

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 656.051

DOI: 10.30977/АТ.2219-8342.2018.42.0.80

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАТРИМОК УЧАСНИКІВ РУХУ ПРИ ПЕРЕСІЧЕННІ ПІШОХОДАМИ ВУЛИЦЬ І ДОРІГ ЧЕРЕЗ НЕРЕГУЛЬОВАНІ ПІШОХІДНІ ПЕРЕХОДИ

Горбачов П.Ф., Макарічев О.В., Атаманюк Г.В., ХНАДУ

Анотація. Розроблено аналітичні моделі витрат часу пішоходів і транспортних засобів на нерегульованих пішохідних переходах, які створюють основу для визначення оптимального варіанта організації дорожнього руху в місцях пересічення пішохідних та транспортних потоків на ділянках міських вулиць та автомобільних доріг залежно від інтенсивності руху його учасників обох видів.

Ключові слова: пішохід, транспорт, перехід, найпростіший потік, математичне сподівання.

Вступ

Вдосконалення організації дорожнього руху (ОДР) на пішохідних переходах в Україні є досить актуальним питанням. Багато в чому актуальність цього питання зумовлена недостатнім ступенем опрацювання граничних умов, за яких слід приймати рішення щодо переходу від використання одного до застосування іншого варіанта організації пішохідного переходу. В діючих державних нормативах [1, 2] хоча і пропонуються умови використання різних способів організації руху транспортних засобів (ТЗ) і пішоходів у місцях їх пересічення, але вони потребують суттєвого доопрацювання внаслідок недостатньої обґрунтованості. Існує необхідність отримання об'єктивних оцінок затримок учасників руху при пересіченні пішоходами вулиць і доріг, в тому числі через нерегульовані пішохідні переходи (НПП).

Аналіз публікацій

Аналіз вітчизняних нормативних документів щодо НПП дозволяє дійти висновку, що на цей момент в Україні немає єдиного нормативу, який в повному обсязі охопив би раціональні умови використання нерегульованих пішохідних переходів.

В ДБН В.2.3-5:2017 [1] «Вулиці та дороги населених пунктів» лише надаються норми щодо відстаней влаштування пішохідних переходів та відсутній повний опис параметрів пішохідного і транспортного потоків, при яких потрібно облаштовувати НПП. Що стосується раціональних відстаней, через які

доцільно влаштовувати пішохідні переходи, то тут так само виникає питання стосовно рівня захищеності прав пішохода в нашій державі. Згідно цього документа [1] на вулицях та дорогах місцевого значення, а саме на житлових вулицях, відстань між пішохідними переходами повинна бути не менш ніж 150 м, що значно більше відстаней, рекомендованих у зарубіжних настановах.

На прикладі країн Північної Європи, де пішохідні переходи добре облаштовані, можна виділити ірландську настанову «Design Manual for Urban Roads and Streets» [3], в якій зазначається, що пішохідні переходи за необхідності організують навіть на відстанях, менших 120 метрів.

У практиці США з облаштування пішохідних переходів можна, наприклад, виділити настанову «Portland Pedestrian Design Guide» [4], де вказується, що на вулицях з достатньою пішохідною активністю пішохідні переходи повинні влаштовуватися на відстані між ними не ближче 45 м і не далі, ніж 60–90 м, якщо довжина кварталу більша, ніж 120 м; на міських вулицях – не ближче 45 м і не далі 120 м. Виходячи з цього, можна зробити висновок, що надані в ДБН В.2.3-5:2017 [1] норми щодо влаштування пішохідних переходів є морально застарілими та потребують уточнення.

У ДСТУ 4092–2002 [2] «Світлофори дорожні» в пункті 7.10, умова 2, надаються лише чисельні показники, котрі є граничними умовами застосування нерегульованих і регульованих пішохідних переходів на перего-

нах міських вулиць. Але ці показники не мають критеріїв організації саме нерегульованого пішохідного переходу на ділянці вулиць та доріг поза зоною впливу перехресть.

