

*УДК 656.1*

**Придатко О. В., к.т.н., Паснак І. В., к.т.н., М. В. Гречка**

**Львівський державний університет безпеки життєдіяльності**

## **ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ АВАРІЙНОСТІ НА РЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕХРЕСТЯХ МІСТА ЛЬВІВ**

В статті обґрунтовані основні вихідні параметри для прогнозування аварійності на регульованих перехрестях та встановлено величину їх граничних значень. Одержано математичну модель прогнозування показника аварійності перехресть за прикладом міста Львів, яка враховує параметри інтенсивності та пропускну здатності. Регресійне співвідношення представлено у вигляді логарифмічної та лінійної функцій відгуку з метою перевірки достовірності прогнозованих результатів. Доведено висунуту гіпотезу щодо можливості застосування методів регресійного аналізу з метою прогнозування аварійності на регульованих перехрестях різних категорій.

**Ключові слова:** прогнозування аварійності, регресійний аналіз, регульоване перехрестя.

В статье обоснованы основные выходные параметры прогнозирования аварийности на регулируемых перекрестках и установлено величину их граничных значений. Получена математическая модель прогнозирования показателя аварийности перекрестков по примеру города Львов, которая учитывает параметры интенсивности и пропускной способности. Регрессионное соотношение представлено в виде логарифмической и линейной функций отклика с целью проверки достоверности прогнозируемых результатов. Доказано выдвинутую гипотезу о возможности применения методов регрессионного анализа с целью прогнозирования аварийности на регулируемых перекрестках разных категорий.

**Ключевые слова:** прогнозирование аварийности, регрессионный анализ, регулируемый перекресток.

In article substantiates the basic initial parameters for predicting accident rate regulated intersections and set their limit values. Obtained a mathematical model predicting accident rate index for the city of Lviv, which takes into account the intensity and bandwidth. Regression ratio is represented as a logarithmic and linear response functions to verify the reliability of the projected results. Proved hypothesis about the possibility of using regression analysis in order to predict

accident rate at regulated crossroads. Prognostication conducted on the results of analytical studies the number of accidents at road intersections.

**Keywords:** accident rate predicting, regression analysis, controlled intersection.

**Постановка проблеми.** Як відомо людина, її життя, здоров'я і безпека визнається найвищою соціальною цінністю держави. Але в умовах стрімкого розвитку високотехнологічних машин гостро постає питання зниження дії небезпечних чинників передових технологій на людину. До проблем побідного характеру належить висока смертність та травматизм спричинені наслідками аварійних ситуацій за участі автомобільних транспортних засобів. За результатами аналізу статистичних даних встановлено, що травматизм спричинений дорожньо-транспортними пригодами (ДТП) стає причиною смертності у понад 23 % випадках серед інших видів виробничого та невиробничого травматизму [1]. За результатами попередніх досліджень [2] встановлено, що в Україні гине до 17 осіб на кожні 100 травмованих під час ДТП, це перевищує усереднений показник по Європі у 4,25 рази та США – у 5,66. Така тенденція виникнення ДТП та їх наслідків стимулює до постійного вдосконалення відомих та розроблення нових науково-обґрунтованих методів профілактики аварійності на автомобільних шляхах. Зважаючи на гостроту висвітленої проблеми в статті досліджуватиметься можливість застосування загальновідомих методів математичної статистики та регресійного аналізу для прогнозування ДТП з метою їх подальшої профілактики.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вирішенням проблем дорожньої аварійності займається низка вітчизняних та закордонних наукових шкіл. Зважаючи на актуальність окресленої проблеми зустрічається безліч наукових праць спрямованих на дослідження безпеки руху, проведення аналізу аварійності, прогнозування аварійності, зокрема [3, 4]. Проте в оглянутих та низці інших наукових роботах не висвітлюються дослідження величини сумісного впливу декількох параметрів, які визначають характер дорожнього руху, на показник аварійності окремої ділянки вулично-дорожньої мережі.

**Мета роботи.** Очевидно, що одним із шляхів зменшення аварійності є прогнозування ДТП на визначених ділянках вулично-дорожніх мереж. Результати прогнозування аварійності надаватимуть підстави для своєчасного проведення профілактичних заходів, що, своєю чергою, направлено на попередження виникнення ДТП, в тому числі і з летальними випадками. Саме тому, основною метою роботи є дослідження можливості застосування методів регресійного аналізу для прогнозування аварійності на перехрестях різних категорій за прикладом міста Львова.

