ .  $\bar{A} = 4,3\%$ , якість побудованої моделі оцінюється як добре, так як  $\bar{A}$  не перевищує 8 – 10%.

### Оцінка надійності результатів множинної регресії

Для оцінки якості та значимості рівняння регресії проведемо F – тест, який являє собою перевірку гіпотези  $H_0$  щодо статичної не значимості рівняння регресії та показника тісноти зв'язку. Для цього проведемо порівняння фактичного  $F_{\text{факт}}$  та критичного(табличного)  $F_{\text{табл}}$  значень F – критерію Фішера. Якщо  $F_{\text{табл}} < F_{\text{факт}}$ , то  $H_0$  – гіпотеза про випадкову природу оцінюваних характеристик відхиляється й визнається їхня статистична значимість і надійність. Якщо  $F_{\text{табл}} > F_{\text{факт}}$ , то гіпотеза  $H_0$  не відхиляється й визнається статистична не значимість та ненадійність рівняння регресії.

Для цього проведемо дисперсійний аналіз, результати аналізу викладемо у вигляді табл. 6.

$$SS_{\text{заг}} = \sigma_y^2 \cdot n = 8801517,71; \quad SS_{\text{ост}} = SS_{\text{заг}} \cdot (1 - R^2) = SS_{\text{заг}} - SS_{\text{факт}} = 10524,046.$$

$$SS_{\text{факт}} = SS_{\text{заг}} \cdot R^2 = 8790993,67;$$

Таблиця 6

## Результати дисперсійного аналізу

Варіація результату (y)	Число ступенів свободи	Сума квадратів відхилень	Дисперсія на 1 ступінь свободи, D	Статистика Фішера	
	df	SS	MS	F <sub>факт</sub>	F <sub>табл</sub> при $\alpha = 0,05$ , $k_1 = 4$ , $k_2 = 2$
Загальна	df = n - 1 = 6	8801517,71	–	–	–
Регресія (фактична)	$k_1 = m = 4$	8790993,67	8790993,67	208,7	19,25
Остаточна	$k_2 = n - m - 1 = 2$	10524,0463	2104,809	–	–

$F_{\text{факт}}$  визначимо з відношень значень факторної та остаточної дисперсій, розрахованих на одну ступінь свободи:

$$F_{\text{факт}} = \frac{\sum \frac{(\bar{y} - \bar{y})^2}{m}}{\sum \frac{(y - \bar{y})^2}{n - m - 1}} = R^2 / (1 - R^2) \times (n - m - 1) / m = 208,7,$$

де  $n$  – число одиниць сукупності;  $m$  – число параметрів при змінних.

$F_{\text{табл}}$  – максимально можливе значення критерію під впливом випадкових факторів при ступенях свободи  $k_1 = m$ ,  $k_2 = n - m - 1$  та рівні значимості  $\alpha$ . Рівень значимості  $\alpha$  – імовірність відкинути правильну гіпотезу за умови, що вона вірна. Приймаємо  $\alpha = 0,05$ , тоді  $F_{\text{табл}} = 19,25$ .

В силу того, що  $F_{\text{табл}} = 19,25 < F_{\text{факт}} = 208,7$  гіпотеза щодо випадковості відмінностей факторної та остаточної дисперсії відхиляється. Ці відмінності суттєві, статистично значимі, рівняння надійне, значиме та сформоване під систематичною дією не випадкових причин. Імовірність того, що допускаються помилки при відхиленні нульової гіпотези не перебільшує 5%.

### Висновки

У статті наведена математична модель ешелону ізоляції (блокування) району проведення аварійно-відновлювальних, ізоляційно-обмежувальних заходів. При побудові моделі застосовано методи множинної регресії, вихідні дані, для побудови моделі отримані з практики виконання внутрішніми військами службово-бойових завдань та матеріалів командно-штабних навчань.

#### МОДЕЛЬ ЭШЕЛОНА ИЗОЛЯЦИИ РАЙОНА ПРОВЕДЕНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПРИ РЕАГИРОВАНИИ НА ЧРЕЗВЫЧАЙНУЮ СИТУАЦИЮ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА

В.В. Антоненц

*Изложена математическая модель эшелона изоляции района проведения аварийно-спасательных работ при реагировании группировки внутренних войск на чрезвычайную ситуацию техногенного характера, которая адекватно описывает порядок расчетов рационального состава эшелона, проведенная оценка надежности полученных результатов.*

**Ключевые слова:** экзогенная переменная, уравнение регрессии, индекс корреляции, средняя погрешность аппроксимации.

#### MODEL GROUP ISOLATION AREA FOR RESCUE OPERATIONS IN RESPONSE TO THE EMERGENCY MAN-MADE

V. V. Antonets

*The mathematical model of the group isolation area for rescue operations in response grouping of internal troops of the emergency man-made, which adequately describes the procedure for payment of the management echelon, assessing the reliability of the results.*

**Keywords:** exogenous variable, equalization of regression, index of correlation, middle error of approximation.

Застосування даної математичної моделі дозволяє знаходити раціональну чисельність ешелону (групи) ізоляції (блокування) району проведення аварійно-відновлювальних, ізоляційно-обмежувальних заходів при наявності відомостей про довжину периметру зони проведення ізоляційно-обмежувальних заходів, густину населення у районі проведення ізоляційно-обмежувальних заходів, тривалість виконання службово-бойових завдань та наявність інженерно-технічних засобів охорони при побудові бойового порядку. Оцінки якості та значимості рівняння регресії свідчить про адекватність моделі і можливість використання її на практиці.

### Список літератури

1. Про затвердження Тимчасового положення про організацію служби спеціальних моторизованих військових частин міліції, військових частин спеціального призначення та підрозділів оперативного призначення внутрішніх військ МВС України: наказ Міністра внутрішніх справ від 05.07.2005 р. № 521.

2. Методичні рекомендації щодо організації служби з охорони громадського порядку військовослужбовцями внутрішніх військ МВС України під час епідемії та епізотії: розпорядження командувача внутрішніх військ МВС України від 15.05.2006 р.

3. Эконометрика: Учебник / И.И. Елисеева, С.В. Курьешева, Т.В. Костеева и др.; под ред. И.И. Елисеевой. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 344 с.

4. Практикум по эконометрике: Учеб. пособие / И.И. Елисеева, С.В. Курьешева, Т.В. Костеева и др.; под ред. И.И. Елисеевой. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 192 с.

Надійшла до редколегії 27.07.2010

**Рецензент:** д-р військ. наук, проф. І.О. Кириченко, Академія внутрішніх військ МВС України, Харків.