Лише в настанові з регулювання дорожнього руху в містах 1974 року [5], у пункті 7.14 розділу 7, надається чисельний показник інтенсивності руху транспорту, за якого допускається влаштування НПП. На вулицях та дорогах міського руху він становить більше 300 од./год сумарно в обох напрямках. Але, звертаючи увагу на рік випуску [5], стає зрозумілим, що вказана настанова є технічно застарілою і не входить до нормативної бази України.

У Німеччині існує окремий документ для проектування нерегульованих пішохідних переходів «Richtlinien für die Anlage und Ausstattung von Fußgängerüberwegen» (R-FGÜ 2001) [6]. Згідно з ним нерегульований НПП влаштовується за інтенсивностей руху, наведених у табл. 1.

Таблиця 1 – Галузі застосування нерегульованих пішохідних переходів

Авт, год. Піш., год.	0-200	200-300	300-450	450-600	600-750	понад 750
0-50	-	-	-	-	-	-
50-100	-	НПП можливий	НПП можливий	НПП рекомендується	НПП можливий	-
100-150	-	НПП можливий	НПП рекомендується	НПП рекомендується	-	-
понад 150	-	НПП можливий	-	-	-	-

Але ці рекомендації є не зовсім чіткими та не супроводжуються відповідними кількісними характеристиками наслідків функціонування різних типів пішохідних переходів, що також свідчить про доцільність отримання кількісних оцінок часу затримки учасників руху на НПП.

Що стосується робіт із визначення граничних умов застосування різних типів пішохідних переходів на перегонах міських вулиць,

виконаних для подібних з Україною умов у країнах колишнього СРСР, то тут можна виділити дисертаційні дослідження російських вчених М.Г. Симуль [7] та Є.М. Чикаліна [8].

У роботі [7] були досліджені закономірності, що характеризують вплив параметрів транспортних і пішохідних потоків та дорожніх умов на кількість конфліктів «транспортні засоби – пішоходи» та швидкість транспортних засобів. У підсумку автором були сформульовані рекомендації щодо розміщення нерегульованих пішохідних переходів, їх кількості та облаштування на магістральних вулицях.

У роботі [8] вивчається вплив нерегульованих пішохідних переходів, розташованих поза перехрестями, на пропускну здатність вулиць і доріг та на затримки транспортних засобів. У результаті були визначені граничні умови застосування нерегульованих пішохідних переходів з урахуванням ширини проїжджої частини.

Але в обох цих роботах [7, 8] не бралось до уваги різноманіття місць розташування пішохідних переходів на перегонах вулиць: між нерегульованими перехрестями, між регульованими перехрестями, біля зупинок і т.п., з чим погоджуються й автори роботи [9]. До того ж застосований у вказаних роботах аналітичний апарат не зовсім повно обґрунтований і містить суттєві неточності, саме тому рекомендації із застосування нерегульованих пішохідних переходів на перегонах вулиць у цих роботах значно відрізняються одна від одної.

Так, наприклад, в роботі [7] рекомендується застосовувати нерегульовані пішохідні переходи на перегонах тільки магістральних вулиць районного значення з шириною проїжджої частини не більше 8 метрів (проїжджа частина із двома смугами) за таких умов:

- інтенсивність руху транспорту, $N_{тр}$ – від 1500–3500 од./год;
- інтенсивність руху пішоходів, $N_{піш}$ – від 100800 од./год.

При цьому в роботі [8] встановлено, що нерегульовані пішохідні переходи на перегонах вулиць, зокрема із двосмуговою проїжджою частиною, слід застосовувати:

- при $N_{тр}$ меншій, ніж 600 од./год та $N_{піш}$ меншій, ніж 150 од./год;
- при $N_{тр}$ меншій, ніж 500 од./год та $N_{піш}$ меншій, ніж 160 од./год;
- при $N_{тр}$ меншій, ніж 400 од./год та $N_{піш}$ меншій, ніж 170 од./год.

Аналіз наведених наукових публікацій [7, 8] підтверджує, що проблему визначення граничних умов застосування нерегульованих пішохідних переходів на перегонах вулиць ще недостатньо досліджено. У першу чергу це стосується точності існуючих математичних моделей, які описують затримки пішохідів та транспортних засобів.

