

Бугайова¹ М.О., Холодова¹ О.О., Бугайов² І.С., Шевчук Є.В.¹
Харківський національний автомобільно-дорожній університет¹
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова²
Харків, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ДОРОЖНІХ ПАГОРБІВ НА РОБОТУ НЕРЕГУЛЬОВАНОГО ПЕРЕХРЕСТЯ

Досліджено вплив конструктивних параметрів дорожніх пагорбів на швидкість транспортних засобів та ефективність роботи нерегульованих перехресть. Основна мета встановлення дорожніх пагорбів полягає у примусовому зниженні швидкості руху з метою підвищення безпеки, проте неправильне проектування чи розміщення може призвести до збільшення затримок, підвищеної витрати пального та зростання рівня шкідливих викидів. Це зумовлює необхідність науково обгрунтованого підходу до їхнього проектування.

Метою дослідження є створення моделей прогнозування зміни швидкості транспортних засобів залежно від геометричних характеристик дорожніх пагорбів на нерегульованому перехресті. У середовищі PTV VISSIM проведено серію експериментів зі зміною ширини, висоти та відстані від стоп-лінії. Висоту враховано через параметри зони зниження швидкості, що дозволило реалістично відтворити реакцію водіїв. Опрацювання даних у STATISTICA дало змогу побудувати регресійні моделі з високою статистичною надійністю.

Доведено, що найбільший вплив на уповільнення має висота дорожнього пагорба, тоді як ширина та відстань від стоп-лінії визначають характер зміни швидкості у складнішій залежності. Розроблена модель дозволяє визначати оптимальні параметри дорожніх пагорбів, за яких досягається ефект заспокоєння руху без істотного зниження пропускної здатності та з мінімальним впливом на екологічні показники.

Отримані результати мають практичну цінність для транспортного планування, проектування вулично-дорожньої мережі, розробки схем організації руху та оцінювання ефективності заходів з уповільнення транспорту. Вони можуть стати підґрунтям для формування сучасних підходів до проектування дорожніх пагорбів з урахуванням українських умов.

Ключові слова: дорожній пагорб, транспортний засіб, транспортний потік, моделювання, швидкість, висота, ширина, відстань від стоп-лінії, мікросимуляція, модель.

ВСТУП

Дорожні пагорби (ДП), або “лежачі поліцейські” (ЛП), застосовуються як ефективний засіб примусового зниження швидкості транспортних засобів (ТЗ) та підвищення безпеки дорожнього руху (БДР). Водночас їхні конструктивні параметри безпосередньо впливають на ефективність функціонування транспортного потоку (ТП). Неправильно спроектовані чи встановлені ДП здатні призвести до збільшення часу простоїв ТЗ, підвищеної витрати пального та зростання рівня викидів шкідливих речовин [1]. У цьому дослідженні запропоновано розробку моделей, що дають змогу прогнозувати зміну швидкості ТЗ залежно від конструктивних характеристик ДП. З огляду на обмежену кількість подібних досліджень в Україні, отримані результати можуть бути використані для науково обгрунтованого проектування ДП у майбутньому.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

ДП є трохи піднятими нерівностями на дорозі, які використовуються для примусового зниження швидкості руху [2]. ДП є найпоширенішим засобом заспокоєння руху завдяки низькій вартості та простоті встановлення. Більшість ТЗ можуть безпечно перетинати їх зі швидкістю 25–30 км/год. ДП розроблені для створення “гойдалки”, яка збільшує дискомфорт водія зі збільшенням швидкості переходу [2].

В дослідженні [3] авторами пояснюється зниження швидкості руху на 1 км/год кожним сантиметром збільшення висоти ДП. В роботах [4, 5] вивчається вплив ДП різної висоти (3, 5 та 7 см) на швидкість руху автомобілів. Були проведені вимірювання швидкості через 1 день та 1 місяць після та до встановлення ДП. Порівняння між різними вимірюваннями швидкості проводилося за допомогою дисперсійного (ANOVA) та post hoc аналізу. Аналіз показав, що в місцях встановлення ДП спостерігалось значне зниження швидкості порівняно з періодом до їх встановлення.

В статті [6] розроблено модель для оцінки впливу характеристик ДП на час затримки в Йорданії. Модель показала, що ДП спричиняють значні затримки в місцях їх розташування. В роботі [7] також представлено практичне дослідження для збору та аналізу даних про час подорожі на основі GPS з метою оцінки впливу ДП на час подорожі та затримки на міжміських дорогах в Єгипті. Результати довели, що на величину затримки подорожі в різний час доби впливає ДП.

Кілька досліджень досліджували вплив ДП на обсяг транспорту та рівень шуму. Авторами публікації [8] досліджено вплив ДП на обсяг транспорту та рівень шуму в житловому районі Куала-Лумпуру. Для вимірювання даних про обсяг транспорту та рівень шуму були проведені польові дослідження на трьох вибраних дорогах. Перше вимірювання рівня шуму на дорозі показало найвищий обсяг транспорту та найвищий рівень шуму. Кореляційний аналіз показав подібну закономірність у взаємозв'язку між обсягом транспорту та рівнем шуму.

В роботах [9, 10] використовували радар-пістолети для вимірювання швидкості різноманітних ТЗ. У статті [9] вимірювання проводилися на значно ширшому діапазоні — від -100 м до 80 м від ДП. Натомість, дослідження [10] зосередилося на вужчій зоні, а саме від -20 м до 20 м від ДП. Але основним недоліком робіт [9, 10] є неможливість вимірювання швидкості того самого ТЗ у декілька точках.

