

УДК 711.73+656.13

**Толок О.В., к.т.н., Самісько Т.О.**  
**АДІ ДВНЗ «ДонНТУ», м. Горлівка**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЗВ'ЯЗКУ МІЖ МІСТОБУДІВНИМИ ФАКТОРАМИ І РІВНЕМ НЕБЕЗПЕКИ МІСЬКОГО РУХУ З ЗАСТОСУВАННЯМ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ**

*Розроблено математичні моделі оцінки рівня безпеки міського руху на вулично-дорожній мережі. Із застосуванням цих математичних моделей досліджено зв'язок між містобудівними факторами і рівнем безпеки міського руху.*

### ***Постановка наукового завдання***

Вирішення проблеми безпеки міського руху на вулично-дорожній мережі (ВДМ) є одним з головних завдань містобудівників під час розробки програм розвитку й удосконалювання транспортних систем міст.

Проектувальники-містобудівники шукали (і продовжують шукати) раціональні способи зниження рівня безпеки міського руху на ВДМ. Але цей процес марний без знання об'єктивних закономірностей, що відбивають зв'язок між рівнем безпеки міського руху і різними факторами, які умовно можна об'єднати в наступні групи: містобудівні, соціальні, природно-кліматичні умови, кваліфікація й психофізіологічні особливості водіїв та інших учасників міського руху. Тому виявлення таких закономірностей є важливим завданням містобудівної науки. У цій роботі обмежимося дослідженням впливу на рівень безпеки міського руху містобудівних факторів.

### ***Аналіз попередніх досліджень***

Ця робота є продовженням досліджень, результати яких опубліковано в [1, 2].

Містобудівні фактори, що впливають на рівень безпеки міського руху — це комплекс факторів, що визначають обсяг міського руху, напрямки і розподіл міського руху по території міста й характеризують містобудівні умови, в яких цей рух здійснюється [1].

Традиційно для досліджень у сфері безпеки руху використовують статистичний підхід. І це дійсно найбільш надійний інструмент дослідження подібного роду проблем, що обумовлено, насамперед, неприйнятністю з етичних і економічних міркувань експериментального дослідження тих аспектів, які стосуються життя й здоров'я людей, значного збитку матеріальним цінностям і природним ресурсам.

У [1, 2] досліджувався зв'язок між містобудівними факторами і рівнем безпеки міського руху з застосуванням кореляційного аналізу. Для забезпечення «чистоти» вивчення зв'язку між містобудівними факторами й рівнем безпеки міського руху дослідження проводили для Донецького регіону, припускаючи, що показники соціальних факторів, природно-кліматичні умови, кваліфікація й психофізіологічні особливості водіїв у містах з одного регіону перебувають приблизно на однаковому рівні.

Встановлено, що рівень безпеки міського руху на ВДМ формується під впливом складної комбінації містобудівних факторів, які діють взаємопов'язано і взаємозумовлено. Тому важко відокремити вплив одного фактора від впливу інших. У цих умовах тільки математичне моделювання дасть можливість відокремити і кількісно оцінити вплив окремих факторів при постійності інших, що дозволить поповнити знання про закономірності зміни рівня безпеки міського руху й на основі цих знань запропонувати рішення по зменшенню рівня безпеки міського руху.

### Мета і задачі дослідження

Метою роботи є дослідження зв'язку між містобудівними факторами і рівнем небезпеки міського руху з застосуванням математичних моделей.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні задачі: розробити математичні моделі оцінки рівня небезпеки міського руху на ВДМ; із застосуванням математичних моделей дослідити зв'язок між містобудівними факторами і рівнем небезпеки міського руху й на основі цього запропонувати раціональні рішення по зменшенню рівня небезпеки міського руху.

### Основна частина

Для моделювання у вибірку були включені міста Донецької області з населенням понад 50 тис. жителів. Таких міст виявилось 16.

Досліджуваний матеріал для зазначених міст складався зі статистичних даних за 11-річний період (з 1994 по 2004 рр.).

Вихідною інформацією для розробки математичних моделей були наступні дані:  $N$  — чисельність населення міста, *тис. жит.*;  $N_{MP}$  — чисельність населення міськради, *тис. жит.*;  $A$  — кількість зареєстрованих у місті легкових автомобілів, *од.*;  $n$  — частка легкових автомобілів від загального парку автомобілів у місті;  $S$  — площа території міста,  $км^2$ ;  $S_{заб}$  — площа території міста під забудовою,  $км^2$ ;  $l$  — довжина найбільшої осі міста,  $км$ ;  $L$  — довжина вулиць і доріг з удосконаленим покриттям (асфальтобетон або цементобетон),  $км$ ;  $L_{тран}$  — довжина вулиць у місті, якими здійснюється транзитний рух через місто,  $км$ ;  $S_{ВДМ}$  — площа проїзної частини вулиць і доріг з удосконаленим покриттям,  $км^2$ ;  $L_{ТР}$  — довжина пішохідних доріжок і тротуарів,  $км$ ;  $S_{ТР}$  — площа пішохідних доріжок і тротуарів,  $км^2$ .

Як незалежні змінні під час моделювання використовувалися показники містобудівних факторів, які приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Показники містобудівних факторів

Група факторів	Показник	Найменування показника	Формула для визначення
1	2	3	4
Зовнішні фактори	$X_1$	частка транзитних автомобілів у потоці на в'їзних у місто магістралях	
	$X_2$	частка населення міськради, що проживає в місті, %	$X_2 = 100N / N_{MP}$
	$X_3$	частка вулиць із транзитним рухом від загальної довжини вулиць міста з удосконаленим покриттям	$X_3 = 100L_{тран} / L$
	$X_4$	щільність зв'язку між населеними пунктами в міськраді	$X_4 = \frac{N_{MP} \cdot S}{S_{MP} \cdot N}$
Фактори, що формують рух	$X_5$	чисельність населення міста	$X_5 = N$
	$X_6$	кількість зареєстрованих у місті легкових автомобілів	$X_6 = A$
	$X_7$	щільність населення міста	$X_7 = N / S$
	$X_8$	рівень автомобілізації населення міста в легкових автомобілях	$X_8 = A / N$
	$X_9$	кількість легкових автомобілів на 1 км вулиць	$X_9 = A / L$
	$X_{10}$	кількість усіх автомобілів, що зареєстровані у місті, на 1 км вулиць	$X_{10} = A / nL$