У роботі [10] вперше детально було розглянуто найпростішу, з точки зору ОДР, ситуацію, коли пішоходи перетинають проїжджу частину вулиці або дороги поза пішохідним переходом. У цьому випадку ТЗ не повинні пропускати пішохідів, а тому не марнують часу в звичайних ситуаціях. Затримки в русі стосуються лише пішохідів. Це впливає з правил дорожнього руху (ПДР) України, за умови безперечного виконання яких і побудовані моделі затримок у роботі [10].

Але, у випадку нерегульованого пішохідного переходу, умова безперечного виконання ПДР потребує уточнення. Зі змісту ПДР [11] впливає необхідність уточнення обов'язків і прав пішохідів при подоланні НПП. Так, згідно пункту 4.14а ПДР, пішоходам забороняється виходити на проїзну частину, не впевнившись у відсутності небезпеки для себе та інших учасників руху. Виходячи з цього у пункті 4.14а доцільно зробити уточнення, що забороняється виходити у тому числі на пішохідний перехід, як це зроблено у пункті 4.14б ПДР: «раптово виходити, вибігати на проїзну частину, в тому числі на пішохідний перехід», під яким мається на увазі як нерегульований, так і регульований пішохідний перехід.

Наступний пункт, який потребує уточнення, – це пункт 4.16а ПДР, в котрому сказано, що пішохід має право «на перевагу під час переходу проїзної частини по позначених нерегульованих пішохідних переходах». Тоді має сенс уточнити, що пішохід, незважаючи на те, що має перевагу, повинен впевнитися в тому, що під час переходу ним проїзної частини по позначених нерегульованих пішохідних переходах він не створить ситуації, яка може призвести до дорожньо-транспортної пригоди.

Переваги пішохода перед водіями ТЗ щодо використання НПП формалізовані у пункті 18.1 ПДР, згідно з яким «Водій транспортного засобу, що наближається до нерегульованого пішохідного переходу, на якому перебувають пішоходи, повинен зменшити швидкість, а в разі потреби зупинитися, щоб дати дорогу пішоходам, для яких може бути створена перешкода чи небезпека» [11].

Тобто, згідно з ПДР та існуючою практикою їх дотримання, пішохід, виходячи на НПП, повинен оцінити відстань до транспортних засобів, що наближаються до переходу, їх швидкість і переконатися, що перехід буде для нього безпечним та водії всіх цих ТЗ мають достатньо часу для того, щоб, згідно з пунктом 18.1 ПДР, зменшити швидкість руху, можливо до повної зупинки, а лише після цього він має право продовжити рух по НПП для пересічення проїзної частини. Це вочевидь приводить до наявності відчутних затримок пішохідів при пересіченні проїзної частини вулиць та доріг через нерегульовані переходи. З урахуванням того, що нерегульований пішохідний перехід як спосіб ОДР на місці пересічення транспортних та пішохідних потоків надає перевагу в русі пішоходам, стає очевидним, що він викликає негативні наслідки у вигляді затримок на НПП для обох типів учасників руху.

Мета і постановка завдання

Метою роботи є формування аналітичних залежностей затримок пішохідів і ТЗ при подоланні місць пересічення напрямків руху транспортних та пішохідних потоків на нерегульованих пішохідних переходах залежно від їх інтенсивності.

Для досягнення поставленої мети в даній роботі доцільно розглянути випадок взаємодії пішохідних і транспортних потоків на нерегульованих пішохідних переходах, що розташовані на перегонах міських вулиць і автомобільних доріг поза зоною впливу перехресть. Це зумовлено тим, що більша частина існуючих наукових праць спрямована на дослідження взаємодії між пішохідними і транспортними потоками безпосередньо на перехрестях.

У цьому випадку припущення про відповідність руху пішохідів і транспортних засобів найпростішому потоку виглядає безумовно коректним.