В роботі [11] використовували радар-пістолет для вимірювання швидкості на шістьох ідентичних ДП. Основне обмеження цієї роботи полягало в тому, що вона не дозволяла аналізувати загальний вплив ДП на швидкість ТЗ, а лише порівнювати характеристики різних профілів швидкості.

В статті [12] для вимірювання швидкості застосували дрон-камеру для відеозйомки та програмне забезпечення Tracker. Основним недоліком цього дослідження було те, що воно проводилося лише для одного конкретного ДП.

В дослідженнях [13, 14] також використовували радар-пістолет, проводячи вимірювання швидкості на відстанях 10 м, 7 м, 5 м та 2 м (ліворуч та праворуч від пагорба). Недоліком роботи є, то що дані збиралися лише для двох категорій ТЗ.

В роботі [15] застосували відеокамери для вимірювання швидкості ТЗ, збираючи дані інтенсивності ТП кожні 15 хвилин. Вимірювання швидкості проводилися на відстанях 10 м, 7 м, 4 м та 1 м до і після ДП. Однак, виявлено, що цей підхід виявився менш ефективним порівняно з вимірюванням за допомогою радар-пістолета.

Автори публікацій [16, 17] використовували мікросимуляцію PTV VISSIM для моделювання руху ТЗ та визначення ефективності дорожнього руху. Для симуляції ДП застосовували інструмент Reduced Speed Area (RSA). Однак, суттєвою прогалиною в дослідженні було те, що модель не була відкалібрована.

В роботі [18] вимірювали вплив ДП на БДР та рівень обслуговування перехрестя. Проте, вони зазначили, що використання радар-пістолета для вимірювання швидкості є менш ефективним порівняно з технікою відеокамери.

Особливо актуальним є дослідження [19], де автори аналізують ефективність впровадження засобів заспокоєння дорожнього руху на перехрестях. У роботі акцентовано увагу на необхідності комплексного підходу до проектування ДП та оцінки їхнього впливу на безпеку руху й пропускну здатність.

Аналіз літератури показав, що попередні роботи не розробляли регресійних моделей для прогнозування зміни швидкості ТЗ залежно від конструктивних характеристик ДП на нерегульованих перехрестях.

Отже, хоча наукові публікації й підкреслюють значення ДП для безпеки та ефективності руху, системних методів для комплексного аналізу та прогнозування їхнього впливу на швидкість наразі бракує. Це доказує актуальність даного дослідження, яке має на меті заповнити ці прогалини шляхом розробки регресійних моделей та симуляційного аналізу впливу ДП на швидкість, що є особливо важливим для України з огляду на недостатність подібних робіт.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міста шляхом оптимізації параметрів ДП на нерегульованих перехрестях. Це допоможе зменшити затримки руху, покращити пропускну здатність та підвищити БДР, враховуючи вплив цих засобів. Отримані результати можуть стати внеском у світову практику та сприяти адаптації сучасних підходів до умов України. Отримані результати можуть бути корисними як для міського планування на локальному рівні, так і для загальних транспортних досліджень у країнах із подібними умовами, сприяючи розробці ефективних рішень для оптимізації руху та зменшення затримок.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дане дослідження направлено на визначення впливу ДП на ефективність та безпеку функціонування нерегульованих перехресть. Авторами роботи, спираючись на положення ДСТУ 4123:2020 БДР “Засоби заспокоєння руху” [20], запропоновано провести серію симуляційних

експериментів у програмі PTV VISSIM на нерегульованому перехресті. Метою цих експериментів є дослідження того, як зміна обраних параметрів ДП, розташованого перед нерегульованим перехрестям (на підходах до нього), впливатиме на різні аспекти його роботи.

Параметрами ДП, які можна змінювати у PTV VISSIM є:

- ширина ДП, яка впливає на плавність гальмування та розгону, а також на протяжність зони впливу (змінюється від 1 м до 3 м);

- відстань від стоп-лінії перехрестя, яка визначає, на якій відстані ТЗ почнуть реагувати на ДП перед зупинкою (приймається 10 – 50 м). Цей параметр є важливим для оцінки впливу ДП на черги та процес зупинки перед перехрестям.

У межах даного дослідження, з метою забезпечення підвищення точності та контрольованості отриманих результатів, авторами було прийнято рішення зосередити симуляційні експерименти на одному типовому нерегульованому перехресті. Використання єдиного об'єкта дослідження дозволить ефективно контролювати та мінімізувати вплив зовнішніх геометричних, топографічних та інших інфраструктурних відмінностей, які не є предметом поточного аналізу. Це забезпечує, що спостережувані варіації в ефективності функціонування перехрестя є переважно функцією маніпульованих параметрів ДП, а не наслідком унікальних особливостей різних перехресть. Таким чином, вибір одного нерегульованого перехрестя як об'єкта дослідження є свідомим методологічним кроком, спрямованим на отримання високоякісних, релевантних та інтерпретованих даних для подальшої розробки моделі впливу ДП на швидкість ТП.

У програмному забезпеченні PTV VISSIM неможливо безпосередньо змодельовати фізичну висоту ДП як 3D-об'єкт. PTV VISSIM фокусується на поведінці ТП та взаємодії ТЗ з дорожньою інфраструктурою, а не на детальному геометричному рельєфі. Тому вплив висоти ДП моделюється опосередковано, через відповідні зміни в параметрах поведінки водіїв.