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
Фактори, що пов'язані з планувальною структурою вулично-дорожньої мережі	$X_{11}$	кількість легкових автомобілів на 1 км <sup>2</sup> вулиць	$X_{11} = A/S_{ВДМ}$
	$X_{12}$	кількість усіх автомобілів, що зареєстровані у місті, на 1 км <sup>2</sup> вулиць	$X_{12} = A/nS_{ВДМ}$
	$X_{13}$	кількість легкових автомобілів на 1 км <sup>2</sup> площі міста	$X_{13} = A/S$
	$X_{14}$	площа міста	$X_{14} = S$
	$X_{15}$	індекс форми території міста	$X_{15} = 4S/\pi l^2$
	$X_{16}$	частка території міста під забудовою, %	$X_{16} = 100S_{заб}/S$
	$X_{17}$	лінійна щільність ВДМ	$X_{17} = L/S$
	$X_{18}$	квадратична щільність ВДМ, %	$X_{18} = 100S_{ВДМ}/S$
	$X_{19}$	середня ширина проїзної частини вулиць із удосконаленим покриттям, м	$X_{19} = 1000S_{ВДМ}/L$
	$X_{20}$	забезпеченість вулиць тротуарами, %	$X_{20} = 100L_{ТР}/L$
	$X_{21}$	середня ширина тротуару, м	$X_{21} = 1000S_{ТР}/L_{ТР}$
	$X_{22}$	забезпеченість населення ВДМ	$X_{22} = L/N$
	$X_{23}$	лінійна щільність тротуарів і пішохідних доріжок	$X_{23} = L_{ТР}/S$
$X_{24}$	квадратична щільність тротуарів і пішохідних доріжок, %	$X_{24} = 100S_{ТР}/S$	

Рівень небезпеки міського руху на ВДМ вимірювали за допомогою наступних показників: кількість ДТП в розрахунку на 1000 легкових автомобілів, що зареєстровані у місті ( $Y_1$ ,  $ДТП/1000$  легк.авт.); кількість ДТП в розрахунку на 10000 жителів міста ( $Y_2$ ,  $ДТП/10000$  жит.); кількість ДТП в розрахунку на 100 км ВДМ міста ( $Y_3$ ,  $ДТП/100$  км) — лінійна щільність ДТП.

З математичної точки зору необхідно одержати залежності:  $Y_1 = f(X_1, X_2, \dots, X_{24})$ ;  $Y_2 = f(X_1, X_2, \dots, X_{24})$ ;  $Y_3 = f(X_1, X_2, \dots, X_{24})$ .

Першим кроком моделювання була перевірка незалежних змінних на мультиколінеарність. Якщо парний коефіцієнт кореляції між незалежними змінними перевищував 0,8 з рівнем значущості 0,05, один з показників виключали. Таким чином, були виключені наступні показники:  $X_6$ ,  $X_9$ ,  $X_{11}$ ,  $X_{12}$ ,  $X_{13}$ ,  $X_{20}$ ,  $X_{22}$ . Тут і далі розрахунки виконувалися на ПЕОМ із використанням програми STATISTICA у середовищі Windows.

Припустимо, що аналітичне вираження функції відгуку може бути представлене у вигляді:

– лінійної моделі:  $y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n$ ,

– полінома другого порядку:  $y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i + \sum_{i=1}^n a_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j}^n a_{ij} x_i x_j$ ,

– статичної моделі:  $y = a_0 \cdot x_1^{a_1} \cdot x_2^{a_2} \cdot \dots \cdot x_n^{a_n}$ .

З використанням множинного регресійного аналізу окремо для кожної залежної змінної отримано моделі всіх видів. Адекватність моделей установлювали за коефіцієнтом множинної детермінації ( $R^2$ ) і коефіцієнтом апроксимації ( $MAPE$ ). Після усунення незначущих змінних була отримана адекватна модель:

$$Y_3 = 1,9478 \cdot X_7^{0,73} \cdot X_{10}^{0,18} \cdot X_{18}^{-0,67} \cdot X_{19}^{1,14} \cdot X_{24}^{0,06} . \quad (1)$$

За  $R^2 = 0,808$  — зв'язок достатньо сильний.  $MAPE = 15,8\%$  — точність моделі гарна,

$$F(5,174) = 152,13.$$

Розрахункові значення  $F$ -критерію підтверджують надійність отриманої регресійної моделі ( $F > F_{табл}(5,174) = 2,26$ ) при рівні значущості 0,05.

Для залежних змінних  $Y_1$  і  $Y_2$  з використанням множинного регресійного аналізу адекватних моделей одержати не вдалося.

Спроби моделювання рівня небезпеки міського руху за показниками  $Y_1$  і  $Y_2$  уже проводилися раніше [3]. Але процес моделювання є постійним наближенням моделі до реальності. Тому робота зі створення більш адекватних моделей була продовжена.

Для моделювання рівня небезпеки міського руху за показниками  $Y_1$  і  $Y_2$  був використаний метод, запропонований О.В. Толоком [3]. Коротко викладемо суть цього методу.

Уводяться частинні коефіцієнти небезпеки руху —  $K_i$ , які враховують вплив кожного незалежного показника на рівень небезпеки міського руху. Із застосуванням методу регресії отримано залежності коефіцієнтів небезпеки руху від відповідних показників містобудівних факторів окремо для залежних змінних  $Y_1$  і  $Y_2$  (табл. 2).