Перевагами при пересіченні вулиці через нерегульований пішохідний перехід користується пішохід. З його точки зору при переході може виникнути декілька різних ситуацій. У першому випадку пішохід без затримки переходить через нерегульований пішохідний перехід і при цьому не викликає затримок ТЗ. У другому випадку, при пересіченні проїзної частини, пішохід змушує одне чи декілька ТЗ зменшити швидкість або зовсім зупинитися, що призводить до затримок ТЗ. Третя ситуація виникає, коли пішохід, підій-

шовши до проїжджої частини дороги чи вулиці, бачить на ній ТЗ, що рухаються неподалік від переходу. Якщо він розуміє, що водій ТЗ не встигне зупинитися до пішохідного переходу, щоб надати йому можливість перейти через нерегульований пішохідний перехід, він пропускає цей ТЗ, згідно пункту 4.14а ПДР України, та виходить на перехід перед тими ТЗ, що встигнуть зупинитися або зменшити швидкість для його пропуску. Незважаючи на перевагу пішохода перед ТЗ, це призводить до появи затримки пішоходів на нерегульованому переході, яка потребує відповідної оцінки. Всі ці ситуації повинні бути враховані при побудові аналітичних моделей затримки учасників руху на нерегульованих пішохідних переходах.

У цьому разі вважається, що всі учасники руху безумовно виконують ПДР та мають чітке уявлення про наслідки власної поведінки, тобто пішоходи пропускають лише ті ТЗ, що не встигають їх пропустити, а водії всіх інших ТЗ розпочинають зниження швидкості руху відразу після появи пішохода на НПП.

Побудова моделей затримок пішоходів та транспортних засобів при пересіченні вулиць і доріг через нерегульовані пішохідні переходи

У прийнятих припущеннях час затримки переходу пішоходом залежить тільки від інтенсивності найпростішого потоку руху транспорту в обох напрямках і ніяким чином не залежить від кількості пішоходів [12].

Згідно з постановкою задачі розглядається ситуація, коли по проїжджій частині з n смуг рухається найпростіший потік транспортних засобів (ТЗ) із сумарною інтенсивністю, яка дорівнює

$$\mu = \mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_n, \quad (1)$$

де μ – сумарна інтенсивність транспортного потоку, од./с.

Нехай $t_r(V_T)$ буде часом гальмування транспортного засобу зі швидкістю V_T , а постійний час переходу пішоходом по «зебрі» через проїжджу частину дорівнює

$$\tau = \frac{n \cdot h}{V_n}, \quad (2)$$

де τ – час переходу пішоходом по зебрі (константа), с; n – кількість смуг проїзної части-

ни; h – ширина смуги руху, м; V_n – постійна швидкість руху пішохода, м/с.

Мінімум із часу переходу пішоходом по «зебрі» через проїжджу частину і часу гальмування ТЗ має вигляд

$$l = \min \left\{ \tau; t_r(V_T) \right\} = \min \left\{ \frac{n \cdot h}{V_n}; t_r(V_T) \right\}. \quad (3)$$

де V_T – швидкість транспортного засобу, м/с.

Розглядаються два випадки. У першому проміжок часу від моменту появи пішохода на НПП до появи чергового ТЗ більше мінімуму із часу переходу пішоходом по «зебрі» через проїжджу частину і часу гальмування ТЗ l . У результаті пішохід може безпечно перейти через пішохідний перехід, згідно ПДР, не побоюючись створити дорожньо-транспортну пригоду. Отже в цьому випадку пішохід не чекає на переході та його час затримки $T_n = 0$. Ймовірність цієї події, коли за час l не з'явиться жоден транспортний засіб, дорівнює

$$P_n = e^{-\mu l}. \quad (4)$$

У другому випадку, навпаки, розглядається ситуація, коли час до появи чергового ТЗ менше мінімуму з часу переходу пішоходом по «зебрі» через проїжджу частину і часу гальмування ТЗ l . Тобто в такій ситуації пішохід, що з'явився на пішохідному переході, оцінює відстань до появи чергового транспортного засобу і розуміє, що ця відстань є небезпечною, і водієві ТЗ не вистачить часу, щоб безпечно знизити швидкість або загальмувати біля пішохідного переходу, згідно пункту 4.14а правил дорожнього руху України. Тому пішохід зупиняється на початку пішохідного переходу – це і є час затримки пішоходів для шуканої моделі.

За допомогою перетворення Лапласа, для часу затримки пішохода T_n на пішохідному переході із «зеброю» з точки зору методу додаткової події, розглядається ймовірність того, що за час затримки T_n не станеться подія, інтенсивність настання якої дорівнює s

$$\varphi_n(s) = M \exp\{-s \cdot T_n\}, \quad (5)$$

де T_n – випадковий час очікування пішоходом можливості переходу, с; s – середнє число подій за час t .