Для імітації впливу різної висоти ДП (наприклад, 0,03 м, 0,07 м, 0,1 м), необхідно використовувати наступні налаштування у програмі PTV VISSIM: на ділянці дороги, де розташований ДП, створюється "зона зниження швидкості". У межах цієї зони необхідно встановити бажану швидкість для різних типів ТЗ. Чим вища висота ДП, тим нижчою буде бажана швидкість, яку водій обирає для його перетину. Для ДП висотою 0,03 м (3 см), водії можуть підтримувати відносно вищу бажану швидкість (при симуляції будемо приймати, 20-25 км/год), для ДП висотою 0,07 м (7 см), бажана швидкість може бути значно нижчою (10-15 км/год) та для ДП висотою 0,1 м (10 см), бажана швидкість буде мінімальною (5-10 км/год) [17, 19]. Такий підхід дозволяє реалістично імітувати поведінку водіїв залежно від висоти ДП у симуляційному середовищі PTV VISSIM.

Рисунок 1 демонструє фрагмент імітації руху ТП на нерегульованому перехресті.

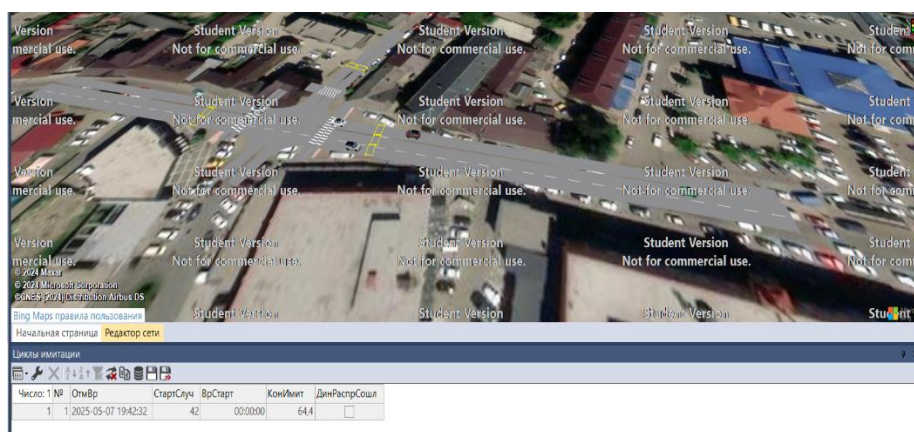


Рисунок 1 - Імітація руху ТП при моделюванні у програмі PTV VISSIM

Оскільки дослідження зосереджено на проектуванні впливу ДП на спеціально змодельованому нерегульованому перехресті, а не на існуючому об'єкті з натурними даними. Валідація моделі базувалася на двох ключових підходах: внутрішній консистентності та порівнянні з науково обґрунтованими принципами та літературними даними.

Внутрішня валідація моделі здійснювалася шляхом аналізу логічності та послідовності отриманих симуляційних результатів. Очікувалося, що зі збільшенням висоти ДП, бажана швидкість, а отже, і середня швидкість проїзду, буде знижуватися, що і було підтверджено симуляціями. Крім того, аналізувалася залежність інших показників (середня затримка руху, середня довжина затору,

середній час простою, кількість зупинок ТЗ та екологічні параметри – викиди CO, NOx та витрати палива) від параметрів ДП (див. рис. 2).

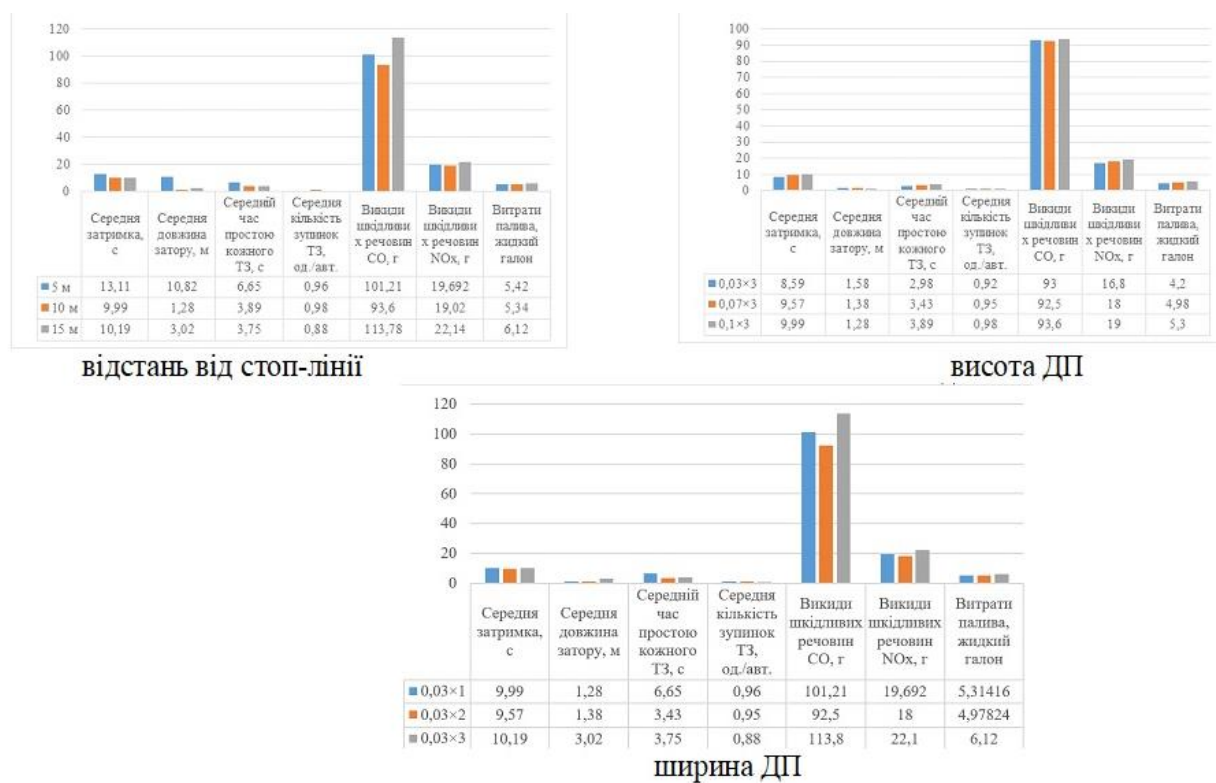


Рисунок 2 - Результати моделювання в програмі PTV VISSIM

Результати моделювання в програмі PTV VISSIM (див. рис. 2) підтвердили аналіз [1, 16, 17, 19], щодо зниження швидкості та впливу ДП на ефективність ТП.