Таблиця 2

Частинні коефіцієнти небезпеки руху

Частинні коеф-ти	Залежності для визначення частинних коефіцієнтів небезпеки руху	
	Y1	Y2
K2	$K_2 = 2,3697 - 1,431X_2$	$K_2 = 2,036 - 1,0289X_2$
K4	$K_4 = 2,0474 - 1,6774X_4 + 0,8066X_4^2$	
K5	$K_5 = 1,2161 - 0,0005X_5$	
K7	$K_7 = 1,6122 - 0,4805X_7 + 0,1278X_7^2$	$K_7 = 1,6809 - 0,4636X_7 + 0,1246X_7^2$
K8	$K_8 = 2,985 - 0,0175X_8$	
K10	$K_{10} = 1,8114 - 0,0043X_{10}$	$K_{10} = 1,259 - 0,0036X_{10} + 1,964 \cdot 10^{-5} X_{10}^2$
K14	$K_{14} = 1,486 - 0,003X_{14} + 8,129 \cdot 10^{-6} X_{14}^2$	
K15	$K_{15} = 2,2677 - 2,2377X_{15} + 1,3056X_{15}^2$	
K16		$K_{16} = 1,887 - 0,0192 + 0,0002 X_{16}^2$
K17	$K_{17} = 1,518 - 0,3034X_{17} + 0,0644X_{17}^2$	
K18	$K_{18} = 1,1582 - 0,081X_{18} + 0,0381X_{18}^2$	$K_{18} = 0,9675 + 0,0849 X_{18}$
K19	$K_{19} = 0,7814 + 0,0419 X_{19}$	$K_{19} = -0,3904 + 0,286X_{19} - 0,0102X_{19}^2$
K23		$K_{23} = 1,4998 - 0,1829X_{23} + 0,0429X_{23}^2$
K24	$K_{24} = 1,0368 + 0,9055X_{24} - 0,4251X_{24}^2$	$K_{24} = 0,817 + 0,8236X_{24} - 0,3579X_{24}^2$

Одержати надійні залежності для деяких частинних коефіцієнтів небезпеки руху в місті від відповідних показників містобудівних факторів не вдалося. Тому в таблиці вони відсутні.

Остаточні моделі розраховувались з використанням регресійного аналізу й методу групового обліку аргументів і мають такий вигляд:

$$Y_1 = 0,147 + 7,064K_8 - 8,501K_{10} - 6,174K_{14} - 14,945K_{15} + 6,062K_{18} + 12,075K_{24} + 4,518K_8K_{10} - 4,965K_8K_7 - 4,584K_{10}K_7 + 15,857K_7 + 4,131 \cdot K_{10}^2 + 1,791K_8^2 \cdot K_{10} - 3,848K_{10}^2K_8 ; \quad (2)$$

$$Y_2 = -25,621 + 3,417K_7 + 14,611K_{10} + 4,782K_{19} + 4,461K_{24} . \quad (3)$$

Перевірка адекватності моделей здійснювалася за коефіцієнтом кореляції ( $R$ ), коефіцієнтом множинної детермінації ( $R^2$ ), коефіцієнтом апроксимації ( $MAPE$ ) (табл.3).

Таблиця 3

Перевірка адекватності моделей

Модель	R	R2	MAPE	F
Y1	0,804	0,646	13,58 %	F(13,166)=33,03
Y2	0,703	0,495	13,12 %	F(4,175)=42,8

За  $F$ -критерієм підтверджено значущість коефіцієнтів кореляції в отриманих моделях. За  $R^2$ : (2) — зв'язок достатньо сильний, (3) — зв'язок середній. За  $MAPE$  — якість регресійних моделей гарна.

Перетворимо формули (2) і (3) шляхом заміни змінних відповідними залежностями з табл. 2. З урахуванням позначень, прийнятих у масиві вихідної інформації (табл. 1), одержимо остаточні моделі:

$$Y_1 = 13,42 + 0,001\left(\frac{A}{N} - 122,5\right)^2 - 0,93\left(\frac{N}{S} - 1,88\right)^2 + 0,0025 \frac{A}{nL} \left[0,036 \frac{A}{N} + \left(\frac{N}{S} - 1,91\right)^2\right] - 0,042 \frac{A}{S} \left(1 - 0,26 \frac{N}{S}\right) - 50,2 \cdot 10^{-6} (S - 172,4)^2 - 31,6 \left(\frac{S}{j^2} - 0,67\right)^2 + 2309 \left(\frac{S_{ВДМ}}{S} - 0,011\right)^2 - \quad (4)$$

$$- 51329 \left(\frac{S_{ТП}}{S} - 0,011\right)^2 - 1,3 \cdot 10^{-4} \left(\frac{A}{nL} - 181,9\right)^2 + 1,24 \cdot 10^{-6} \frac{A^3}{NnL} \left(\frac{1}{nL} - 1,92 \frac{1}{N}\right), \quad \frac{ДТП}{1000 \text{ легк.авт.}}$$

$$Y_2 = 8,05 + 0,43 \left(\frac{N}{S} - 1,86\right)^2 + 2,87 \cdot 10^{-4} \left(\frac{A}{nL} - 91,7\right)^2 - 49000 \left(\frac{S_{ВДМ}}{L} - 0,014\right)^2 - \quad (5)$$

$$- 15960 \left(\frac{S_{ТП}}{S} - 0,012\right)^2, \quad \frac{ДТП}{10000 \text{ жит.}}$$

$$Y_3 = 313,04 \cdot \left(\frac{N}{S}\right)^{0,73} \cdot \left(\frac{A}{nL}\right)^{0,18} \cdot \left(\frac{S_{ВДМ}}{S}\right)^{-0,67} \cdot \left(\frac{S_{ВДМ}}{L}\right)^{1,14} \cdot \left(\frac{S_{ТП}}{S}\right)^{0,06}, \quad \frac{ДТП}{100 \text{ км ВДМ.}} \quad (6)$$

Розроблені моделі не враховують все різноманіття факторів, що впливають на рівень безпеки міського руху. У моделі не ввійшли показники, що характеризують організацію дорожнього руху на ВДМ міст, рухомість населення на індивідуальному й міському пасажирському транспорті й інші, які могли б значно підвищити якість моделей. Однак при всьому цьому моделі досить адекватні й дозволяють оцінити вплив містобудівних факторів на рівень безпеки міського руху й на основі цього науково обґрунтувати раціональні рішення, що спрямовані на зменшення рівня безпеки міського руху.