У першому випадку ймовірність ненастання події P^- , коли $T_n = 0$, має вигляд

$$P^- \{T_n = 0\} = e^{-s \cdot 0} = 1. \quad (6)$$

У другому випадку, за умови, що час до появи чергового ТЗ знаходиться в інтервалі $0 < t \leq l$, ймовірність ненастання цієї події є еквівалентною $e^{-st} \cdot \mu e^{-\mu t} dt$. Тоді за формулою повної ймовірності

$$\begin{aligned} \varphi_n(s) &= 1 \cdot e^{-\mu l} + \int_0^l e^{-st} \cdot \mu e^{-\mu t} dt = \exp(-\mu l) + \\ &+ \frac{\mu}{\mu + s} \{1 - \exp[-(\mu + s)l]\}. \end{aligned} \quad (7)$$

Другий додаток у цій сумі отриманий в результаті інтегрування

$$\begin{aligned} \int_0^l e^{-st} \cdot \mu e^{-\mu t} dt &= \mu \int_0^l e^{-(\mu+s)t} dt = \\ &= \frac{\mu}{-(\mu + s)} \cdot e^{-(\mu+s)t} \Big|_0^l = \frac{\mu}{\mu + s} (1 - e^{-(\mu+s)l}). \end{aligned} \quad (8)$$

Математичне сподівання (середнє значення) часу затримки пішохода на переході із зеброю $\overline{T_n}$ дорівнює похідній його перетворення Лапласа $\varphi_n(s)$ в нулі з протилежним знаком, яке має вигляд

$$\overline{T_n} = -\varphi'_n(s) \Big|_{s=0} = -\varphi'_n(0). \quad (9)$$

Отже залишається знайти

$$\begin{aligned} \varphi'_n(0) &= \left\{ e^{-\mu l} + \frac{\mu}{\mu + s} [1 - e^{-(\mu+s)l}] \right\}' \Big|_{s=0} = \\ &= \left\{ -\frac{\mu}{(\mu + s)^2} [1 - e^{-(\mu+s)l}] + \frac{\mu}{\mu + s} \cdot \right. \\ &\left. \times l e^{-(\mu+s)l} \right\}' \Big|_{s=0} = -\frac{1}{\mu} (1 - e^{-\mu l}) + l e^{-\mu l}. \end{aligned} \quad (10)$$

У результаті математичне сподівання затримки пішохода $\overline{T_n}$ біля нерегульованого переходу із зеброю дорівнює

$$\begin{aligned} \overline{T_n} &= \frac{1}{\mu} (1 - e^{-\mu l} - \mu l e^{-\mu l}) = \\ &= \frac{1}{\mu e^{\mu l}} \{e^{\mu l} - 1 - \mu l\} > 0, \text{ при } \mu l > 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Формула (11) являє собою залежність між середнім часом затримки переходу пішоходом дороги та інтенсивністю найпростішого транспортного потоку, за заданої й постійної тривалості переходу пішоходом дороги. Вона створює можливість для розрахунку загальних витрат пішоходів на подолання місця пересічення пішохідного та транспортного потоків через НПП на ділянках міських вулиць і автомобільних доріг. Завдяки відсутності у цьому випадку витрат часу водіїв ТЗ, це досягається простим множенням середнього часу затримки переходу випадково обраного пішохода $\overline{T_n}$ на інтенсивність пішохідного потоку λ

$$T_{зп} = \frac{1}{\mu} (1 - e^{-\mu l} - \mu l e^{-\mu l}) \cdot \lambda, \quad (12)$$

де $T_{зп}$ – загальні витрати часу пішоходів на подолання місця пересічення транспортного та пішохідного потоків у нерегульованого пішохідного переходу (зебра) на ділянці ВДМ за заданий проміжок часу, с/с; λ – інтенсивність пішохідного потоку, піш./с.

При прийнятті конкретних умов переходу вулиці можна отримати графічне подання залежності (12). Для цього доцільно розглянути ділянку міської вулиці із двома смугами руху. Тоді мінімум із часу переходу пішоходом по «зебрі» через проїжджу частину і часу гальмування ТЗ дорівнює $l = 5$ с. Це визначено шляхом порівняння цих двох величин.