Рисунок 2 демонструє, що оптимізація параметрів ДП є складним завданням, що вимагає знаходження балансу між досягненням бажаного ефекту уповільнення руху та мінімізацією негативних наслідків для ТП (затримки, зупинок, екологічне навантаження). Графіки чітко підтверджують, що неправильний вибір будь-якого з цих параметрів може призвести до значного погіршення функціонування перехрестя.

В результаті моделювання у програмі PTV VISSIM було сформовано широкий масив вихідних даних, які використовувалися для побудови моделі.

Цільова функція впливу параметрів ДП на середню швидкість ТП на нерегульованому перехресті має наступний вид:

$$V_{ДП} = (L_{ДП}, H_{ДП}, d_{stop}) \rightarrow \max, (1)$$

де $L_{ДП}$ - ширина ДП, м; $H_{ДП}$ - висота ДП, м; d_{stop} - відстань від стоп-лінії до ДП, м.

Обмеження моделі (1):

$$\begin{cases} 1 \text{ м} \leq L_{ДП} \leq 3 \text{ м} \\ 0,03 \text{ м} \leq H_{ДП} \leq 0,1 \text{ м}, (2) \\ 1 \text{ м} \leq d_{stop} \leq 25 \text{ м} \end{cases}$$

Важливо зазначити, що під час експерименту інтенсивність транспортного та пішохідного потоків залишалася незмінною для забезпечення контрольованості та фокусу на впливі параметрів ДП.

Для визначення виду та параметрів моделей були використана сучасна комп'ютерна програма обробки статистики STATISTICA, яка дозволяє описати отримані дані у програмі PTV VISSIM різними видами математичних функцій.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

В першу чергу необхідно отримати модель впливу параметрів ДП на швидкість ТП, що дозволить визначити, які характеристики ДП мають найбільший вплив на зміну швидкості руху.

Графік (див. рис. 3) демонструє, що висота ДП є значно важливішим фактором впливу на зниження швидкості, ніж його ширина в досліджуваному діапазоні параметрів. Збільшення висоти ДП призводить до різкого зменшення швидкості. Вплив ширини ДП є менш вираженим і має більш складний, ймовірно, з оптимальною зоною, характер. Для досягнення низьких швидкостей необхідно використовувати ДП з більшою висотою, проте слід враховувати вплив ширини, яка також сприяє зниженню швидкості, особливо у поєднанні з певною висотою. Модель підтверджує нелінійний характер взаємозв'язку між цими параметрами та швидкістю руху.

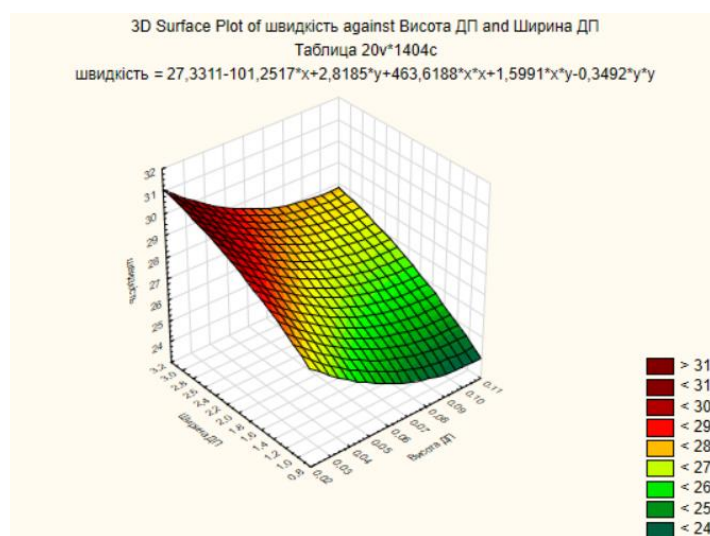


Рисунок 3 - Залежність швидкості від висоти та ширини ДП

Усі три графіки (див. рис. 3 – рис. 5) підкреслюють нелінійний характер взаємозв'язку між параметрами ДП та швидкістю. Висота ДП є ключовим параметром для зниження швидкості, тоді як інші параметри (відстань від стоп-лінії, ширина ДП, зона впливу ДП) мають більш складний, нелінійний вплив, часто з оптимальними значеннями, які необхідно враховувати для ефективного проектування ДП.

Це вказує на те, що для досягнення бажаного рівня заспокоєння руху, проектування дорожніх пагорбів має базуватися на комплексних моделях, що враховують ці нелінійні залежності та взаємодії між параметрами, а не на ізольованій оцінці кожного фактора. Застосування таких моделей дозволяє знайти баланс між ефективним зниженням швидкості та мінімізацією негативних наслідків для ТП.

Результати обробки експериментальних даних наведені в таблиці 1.