Дослідження отриманих моделей привело до висновків, які можуть надати істотну допомогу під час транспортного планування міст з позицій безпеки руху.

Насамперед, слід зазначити, що критичні значення одних показників містобудівних факторів (при яких спостерігаються мінімальні або максимальні значення рівня безпеки

руху) залежать від того, які значення приймають інші показники містобудівних факторів. Це неважко показати шляхом обчислення частинних похідних функцій  $Y_1$ ,  $Y_2$  і  $Y_3$  по незалежним змінним, що входять у моделі (4), (5), (6). Помітимо, що незалежні змінні, що входять у моделі (4), (5), (6), є складовими показників містобудівних факторів. Наприклад, змінна  $A$  є складовою таких показників містобудівних факторів (табл. 1):  $X_6$ ,  $X_8$ ,  $X_9$ ,  $X_{10}$ ,  $X_{11}$ ,  $X_{12}$ ,  $X_{13}$ . Таким чином, під час дослідження впливу перерахованих тільки що містобудівних факторів на рівень небезпеки міського руху, їхні показники можуть бути уведені в отримані моделі. Так змінна  $A$  може бути представлена як  $A = X_8 N$ , або  $A = X_9 L$ .

Для проведення досліджень узяті віртуальне місто з такими транспортно-планувальними характеристиками:  $N = 500$  тис. жит.;  $A = 60000$  од.;  $n = 0,76$ ;  $S = 200$  км<sup>2</sup>;  $l = 17$  км;  $L = 600$  км;  $S_{ВДМ} = 5,4$  км<sup>2</sup>;  $S_{ТР} = 1$  км<sup>2</sup>. З використанням розроблених нами моделей були проведені експерименти з оцінки рівня небезпеки міського руху на ВДМ у віртуальному місті, у ході яких змінювали одну характеристику, а всі інші залишалися постійними.

Розраховані середні значення коефіцієнтів еластичності за деякими показниками, що входять у розроблені моделі (табл. 4).

Таблиця 4

## Середні значення коефіцієнтів еластичності

Показник	Коефіцієнт еластичності (ранг)			Сума рангів (підсумковий ранг)
	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	
L	0,16 (5)	0,4 (2)	0,84 (1)	8 (3)
SBDM	0,29 (3)	0,24 (4)	0,47 (3)	10 (4)
A	0,4 (2)	0,996 (1)	0,18 (4)	7 (2)
N	1,24 (1)	0,31 (3)	0,73 (2)	5 (1)
Стр	0,17 (4)	0,078 (5)	0,059 (5)	14 (5)

Коефіцієнт еластичності показує на скільки відсотків зміняться прогнозовані значення показників рівня небезпеки міського руху, якщо змінити на 1 % одну з незалежних змінних, що входить у модель, при постійних значеннях інших змінних. Знання значень коефіцієнтів еластичності дозволяє дати рекомендації із пріоритетного використання методів зменшення рівня небезпеки руху в містах.

Привласнимо ранг кожному з показників за ступенем впливу його зміни на зміну рівня небезпеки міського руху  $Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $Y_3$  (табл. 4). Найбільший вплив на зміну рівня небезпеки міського руху роблять показники, для яких сума рангів за  $Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $Y_3$  найменша.

Таким чином, на зміну  $Y_1$  найбільший вплив роблять зміни показників  $N$  і  $A$ , на  $Y_2$  —  $A$  і  $L$ , на  $Y_3$  —  $L$  і  $N$ . У цілому на зміну рівня небезпеки міського руху найбільше впливають зміни показників  $N$  і  $A$ .

Для того, щоб виробити керуючі впливи, необхідно кількісно оцінити, як реагує рівень небезпеки міського руху на зміну показників  $N$  і  $A$ .

Перш ніж почати до вирішення цього питання, ми повинні визначити, чим ми можемо управляти і якими способами. Якщо цілеспрямовано управляти чисельністю населення в місті ( $N$ ) практично неможливо, то регулювати кількість автомобілів ( $A$ ) і рівень автомобілізації населення ( $A/N$ ) можна багатьма способами. Це, насамперед, розвиток системи масового пасажирського транспорту і поліпшення його роботи, зменшення потреби в поїздках шляхом наближення місць житла до місць роботи, спільна оренда автомобілів, підвищення цін на па-

ливо. Тому більший інтерес представляє дослідження зв'язку між кількістю автомобілів і рівнем автомобілізації населення в місті та рівнем небезпеки міського руху.

Для віртуального міста, транспортно-планувальні характеристики якого наведені вище, були отримані залежності рівня небезпеки міського руху від кількості автомобілів у місті й рівня автомобілізації населення (змінювали  $A$ , а  $N$  та ін. показники — постійні) (рис. 1).