### **Виклад основного матеріалу.**

**1. Підбір критеріїв для прогнозування аварійності та встановлення величини їх граничних значень.** Перш ніж здійснити підбір вихідних параметрів, необхідно чітко визначити за якими критеріями відбуватиметься прогнозування аварійності, а також визначити величину їх граничних значень. Зважаючи на досягнення попередніх досліджень встановлено, що основним чинником, який впливає на аварійність, є інтенсивність руху транспортних засобів. Щодо величини граничних значень цього параметру, то пропонуємо його прийняти в діапазоні від 1,5 до 10 тис. автомобілів за добу згідно вимог [5]. Такі межі визначені нормативами технічної класифікації автомобільних доріг та є прийнятними для міста Львів.

Наступним чинником, який прийматиметься до уваги з метою прогнозування аварійності є пропускна здатність перехрестя виражена через інтенсивність (циклічність) світлофорного регулювання. Значення циклу світлофорного регулювання залежить від кількості смуг руху в різних напрямках та конфігурації перехрестя. Для підтвердження можливості вираження пропускної здатності перехрестя через тривалість циклу світлофорного регулювання розглянемо залежність з якої її визначають [6]:

$$P_{II} = \frac{3600 \cdot (t_z - t_a)}{T_y t_c}, \quad (1)$$

де  $T_u$  – час циклу світлофорного регулювання;  $t_3$  – тривалість дозвільного сигналу світлофора;  $t_a$  – час між включенням зеленого сигналу світлофора і перетинанням стоп-лінії першим автомобілем;  $t_c$  – інтервал між автомобілями при проходженні стоп-лінії.

Зважаючи на складові виразу (1) можна зробити висновок, що усі вони, крім  $t_c$ , в тій чи іншій мірі залежать від циклу світлофорного регулювання. Величину граничних значень другого параметру приймаємо в діапазоні від 25 до 120 с. Такі межі визначені вимогами стандарту [7] та приймаються для кожного випадку індивідуально за формулою Вебстера.

Щодо інших критеріїв, за якими може проводитись прогнозування аварійності перехресть, то до них можуть належати [8]: чинник, що враховує оглядовість на перехресті; чинник, що враховує конфігурацію перехрестя; чинник, що враховує наявність дорожнього обладнання, наявність та кількість наземних пішохідних переходів; чинник, що враховує якість дорожнього покриття і його вид тощо. Проте усі означені чинники є індивідуальними для кожного перехрестя та не стандартизовані під загальні граничні показники, тому їх введення у регресійне співвідношення та визначення величини впливу на аварійність є актуальним матеріалом для подальших наукових досліджень.

**2. Підбір перехресть до відповідної категорії спостереження та аналіз статистичних даних щодо аварійності на досліджуваній перехрестях.** З метою побудови та відтворення регресійного співвідношення інтенсивності, пропускної здатності та аварійності на перехрестях застосовано метод повнофакторного експерименту. Методика проведення повнофакторного експерименту типу  $2^2$  передбачає проведення чотирьох експериментів за умови прийняття різних граничних значень вихідних параметрів. Відповідно до загальноприйнятої методики, за умови почергово прийняття максимального та мінімального показника інтенсивності і циклічності, необхідно провести низку експериментів з фіксацією кількості ДТП, які трапляються на досліджуваних ділянках. Для достовірності відтворення результатів дослідження, період спостереження має тривати не менше календарного року та повторюватись

щонайменше двічі. Зважаючи на трудомісткість проведення таких досліджень, показник аварійності визначався аналітичним методом за результатами статистичних даних попередніх років. Для достовірного відтворення кінцевого результату, кількість перехресть, що входить до відповідної категорії, має складати не менше п'яти.