Тривалість переходу пішоходом вулиці по НПП, за ширини смуги руху 3,75 м, дорівнює

$$\tau = \frac{2 \cdot 3,75}{1} = 7,5 \text{ с.}$$

Час гальмування транспортного засобу до повної зупинки за умови, що ТЗ рухається зі швидкістю $V_T = 50$ км/год або $V_T = 13,9$ м/с, дорівнює

$$t_T = \frac{V_T}{a} = \frac{13,9}{3} = 4,63 \approx 5 \text{ с,}$$

де a – прискорення гальмування, яке дорівнює 3 м/с^2 [13, 14].

Побудована за цих умов залежність (12) наведена на рис. 1, осями графіка виступають загальні витрати часу пішоходів, інтенсивність транспортного та пішохідного потоків у місці переходу. Для інтенсивностей руху транспортних та пішохідних потоків взято один діапазон варіювання, від 0 до 1800 од./годину, або до 0,5 од./с. Такі осі використовуються також і у всіх подальших випадках моделювання часу затримки учасників руху на переходах.

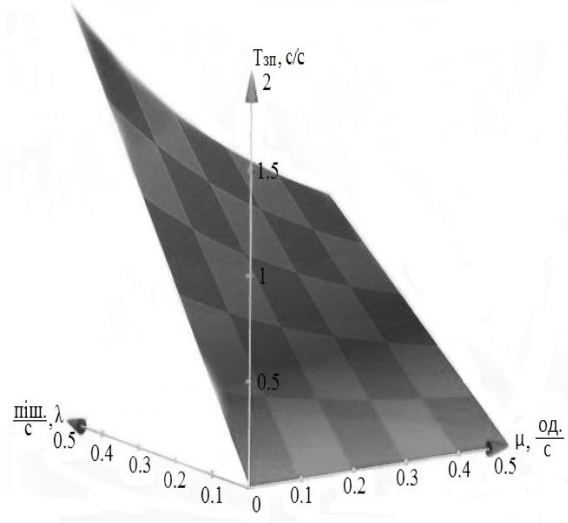


Рис. 1. Загальні витрати часу пішоходів залежно від інтенсивності транспортного та пішохідного потоків

Іншим видом затримки учасників руху на НПП є затримки ТЗ, коли, відповідно до пункту 18.1 ПДР України, транспортний засіб, що рухається, змушений зменшити швидкість або зовсім зупинитися перед НПП, щоб надати можливість переходу ділянки руху пішоходу. У цьому випадку за час затримки ТЗ береться час заняття переходу пішоходами.

Математичне сподівання середнього часу затримки транспортного засобу $T_{\text{т}}$ у нерегульованого переходу дорівнює

$$T_{\text{т}} = \frac{\exp(\lambda \cdot \tau) - 1}{\lambda}. \quad (13)$$

Залежність (13) так само, як і (11), створює основу для розрахунку загальних витрат часу ТЗ на подолання місця пересічення транспортного та пішохідного потоків через НПП. Завдяки відсутності у цьому випадку

витрат часу пішоходів, загальні витрати часу ТЗ на подолання НПП отримуються простим множенням часу затримки транспортного засобу $T_{\text{т}}$ на інтенсивність транспортного потоку μ

$$T_{\text{зт}} = \frac{\exp(\lambda \cdot \tau) - 1}{\lambda} \cdot \mu. \quad (14)$$

Графічно залежність (14), побудовану за тих же умов, що використовувались при побудові попереднього графіка, наведено на рис. 2.