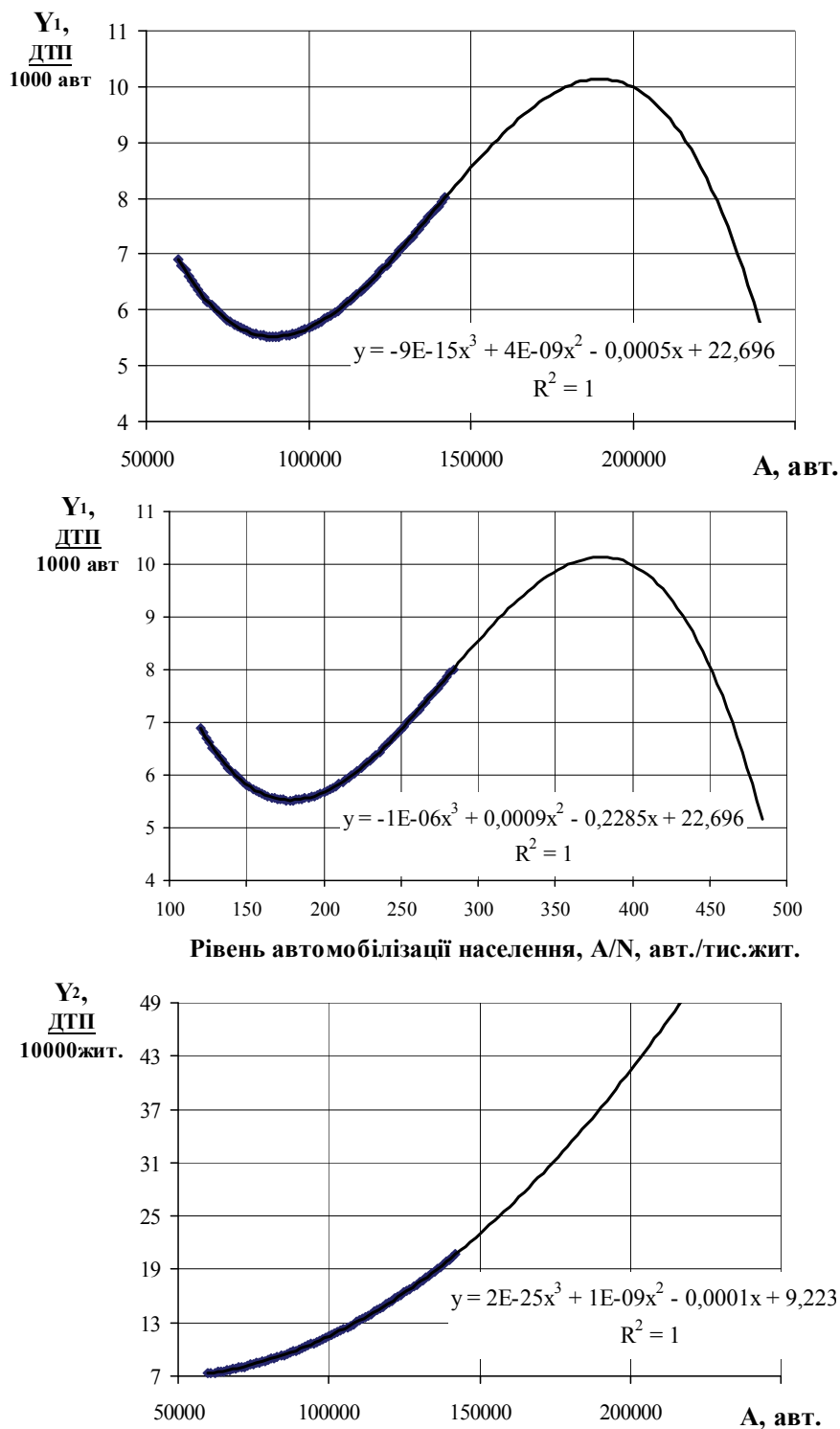


Рис. 1. Залежності рівня небезпеки міського руху від кількості автомобілів у місті й рівня автомобілізації населення