Підбір об'єктів спостереження (перехресть) до відповідної категорії за значенням інтенсивності руху проведено шляхом натурних спостережень з використанням методу 6 хвилинних відрізків часу. Поділ перехресть за часом циклу світлофорного регулювання також проведено за результатами натурних спостережень. Віднесення об'єкту спостереження до відповідної категорії проведено за двома параметрами із представленням фактичного результату до наближеного граничного значення. Далі, на основі розподілу регульованих перехресть міста Львів до відповідних категорій, проведено аналіз статистичних даних щодо виникнення ДТП на усіх перехрестях визначених категорій, сумарний показник яких представлено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати аналізу аварійності на досліджуваних перехрестях

№ категорії перехрестя	Інтенсивність, тис. авт./добу	Тривалість циклу світлоф. регулювання, с.	Результати аналітичних досліджень, <i>n</i> ДТП категорії	
			<i>M(1)</i> , 2013 рік	<i>M(2)</i> , 2014 рік
I	1,5	25	5	7
II	10	25	75	72
III	1,5	120	8	10
IV	10	120	78	79

**3. Оброблення результатів аналітичного дослідження.** Дослідження впливу інтенсивності руху ( $I$ ) та циклічності світлофорного регулювання ( $T$ ) на аварійність регульованих перехресть проводимо на основі методу повнофакторного експерименту типу  $2^2$ . Даний тип експерименту враховує вплив параметрів  $I$ ,  $T$  на показник прогнозованої аварійності  $M$ . Дотримуючись послідовності проведення повнофакторного експерименту, проведено кодування факторів, перевівши натуральні величини в безрозмірні (таблиця 2).

Таблиця 2 – Рівні зміни факторів

Рівень факторів		$I$ , тис.авт./добу		$T$ , с.	
Назва	Кодоване значення	$\tilde{X}_1 = I$	$\ln \tilde{X}_1$	$\tilde{X}_2 = T$	$\ln \tilde{X}_2$
Верхній	+1	10	2,303	120	4,787
Нижній	-1	1,5	0,405	25	3,219

Користуючись методикою [9], побудовано план-матрицю аналітичних досліджень з одночасним представленням значення дослідженого параметра  $M$ .

Таблиця 3 – План-матриця аналітичних досліджень

№ досліджу	Фактори				Результати дослідів		$M, n$ ДТП	$\ln \bar{M}$
	$X_1$		$X_2$		$M(1)$ , 2013 рік	$M(2)$ , 2014 рік		
	Код	$I$ , тис. авт./добу	Код	$T$ , с.				
1	-1	1,5	-1	25	5	7	6	1,792
2	+1	10	-1	25	75	72	74	4,304
3	-1	1,5	+1	120	8	10	9	2,197
4	+1	10	+1	120	78	79	79	4,369

Регресійне співвідношення між величинами  $I$ ,  $T$  та  $M$  можна відобразити різними функціями відгуку. Відмінність відображень полягає у способі представлення незалежних змінних та коефіцієнтів рівняння регресії. За тих чи інших обставин використання тієї чи іншої функції надаватиме об'єктивніших результатів. Саме тому, з метою доведення достовірності очікуваних результатів прогнозування аварійності проведемо почергове відтворення логарифмічно-логарифмічної, логарифмічно-лінійної, лінійно-логарифмічної та лінійно-лінійної функцій відгуку.

Для початку, враховуючи те, що фактори, які впливають на аварійність, належать до різних розмірних величин, проведемо побудову логарифмічно-логарифмічного відтворення функції. Для виконання окреслених завдань незалежні змінні  $\tilde{X}_i$  перетворено в безрозмірні величини за залежностями [9]:

$$X'_i = \frac{2 \cdot (\ln \tilde{X}_i - \ln \tilde{X}_{i\max})}{\ln \tilde{X}_{i\max} - \ln \tilde{X}_{i\min}} + 1, \quad (2)$$

або

$$X_i = \frac{2X_i - X_i^+ - X_i^-}{X_i^+ - X_i^-}. \quad (3)$$

Запишемо логарифмічне відтворення рівняння регресії, яке визначає залежність прогнозованої аварійності від двох незалежних чинників ( $I$ ,  $T$ ) з кодованими змінними, що враховують взаємодію даних чинників:

$$\ln M = b'_0 + b'_1 X'_1 + b'_2 X'_2 + b'_{12} X'_1 X'_2. \quad (4)$$

Лінійне відтворення моделі (4) реалізовуватиметься без логарифмування коефіцієнтів  $b_n$  та незалежних змінних  $X_i$ .