З отриманих моделей (див. табл. 1) можна зробити висновки, що всі отримані моделі є адекватними, про що свідчать високі коефіцієнти кореляції (R^2 від 0,83 до 0,92) та значні значення критерію Фішера (F від 103,03 до 240,25), що підтверджує їхню статистичну значущість та добру відповідність експериментальним даним. Зокрема, модель, що враховує залежність швидкості від висоти та ширини ДП, є найбільш точною та адекватною, маючи найвищий коефіцієнт кореляції 0,92 та найменшу стандартну похибку 0,77.

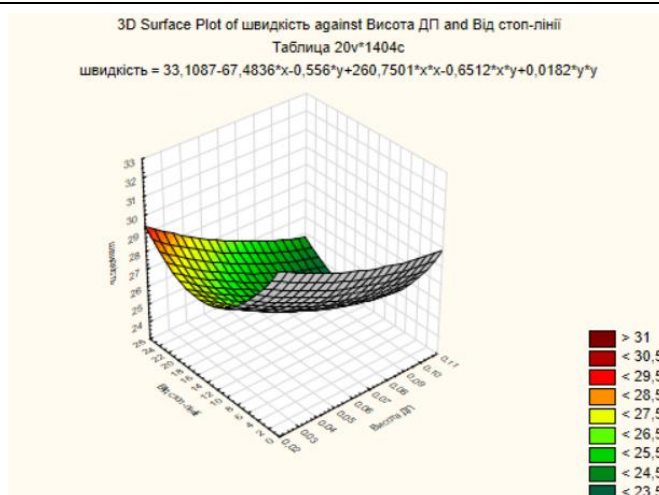


Рисунок 4 - Залежність швидкості від висоти та відстань від стоп-лінії до ДП

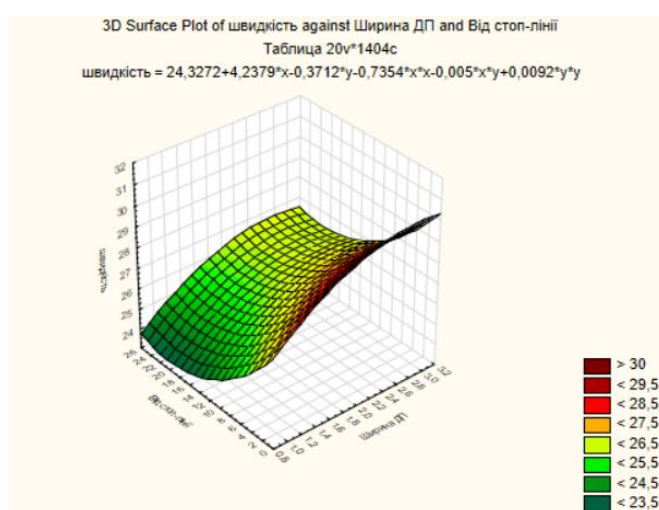


Рисунок 5 - Залежність швидкості від ширини та відстань від стоп-лінії до ДП

Таблиця 1 – Результати моделювання у програмі STATISTICA

Формула	Коефіцієнт кореляції, R^2	Критерій Фішера, F	Стандартна похибка,
$V_{ДП} = 27,331 - 101,252 \cdot H_{ДП} + 2,819 \cdot L_{ДП} + 463,62 \cdot H_{ДП}^2 - 0,349 \cdot L_{ДП}^2 + 1,6 \cdot L_{ДП} \cdot H_{ДП}$	0,92	10 3,03	0,77
$V_{ДП} = 33,11 - 67,48 \cdot H_{ДП} - 0,56 \cdot d_{stop} + 260,75 \cdot H_{ДП}^2 + 0,018 \cdot d_{stop}^2 - 0,65 \cdot d_{stop} \cdot H_{ДП}$	0,83	11 2,96	1,03
$V_{ДП} = 24,32 + 4,24 \cdot L_{ДП} - 0,37 \cdot d_{stop} - 0,74 \cdot L_{ДП}^2 + 0,009 \cdot d_{stop}^2 - 0,005 \cdot d_{stop} \cdot L_{ДП}$	0,91	24 0,25	1,77

Наступний етап передбачає розробку моделі за формулою 1. Метою є створення математичної залежності, яка буде комплексно враховувати всі три ключові параметри ДП, що впливають на швидкість ТП. За допомогою програми STATISTICA була отримана регресія та результати моделювання, які представлені на рисунку 6.

Regression Summary for Dependent Variable: швидкість (Таблиця)						
R= ,96700105 R²= ,93509102 Adjusted R²= ,93433627						
F(3,258)=1238,9 p<0,0000 Std.Error of estimate: ,46773						
N=262	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(258)	p-value
Intercept			28,0542	0,125389	223,7369	0,00
Висота ДП	-0,431623	0,015868	-39,1490	1,439286	-27,2003	0,00
Ширина ДП	0,641052	0,015885	1,5041	0,037271	40,3553	0,00
Від стоп-лінії	-0,531226	0,015890	-0,1588	0,004749	-33,4308	0,00

Рисунок 6 - Результати множинної регресії

Всі предиктори в моделі виявились статистично достовірними (p-value=0,00), а її загальна статистична значущість підтверджена високою F-статистикою 1238,9. Завдяки цьому та високому коефіцієнту кореляції 93,5%, отримана модель вважається адекватною. Цільова функція має наступний вид:

$$V_{\text{ДП}} = 28,1 + 1,5 \cdot L_{\text{ДП}} - 39,15 \cdot H_{\text{ДП}} - 0,16 \cdot d_{\text{стоп}}, (3)$$

Виходячи з цих показників (див. рис. 7), можна однозначно стверджувати, що побудована регресійна модель є високо статистично значущою та адекватною. Вона успішно пояснює зміни швидкості і може бути використана для прогнозування та розуміння впливу вхідних параметрів.