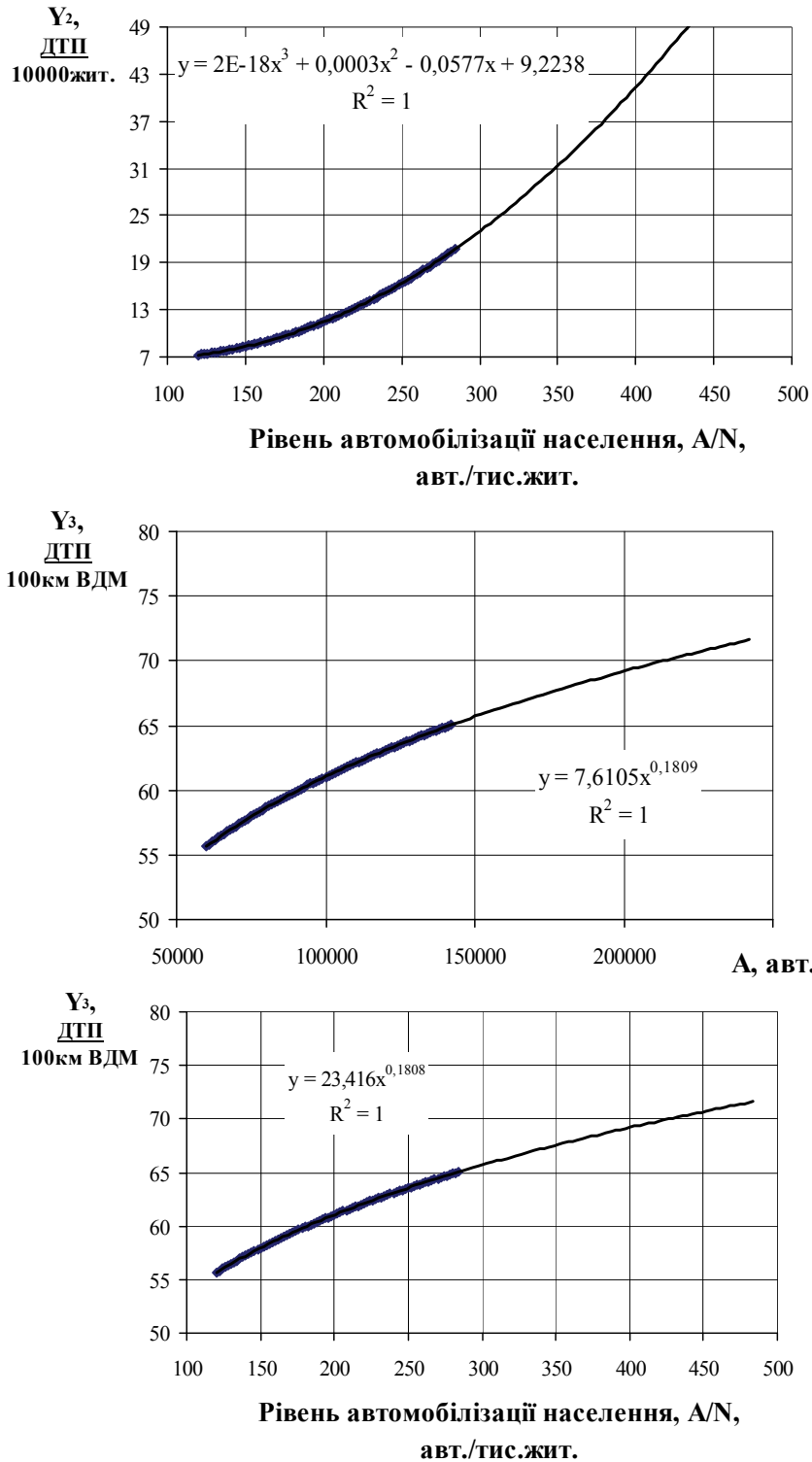


Рис. 1, аркуш 2

Як бачимо, збільшення кількості автомобілів (рівня автомобілізації) при конкретних умовах розпланування ВДМ приводить до постійного збільшення  $Y_3$ . Однак для показників  $Y_1$  і  $Y_2$  існує така кількість автомобілів (рівень автомобілізації), при якій в конкретних умовах розпланування ВДМ ці показники приймають мінімальні значення.

Збільшення кількості автомобілів при постійних планувальних умовах руху призводить до підвищення щільності руху по ВДМ (яка може бути визначена як відношення кількості автомобілів ( $A$ ) до площі ВДМ ( $S_{ВДМ}$ )), внаслідок чого змінюється рівень небезпеки міського руху (рис. 2)



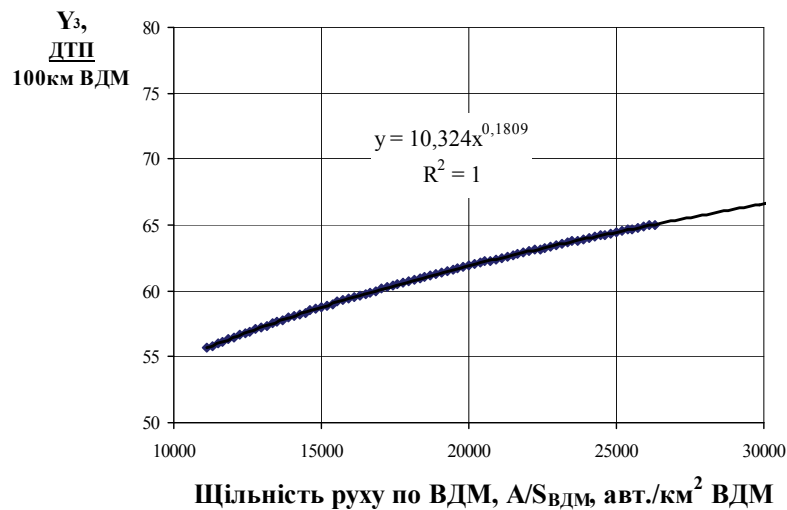
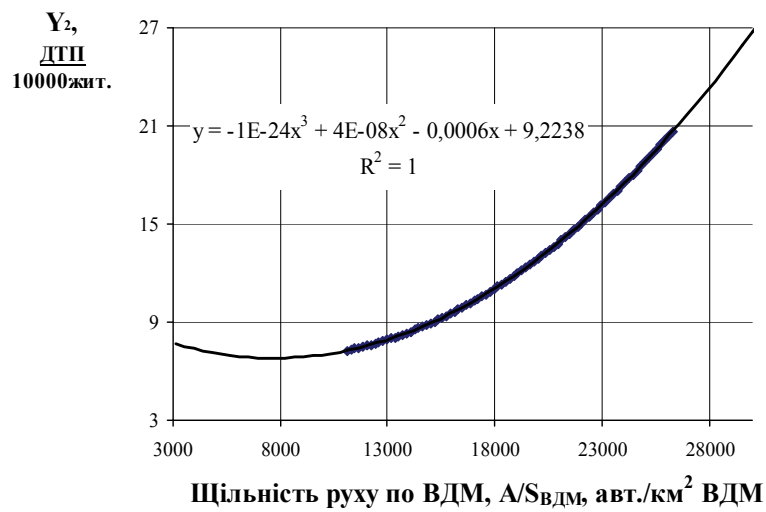
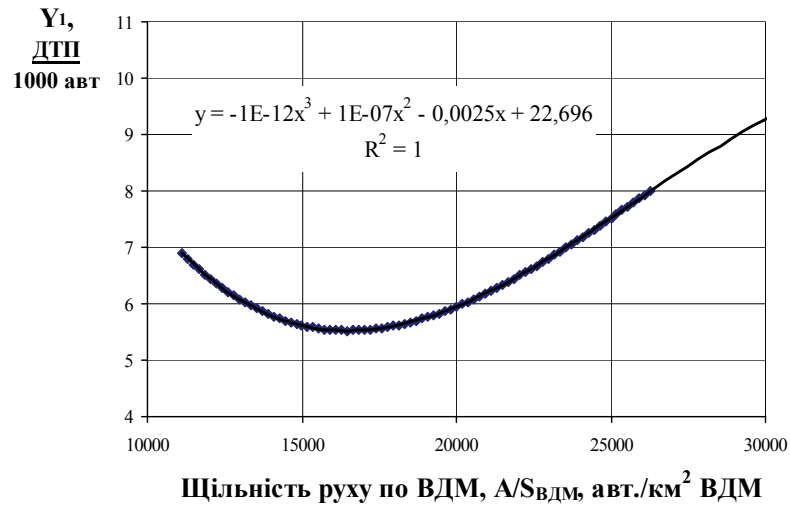


Рис. 2. Залежність рівня небезпеки міського руху від щільності руху по ВДМ

Аналіз отриманих графіків дозволяє зробити висновок про те, що кожній кількості автомобілів у місті відповідає певна площа ВДМ, при якій щільність руху транспорту на ВДМ забезпечує мінімальні значення показників  $Y_1$  і  $Y_2$ . Тому, управляючи  $S_{ВДМ}$ , можна зменшити рівень небезпеки міського руху.