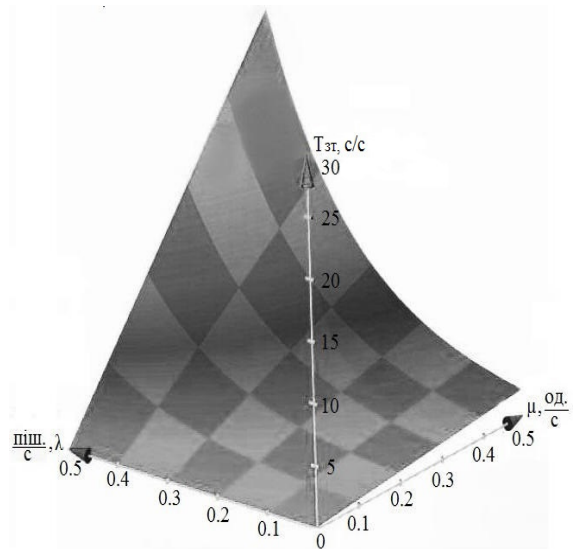


Рис. 2. Загальні витрати часу ТЗ залежно від інтенсивності транспортного та пішохідного потоків

Слід звернути увагу на значне перевищення витрат часу ТЗ на подолання НПП над витратами часу пішоходів.

Максимальні затримки пішоходів та ТЗ в обраному діапазоні інтенсивностей руху транспортних та пішохідних потоків становлять відповідно 2 с/с та 30 с/с. Ці величини, по суті, є середньою довжиною черги перед НПП та є досить зрозумілими за таких високих інтенсивностей транспортного та пішохідного потоків.

Створені в роботі моделі (12) та (14) дозволяють розраховувати загальні витрати часу кожного виду учасників руху, але вони не забезпечують можливості розрахунку сумарних витрат часу учасників руху на НПП. Це зумовлено різною вагою цих витрат у загальних витратах часу, яка викликана тим, що в автомобілі може перебувати більше однієї людини.

Висновки

Розроблені на цей час нормативи України не надають проектувальникам схем організації дорожнього руху чітких вказівок щодо умов ефективного використання нерегульованих пішохідних переходів із «зеброю» на ВДМ міст та регіонів.

Формування аналітичних залежностей загальних витрат часу пішоходів і транспортних засобів на подолання місць пересічення транспортних та пішохідних потоків залежно від їх інтенсивності створює основу для розрахунку сумарних витрат часу учасників руху на подолання нерегульованого пішохідного переходу.

Подальше використання отриманих моделей стає можливим у випадку визначення переводного коефіцієнта між часом затримки переходу пішоходом дороги і часом затримки транспортного засобу, який у найпростішому випадку може бути виражений через середню кількість людей, що знаходяться у салоні ТЗ.

Література

1. Вулиці та дороги населених пунктів: ДБН В.2.3-5:2017. – [на заміну ДБН В.2.3-5:2001]. – К.: ДерждорНДІ, 2017. – 55 с.
2. Безпека дорожнього руху. Світлофори дорожні. Загальні технічні вимоги, правила застосування та вимоги безпеки: ДСТУ 4092–2002. – [Чинний від 2003-01-01]. – К.: Національний стандарт України, 2002. – 27 с.
3. Design Manual for Urban Roads and Streets.– South Dublin, 2013. – Режим доступу: <http://www.dttas.ie/corporate/publications/english/design-manual-urban-roads-and-streets>. – Дата звертання: 11 січня 2018.
4. Portland Pedestrian Design Guide, 1998. – Режим доступу: <https://www.portlandoregon.gov/transportation/36167>. – Дата звернення: 11 січня 2018.
5. Руководство по регулированию дорожного движения в городах. – М.: Стройиздат, 1974. – 97с.
6. Richtlinien für die Anlage und Ausstattung von Fußgängerüberwegen (R-FGÜ2001). – Режим доступу: <http://www.fussverkehr.de/file-admin/pdf/RFGUE2001.pdf>. – Дата звернення: 25 січня 2018.
7. Симуль М. Г. Повышение безопасности дорожного движения в зонах пешеход-

ных переходов на магистральных улицах: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: спец. 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» / М. Г. Симуль. – Омск, 2012. – 20 с.