Analysis of Variance; DV: швидкість (Таблиця)						
Effect	Sums of Squares	df	Mean Squares	F	p-value	
Regress.	813,1171	3	271,0390	1238,932	0,00	
Residual	56,4422	258	0,2188			
Total	869,5593					

Рисунок 7 - Дисперсійний аналіз (ANOVA)

Графік (див. рис. 8) використовується для візуальної оцінки, чи відповідають залишки регресійної моделі припущенню про нормальний розподіл, що є одним з ключових припущень для достовірності статистичних висновків у регресійному аналізі.

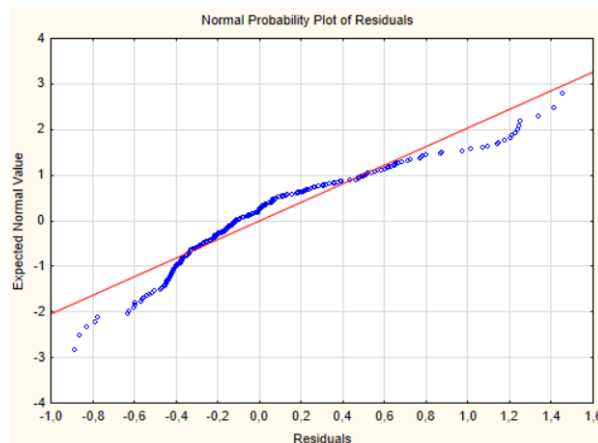


Рисунок 8 - Графік нормальної ймовірності залишків

Оскільки точки на графіку нормальної ймовірності залишків лежать переважно вздовж прямої лінії, це означає, що припущення про нормальність розподілу залишків виконується.

Таким чином, завдяки високим показникам достовірності, розроблена модель може бути ефективно використана для прогнозування та аналізу впливу параметрів ДП на швидкість руху ТЗ на нерегульованому перехресті.

ВИСНОВКИ

Застосування такого підходу є надзвичайно цінним, оскільки дозволяє наочно та кількісно оцінити вплив ДП на ТП в умовах моделювання. Для проєктувальників і міських інженерів це особливо важливо, адже дає можливість обґрунтовано визначати параметри елементів заспокоєння

руху, забезпечувати баланс між безпекою та пропускною здатністю й враховувати умови конкретних перехресть. Отримані результати можуть стати корисними у транспортному плануванні, проектуванні вулично-дорожньої мережі, розробці схем організації руху та при оцінюванні ефективності заходів зі зниження швидкості.

Доведено, що висота ДП є ключовим фактором, що визначає ступінь зниження швидкості ТЗ, з яскраво вираженою нелінійною залежністю, безпосередньо формуючи поведінку водіїв при перетині. Саме висота, через свою пряму кореляцію з фізичним впливом на ТЗ та дискомфортом для водія, змушує водіїв суттєво знижувати швидкість для безпечного та комфортного проїзду.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Kiran, K. R., Molugaram, K. and Sandeep, M. (2020) Analysis of Speed Profiles at Speed Hump under Various Dimensions & Simulating their LOS Using VISSIM, *Transportation Research Procedia*, 48, pp. 1200–1210. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.143>
2. H. Faheem (2012) Suitability of existing traffic calming measures for use on some highways in Egypt 9th International Conference on Civil and Architecture Engineering (ICCAE-9), Cairo, 9(9):1-13. DOI: [10.21608/iccae.2012.44388](https://doi.org/10.21608/iccae.2012.44388)
3. U. Engel, L.K. Thomsen (1992) Safety effects of speed reducing measures in Danish residential areas *Accident Analysis & Prevention*, 24 (1), pp. 17-28. [https://doi.org/10.1016/0001-4575\(92\)90068-T](https://doi.org/10.1016/0001-4575(92)90068-T)
4. B. Antic, D. Pešić, M. Vujanic, et al. (2013) The influence of speed bumps heights to the decrease of the vehicle speed–Belgrade experience *Safety Science*, 57, pp. 303-312. DOI: [10.1016/j.ssci.2013.03.008](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.03.008)
5. H. Mahdy (2012) Speed calming using vertical deflections in road alignment 12th International Conference on Transportation Professionals, Beijing, 9(9):1-10. DOI: [10.1061/9780784412442.212](https://doi.org/10.1061/9780784412442.212)
6. Al-Omari, G.R. (2002) Al-Massaeid Effect of speed humps on traffic delay in Jordan Road and Transport Research, 11 (4):9-55. <https://www.researchgate.net/publication/299254332>
7. I.H. Hashim, R.M. Hassouna, F.F Asal (2012) Using GPS to assess the impact of speed humps on traffic delay in Egypt. *Civil Engineering Research Magazine (CERM)*, 34 (1), pp. 230-239.
8. N. Rosli, A. Kadar Hamsa (2013) Evaluating the effects of road hump on traffic volume and noise level at Taman Keramat residential area, *Kuala Lumpur Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 10, pp. 1171-1188. DOI: [10.11175/easts.10.1171](https://doi.org/10.11175/easts.10.1171)
9. Kiran, K. R., Kumar, M. and Abhinay, B. (2020) Critical Analysis of Speed Hump and Speed Bump and Geometric Design of Curved Speed Hump', *Transportation Research Procedia*, 48, pp. 1211– 1226. DOI: [10.1016/j.trpro.2020.08.144](https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.144)
10. N A Mustafa , Kadar Hamsa , A Evaluating the Effects of Road Hump on Speed and Noise Level at a University Setting *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* Posted: 2019
11. Rosli, N.S. and Kadar Hamsa, A.A. (2013) Evaluating the Effects of Road Hump on Traffic Volume and Noise Level at Taman Keramat Residential Area, *Kuala Lumpur. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 10, 1171-1188. <https://doi.org/10.11175/easts.10.1171>
12. Arthanayake, C. and Wickramasinghe, V. (2020) 'Effects of speed humps on driver behaviour'. Chimba, D. and Mbuya, C. (2019) 'Simulating The Impact of Traffic Calming Strategies final report', TRCLC 17-10, Transportation Research Center Reports. 42. Available at: <https://scholarworks.wmich.edu/transportation-reports/42>.
13. Gupta, A. (2014) 'Study on Speed Profile Across Speed Bumps', Doctoral dissertation, National Institute of Technology Rourkela, pp. 1–43. <http://ethesis.nitrkl.ac.in/5881/1/e-74.pdf>
14. Antić, B. et al. (2013) 'The influence of speed bumps heights to the decrease of the vehicle speed - Belgrade experience', *Safety Science*, 57, pp. 303–312. doi: 10.1016/j.ssci.2013.03.008.
15. Teja, T. and Jyothi, M. (2017) 'Speed Profile Analysis at Speed Breakers on An Urban Road', *imanager's Journal on Civil Engineering*, 7(1):25. DOI: 10.26634/jce.7.1.10370.
16. Chimba, Deo and Mbuya, Christian, "Simulating the Impact of Traffic Calming Strategies" (2019). *Transportation Research Center Reports*. 42. <https://scholarworks.wmich.edu/transportation-reports/42>
17. Gamlath, K.G. Dilanka and Amarasingha, Niranga and Wickramasinghe, Vasantha SK, Evaluating the Effectiveness of Speed Humps Related to Speed Profile and Noise Profile (March 1, 2023). *JAET Volume 01 Issue 02*, March 2023 , <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4418166>
18. Nair, P. M., Bindhu, B. K. and Elangovan, T. (2013) Impact analysis of speed restriction measures using VISSIM 5.40, 2(1), pp. 303–310. Режим доступа: https://www.ijirset.com/upload/2013/special/environmental/41_IMPACT.pdf