Проведемо дослідження двох можливих варіантів зміни  $S_{ВДМ}$ :

1. Зміна  $S_{ВДМ}$  за рахунок зміни середньої ширини вулиць при збереженні лінійної щільності ВДМ (рис. 3).

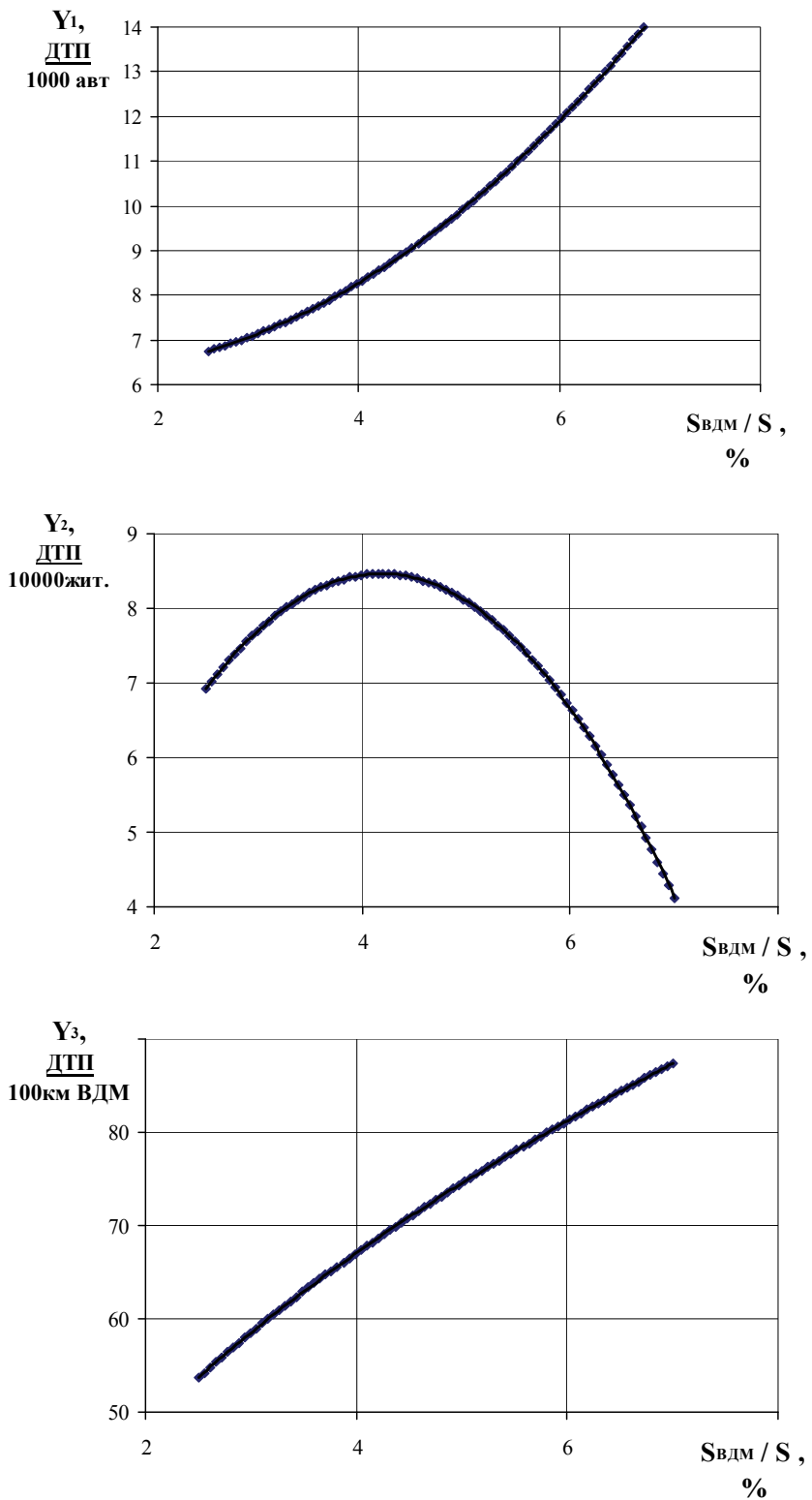


Рис. 3. Зміна квадратичної щільності ВДМ і рівень небезпеки міського руху за рахунок збільшення середньої ширини магістралей

2. Зміна  $S_{ВДМ}$  за рахунок зміни лінійної щільності ВДМ при збереженні середньої ширини вулиць (рис. 4).