Визначення коефіцієнтів  $b'_n$  ( $b_n$ ) з врахуванням експериментально одержаних значень  $\bar{M}_i$  проводиться з залежностей [9]:

$$b'_n = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{in} \ln \bar{M}_i, \text{ або } b_n = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{in} \bar{M}_i, \quad (5)$$

де  $X_{in}$  – код  $n$ -го фактора  $i$ -го дослідження;  $\bar{M}_i$  – середнє значення результату  $i$ -го дослідження за певних значень факторів;  $N$  – кількість досліджень.

При однаковій кількості паралельних досліджень  $r$  (в нашому випадку  $r = 2$ ) на кожному поєднанні рівнів факторів відтворюваність перевірялась за критерієм Кохрена. Критерій враховує відношення максимального значення дисперсії розсіювання до величини дисперсії відтворюваності. З порівняння розрахункового та критичного значення критерію встановлено, що гіпотеза однорідності дисперсій підтверджується, оскільки  $G=0,40151 < G_{кр}=0,907$ .

Оцінювання значущості коефіцієнтів регресії  $b'_n$  здійснювалось за допомогою критерію Стюдента. За результатами порівняльної перевірки встановлено, що усі коефіцієнти рівняння регресії є значущими.

Для того, щоб встановити точність опису експериментальних даних рівнянням регресії, визначено коефіцієнт множинної кореляції, який становить  $R = 0,929$ , на підставі чого можемо стверджувати, що логарифмічно-

логарифмічна функція відгуку майже повністю описує результати аналітичних досліджень.

Далі, за для переходу до моделі в натуральних змінних, підставлено перетворені вирази (2) з урахування коефіцієнтів регресії  $b'_n$  в модель (4). Після виконання низки математичних перетворень та спрощень виразу одержано остаточну модель у вигляді логарифмічно-логарифмічної функції, яка описує вплив незалежних чинників  $I$  та  $T$  на показник прогнозованої аварійності  $M$ :

$$M = \frac{1}{N} (\exp(-3,384 + 3,065 \cdot \ln I + 1,219 \cdot \ln T - 0,457 \cdot \ln I \cdot \ln T)), \quad (6)$$

де  $N$  – кількість об'єктів спостереження, які віднесено до певної категорії;  $I$  – інтенсивність руху автомобілів на досліджуваному перехресті;  $T$  – тривалість циклу світлофорного регулювання на досліджуваному перехресті.

З метою перевірки достовірності результатів, отриманих з допомогою логарифмічно-логарифмічної функції відгуку у вигляді моделі (6), проведено визначення відповідних показників аварійності з допомогою рівнянь, побудованих різними способами. За їх відображення можуть правити наступні функції:

– логарифмічно-лінійне відображення функції відгуку

$$M = \frac{1}{N} (-13,8 + 33,67 \cdot \ln I + 1,64 \cdot \ln T + 0,67 \cdot \ln I \cdot \ln T); \quad (7)$$

– лінійно-логарифмічне відображення функції відгуку

$$M = \frac{1}{N} (\exp(0,163 + 0,397 \cdot I + 0,02 \cdot T - 0,017 \cdot I \cdot T)); \quad (8)$$

– лінійно-лінійне відображення функції відгуку

$$M = \frac{1}{N} (6,834 + 7,928 \cdot I + 0,028 \cdot T - 0,03 \cdot I \cdot T). \quad (9)$$

Використовуючи залежності (6)-(9) проведено прогнозування показника аварійності за умови різних значень інтенсивності руху та циклічності світлофорного регулювання. Одержані результати нанесено на спільну



графічну сітку з метою їх порівняння та встановлення величини розбіжностей і ймовірної похибки (рис. 1).