19. БУГАЙОВ, І., ХОЛОДОВА, О., & БУГАЙОВА, М. (2023). ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ЗАСПОКОЄННЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ПЕРЕХРЕСТІ. *СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ В МАШИНОБУДУВАННІ ТА ТРАНСПОРТІ*, 1(20), 78-85. <https://doi.org/10.36910/automash.v1i20.1036>

20. ДСТУ 4123:2020. Безпека дорожнього руху. Засоби заспокоєння руху. Загальні технічні вимоги. [Чинний від 2020-08-06]. ДП «УкрНДНЦ», 2020. 43 с. http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=90493

REFERENCES

1. Kiran, K. R., Molugaram, K. and Sandeep, M. (2020) Analysis of Speed Profiles at Speed Hump under Various Dimensions & Simulating their LOS Using VISSIM, *Transportation Research Procedia*, 48, pp. 1200–1210. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.143>
2. H. Faheem (2012) Suitability of existing traffic calming measures for use on some highways in Egypt 9th International Conference on Civil and Architecture Engineering (ICCAE-9), Cairo, 9(9):1-13. DOI: [10.21608/iccae.2012.44388](https://doi.org/10.21608/iccae.2012.44388)
3. U. Engel, L.K. Thomsen (1992) Safety effects of speed reducing measures in Danish residential areas *Accident Analysis & Prevention*, 24 (1), pp. 17-28. [https://doi.org/10.1016/0001-4575\(92\)90068-T](https://doi.org/10.1016/0001-4575(92)90068-T)
4. B. Antic, D. Pešić, M. Vujanic, et al. (2013) The influence of speed bumps heights to the decrease of the vehicle speed–Belgrade experience *Safety Science*, 57, pp. 303-312. DOI: [/10.1016/j.ssci.2013.03.008](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.03.008)
5. H. Mahdy (2012) Speed calming using vertical deflections in road alignment 12th International Conference on Transportation Professionals, Beijing, 9(9):1-10. DOI: [10.1061/9780784412442.212](https://doi.org/10.1061/9780784412442.212)
6. Al-Omari, G.R. (2002) Al-Massaeid Effect of speed humps on traffic delay in Jordan Road and Transport Research, 11 (4):9-55. <https://www.researchgate.net/publication/299254332>
7. I.H. Hashim, R.M. Hassouna, F.F Asal (2012) Using GPS to assess the impact of speed humps on traffic delay in Egypt. *Civil Engineering Research Magazine (CERM)*, 34 (1), pp. 230-239.
8. N. Rosli, A. Kadar Hamsa (2013) Evaluating the effects of road hump on traffic volume and noise level at Taman Keramat residential area, *Kuala Lumpur Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 10, pp. 1171-1188. DOI: [10.11175/easts.10.1171](https://doi.org/10.11175/easts.10.1171)
9. Kiran, K. R., Kumar, M. and Abhinay, B. (2020) Critical Analysis of Speed Hump and Speed Bump and Geometric Design of Curved Speed Hump', *Transportation Research Procedia*, 48, pp. 1211– 1226. DOI: [10.1016/j.trpro.2020.08.144](https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.144)
10. N A Mustafa , Kadar Hamsa , A Evaluating the Effects of Road Hump on Speed and Noise Level at a University Setting *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* Posted: 2019
11. Rosli, N.S. and Kadar Hamsa, A.A. (2013) Evaluating the Effects of Road Hump on Traffic Volume and Noise Level at Taman Keramat Residential Area, *Kuala Lumpur. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 10, 1171-1188. <https://doi.org/10.11175/easts.10.1171>
12. Arthanayake, C. and Wickramasinghe, V. (2020) 'Effects of speed humps on driver behaviour'. Chimba, D. and Mbuya, C. (2019) 'Simulating The Impact of Traffic Calming Strategies final report', TRCLC 17-10, Transportation Research Center Reports. 42. Available at: <https://scholarworks.wmich.edu/transportation-reports/42>.
13. Gupta, A. (2014) 'Study on Speed Profile Across Speed Bumps', Doctoral dissertation, National Institute of Technology Rourkela, pp. 1–43. <http://ethesis.nitrkl.ac.in/5881/1/e-74.pdf>
14. Antić, B. et al. (2013) 'The influence of speed bumps heights to the decrease of the vehicle speed - Belgrade experience', *Safety Science*, 57, pp. 303–312. doi: [10.1016/j.ssci.2013.03.008](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.03.008).
15. Teja, T. and Jyothi, M. (2017) 'Speed Profile Analysis at Speed Breakers on An Urban Road', *imanager's Journal on Civil Engineering*, 7(1):25. DOI: [10.26634/jce.7.1.10370](https://doi.org/10.26634/jce.7.1.10370).
16. Chimba, Deo and Mbuya, Christian, "Simulating the Impact of Traffic Calming Strategies" (2019). *Transportation Research Center Reports*. 42. <https://scholarworks.wmich.edu/transportation-reports/42>
17. Gamlath, K.G. Dilanka and Amarasingha, Niranga and Wickramasinghe, Vasantha SK, Evaluating the Effectiveness of Speed Humps Related to Speed Profile and Noise Profile (March 1, 2023). *JAET Volume 01 Issue 02*, March 2023 , <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4418166>
18. Nair, P. M., Bindhu, B. K. and Elangovan, T. (2013) Impact analysis of speed restriction measures using VISSIM 5.40, 2(1), pp. 303–310. Режим доступа: https://www.ijirset.com/upload/2013/special/environmental/41_IMPACT.pdf