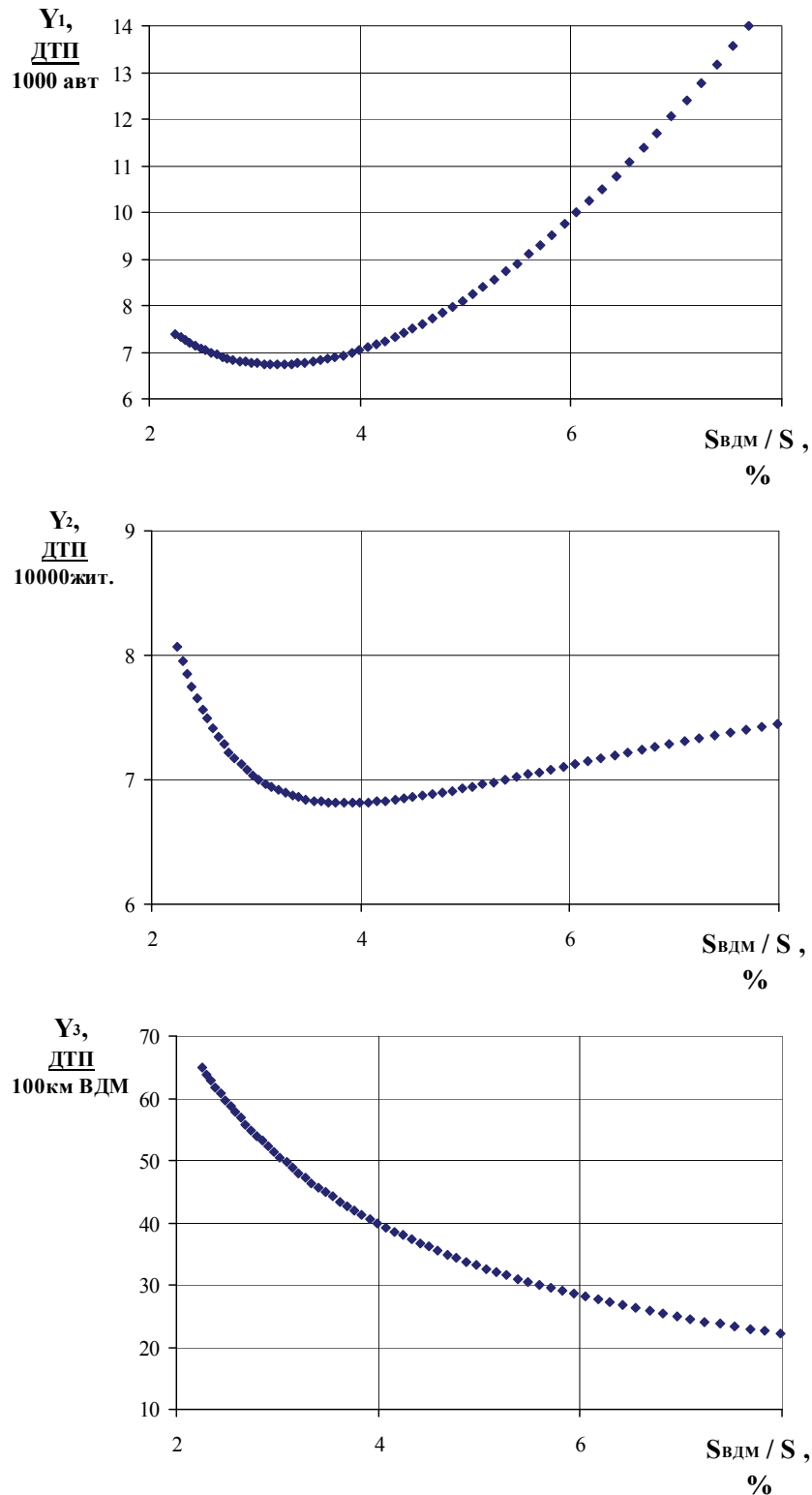


Рис. 4. Зміна квадратичної щільності ВДМ і рівень небезпеки міського руху за рахунок збільшення протяжності (лінійної щільності) ВДМ

В обох випадках змінюється квадратична щільність ВДМ, однак, вплив на рівень небезпеки міського руху різний.

Порівняння рисунків 2, 3 і 4 дало можливість установити єдине однозначне рішення за показником  $Y_3$ :

- для зменшення  $Y_3$  необхідне збільшення  $S_{ВДМ}$  (за умови, що  $A = const$ );
- збільшення  $S_{ВДМ}$  необхідно здійснювати за рахунок збільшення лінійної щільності ВДМ.

Для прийняття варіанта зміни  $S_{ВДМ}$  із метою мінімізації  $Y_1$  і  $Y_2$  необхідні більш детальні дослідження. Наприклад, для мінімізації  $Y_1$  необхідно забезпечити певне значення щільності руху по ВДМ (рис. 2), яку назвемо оптимальною щільністю руху (ОЩР). Якщо значення фактичної щільності руху менше ОЩР, то необхідно зменшити  $S_{ВДМ}$  до досягнення ОЩР. При зменшенні  $S_{ВДМ}$  зменшується квадратична щільність ВДМ ( $S = const$ ). За графіками на рисунках 3 й 4 необхідно вибрати той варіант дій зі зменшення квадратичної щільності ВДМ, який дасть менші значення  $Y_1$ .

Ми навели один з найпростіших прикладів обґрунтування розвитку ВДМ з позиції безпеки руху із використанням розроблених нами моделей. На практиці подібні міркування з розвитку ВДМ можуть проводитися з урахуванням динаміки всіх показників, що входять у моделі. При цьому виникає можливість визначити той варіант розвитку ВДМ, що дасть мінімальне значення комплексної оцінки рівня небезпеки міського руху у порівнянні з альтернативними варіантами [4].

### **Висновки**

Розроблено математичні моделі оцінки рівня небезпеки міського руху на вулично-дорожній мережі. Із застосуванням цих математичних моделей досліджено зв'язок між містобудівними факторами і рівнем небезпеки міського руху. На конкретному прикладі показано, яким чином можна використати отримані результати для обґрунтування розвитку вулично-дорожньої мережі з позицій безпеки міського руху.

### **Список літератури**

1. Толлок О.В. Дослідження зв'язку між містобудівними факторами і рівнем небезпеки міського руху з застосуванням кореляційного аналізу / О.В. Толлок // Містобудування та територіальне планування. — К.: КНУБА, 2009. — Вип. 35. — С. 435-442.
2. Толлок О.В. Дослідження впливу організації дорожнього руху на тісноту кореляційного зв'язку між містобудівними факторами і рівнем небезпеки міського руху / О.В. Толлок // Містобудування та територіальне планування. — К.: КНУБА, 2010. — Вип. 36. — С. 440-444.
3. Рейцен Е.А. Влияние градостроительных факторов на безопасность движения в городах Донецкой области / Е.А. Рейцен, А.В. Толлок // Коммунальное хозяйство городов. — К.: Техніка, 2007. — Вып. 76. — С. 294-303.
4. Толлок О.В. Порівняльний аналіз безпеки руху в містах / О.В. Толлок, Т.Є. Василенко, О.О. Закаблук // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: науково-виробничий збірник / АДІ ДонНТУ. — Горлівка, 2008. — № 1 (6). — С. 22-27.

Рецензент: к.т.н., доц., Т.Є. Василенко, АДІ ДВНЗ «ДонНТУ»

Стаття надійшла до редакції 02.11.10  
© Толлок О.В., Самісько Т.О., 2010