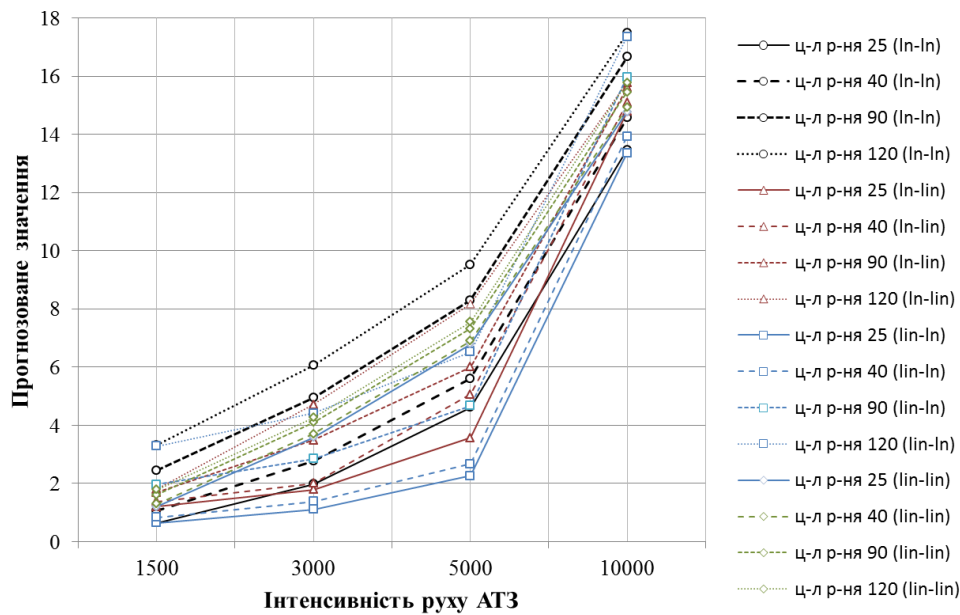


Рисунок 1 – Залежності показника аварійності перехрестя від чинників  $I$  та  $T$  (різні способи відтворення)

Наведені графічні залежності розкривають повну сутність застосування методу регресійного аналізу з метою прогнозування показника аварійності на перехрестях міста Львів. За результатами порівняльного відображення можна констатувати, що розбіжності результатів прогнозування з використанням різних моделей здебільшого варіюються в допустимих межах. Зростання ймовірної похибки результатів прогнозування спостерігається на перехрестях з інтенсивністю 3 та 5 тис. автомобілів за добу. В такому випадку, до уваги слід приймати ті моделі, результати прогнозування яких дублюються з врахуванням допустимих відхилень.

**Висновки.** На підставі математичного оброблення результатів аналітичних досліджень одержано математичні моделі прогнозування показника аварійності регульованих перехресть, які враховують параметри інтенсивності руху та пропускної здатності і можуть застосовуватись з метою профілактики аварійних ситуацій на перехрестях міста Львів. Одержані результати підтверджують висунуту гіпотезу про можливість застосування

методів регресійного аналізу з метою прогнозування аварійності на перехрестях різних категорій.

### Література

1. Road crash casualties: characteristics of police injury severity misclassification / [E. Amoros, J. L. Martin, M. D. Mireille, B. Laumon] // Trauma Injury Infection & Critical Care. – 2007. – Vol. 62, N 2. – P.482–490.

2. Гайко Г. В. Аналіз причин і факторів, що зумовлюють смертність постраждалих із травмами опорно-рухового апарату, отриманих під час ДТП / Г. В. Гайко, Р. В. Деркач // Наука і практика: Міжвідомчий медичний журнал. Київ: НАМН України, 2014. – №1(2). – С.82-86.

3. Безпека дорожнього руху: аналіз та прогнозування аварійності в Україні / [Гусев О.В., Хмельов І.В., Дзівалтовська І.А., Івашенко О.Ю. ] // Вісник Національного транспортного університету : В 2-х частинах : Ч.2. – К.: НТУ, 2009. – Випуск 19.

4. Gusev A. V. The development of prediction models. // Highways and highway construction, 57, Kiev, NTU, 2004. – P. 77-79.

5. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво : ДБН В.2.3-4:2007. – [Чинний від 2008-03-01]. К. : ДерждорНДІ, 2007. – 91 с. – (Державні будівельні норми).

6. Лобашов О. О. Практикум з дисципліни «Організація дорожнього руху» : навч. посіб. / О. О. Лобашов, О. В. Прасоленко. – Харків : ХНАМГ, 2011. – 221 с.

7. Світлофори дорожні. Загальні технічні вимоги, правила застосовування та вимоги безпеки : ДСТУ 4092-2002. – [Чинний від 2003-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2002. – 23 с. – (Національний стандарт України).

8. Лопух О. Р. До питання удосконалення методів дослідження безпеки дорожнього руху (на прикладі м. Львова) / О. Р. Лопух, О. В. Придатко, І. В. Паснак // Науковий вісник НЛТУ України : Зб.наук.-тех. праць. Львів : РВВ НЛТУУ, 2015. – №25.5. – С.210-216.

9. Винарский М. С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М. С. Винарский, М. В. Лурье. – К. : Техніка, 1975. – 168 с.