19. Buhaiov, I. S., Kholodova, O. O., & Buhaiova, M. O. (2023). Otsinka efektyvnosti vprovadzhennia zasobiv zaspokoiennia dorozhnoho rukhu na perekhresti [Evaluation of the effectiveness of implementing traffic calming measures at an intersection]. *Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni ta transporti*, 1(20), 78-85. <https://doi.org/10.36910/automash.v1i20.1036>

20. DSTU 4123:2020. Bezpeka dorozhnoho rukhu. Zasoby zaspokoiennia rukhu. Zahalni tekhnichni vymohy. [Chynnyi vid 2020-08-06]. DP «UkrNDNTs», 2020. 43 s. http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=90493

M. Buhaiova, O. Kholodova, I. Bugayov, Y. Shevchuk. Modeling the influence of road humps parameters on the operation of an uncontrolled intersection

The article investigates the influence of the design parameters of road humps on the speed of vehicles and the operation of uncontrolled intersections. Proper design of road humps provides a reduction in speed and increased safety, while errors in the selection of parameters lead to increased delays, additional fuel consumption, and increased emissions.

The aim of the study is to develop models for predicting changes in vehicle speed depending on the geometric characteristics of the road hump. For this purpose, a series of experiments was conducted in the PTV VISSIM environment with changes in width (1–3 m), height (0.03–0.10 m), and distance from the stop line (10–50 m). The height was taken into account through the parameters of the speed reduction zone. Processing the results in STATISTICA allowed us to build regression models with high adequacy ($R^2 = 0.83–0.92$).

It was established that the height of the road hump has the greatest impact on speed reduction, while the width and distance to the stop line determine the nature of deceleration in a more complex relationship. The optimal selection of parameters allows for the provision of the effect of traffic calming without significant loss of capacity and with minimal environmental consequences. The results can be used in transport planning, design of the street and road network, and in assessing the effectiveness of traffic calming measures in Ukrainian cities.

Key words: road hump, vehicle, traffic flow, simulation, speed, height, width, distance from the stop line, microsimulation, model.

БУГАЙОВА Марина Олександрівна, старший викладач кафедри організації та безпеки дорожнього руху, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: kazmar2383@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-1889-9555>.

ХОЛОДОВА Ольга Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри організації та безпеки дорожнього руху, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: olgakholodova2807@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-4217-0548>

БУГАЙОВ Ігор Сергійович, старший викладач кафедри транспортних систем і логістики Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, e-mail: igorbugayov1@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-9091-0248>

ШЕВЧУК Євгеній Вікторович аспірант, здобувач вищої освіти на третьому (освітньо-науковому) рівні, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, <https://orcid.org/0009-0001-9004-1695>

Maryna BUHAIOVA, senior lecturer of Department of Traffic Management and Road Safety, Kharkiv National Automobile and Highway University, e-mail: kazmar2383@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-1889-9555>

Olga KHOLODOVA, Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Assoc. Professor of Department of Traffic Management and Road Safety, Kharkiv National Automobile and Highway University, e-mail: olgakholodova2807@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-4217-0548>

Igor BUGAYOV, senior lecturer of Department of Transport Systems and Logistics Kharkiv National University of Urban Economy named after O.M. Beketova e-mail: igorbugayov1@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-9091-0248>

Yevhenii SHEVCHUK, PhD student of Department of Traffic Management and Road Safety, Kharkiv National Automobile and Highway University. <https://orcid.org/0009-0001-9004-1695>

DOI 10.36910/automash.v2i25.1918