8. Чикалин Е. Н. Повышение эффективности организации дорожного движения в зонах нерегулируемых пешеходных переходов: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: спец. 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» / Е. Н. Чикалин. – Иркутск, 2013. – 20 с.
9. Рейцен Є.О. Науковий підхід до визначення граничних умов застосування різних типів пішохідних переходів на перегонах міських вулиць / Є.О. Рейцен, О.В. Толок, В. О. Уразбаєв // Містобудування та територіальне планування. – 2014. – Вип. 52. – С. 346–355.
10. Горбачов П.Ф. Модель визначення затримки пішоходів при переході вулиць і доріг поза пішохідним переходом / П.Ф. Горбачов, О.В. Макаричев, Г.В. Атаманюк// Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – 2017. – Вып. 41. – С. 82–91.
11. Правила Дорожнього руху України (із змінами, внесеними постановою Кабінету Міністрів України від 22.03.2017 № 161. Редакція діє з 5 квітня 2017 року). – Режим доступу: <http://pdd.ua>. – Дата звертання : 25 січня 2018.
12. Гнеденко Б. В. Курс теорії ймовірностей: підручник / Б. В. Гнеденко. – 6-е вид., перероб. і доп. – М.: Наука. Гл. Ред. фіз.-мат. літ., 1988. – 57 с.
13. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения: учебник для вузов / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.Б. Афанасьев: – М.: Академкнига, 2005. – 279 с.
14. Судебная автотехническая экспертиза. Ч. 2 / под ред. В.А. Иларионова. – М.: ВНИИСЭ, 1980. – 230 с.

References

1. *Vulytsi ta dorohy naselenykh punktiv* [State Standard 2.3-5:2017. Streets and roads of settlements]. DBN V.2.3-5:2017. (2017). Kiev: Derzhdor, 55 [in Ukrainian].
2. *Bezpeka dorozhn'oho rukhu. Svitlofory dorozhni. Zahal'ni tekhnichni vymohy, pravyla zastosuvannya ta vymohy bezpeky* [State Standard 4092–2002. Road safety. Traffic lights road. General technical re-

- quirements, application rules and safety requirements]. DSTU 4092–2002. (2003). Kiev: National standard of Ukraine, 27 [in Ukrainian].
3. Design Manual for Urban Roads and Streets. Retrieved from: <http://www.dttas.ie/corporate/publications/english/design-manual-urban-roads-and-streets>(accessed 11.01.2018).
 4. Portland Pedestrian Design Guide. Retrieved from: <https://www.portlandoregon.gov/transportation/36167>(accessed 11.01.2018).
 5. *Rukovodstvo po regulirovaniju dorozhnogo dvizhenija v gorodah* [Guide to urban traffic regulation]. (1974). Moscow, Strojizdat, 97 [in Russian].
 6. Richtlinien für die Anlage und Ausstattung von Fußgängerüberwegen (R-FGÜ 2001)]. Retrieved from: <http://www.fussverkehr.de/fileadmin/pdf/RFGUE2001.pdf>. (accessed 25.01.2018).
 7. Simul, M.G. (2012). *Povyshenie bezopasnosti dorozhnogo dvizhenija v zonah peshehodnyh perehodov na magistralnyh ulicah* [Improving road safety in pedestrian crossing zones on main streets]. Extended abstract of candidate's thesis. Omsk, 20 [in Russian].
 8. Chikalin, E.N. (2013). *Povyshenie jeffektivnosti organizacii dorozhnogo dvizhenija v zonah nereguliruemym peshehodnyh perehodov* [Improving the efficiency of road traffic management in zones of unregulated pedestrian crossings]. Extended abstract of candidate's thesis. Irkutsk, 20 [in Russian].
 9. Reytsen, E.O., Tolok, O.V., Urazbayev, V.O. (2014). *Naukovyy pidkhid do vyznachennya hranychnykh umov zastosuvannya riznykh typiv pishokhidnykh perekhodiv na perehonakh miskykh vulyts* [Scientific approach to the definition of boundary conditions for the use of various types of pedestrian crossings on the sections of city streets]. *Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya – Town planning and spatial planning*, 52, 346-355 [in Ukrainian].
 10. Horbachov, P.F., Makarichev, O.V., Atamanyuk, H.V. (2017). *Model vyznachennya zatrymky pishokhodiv pry perekhodi vulyts i dorih poza pishokhidnym perekhodom* [Model of determining the pedestrians' delay in the transition of streets and roads outside the pedestrian crossing]. *Avtomobilnyi transport – Automobile transport*, 41, 82-91 [in Russian].
 11. *Pravyla Dorozhnoho rukhu Ukrayiny iz zminamy vnesenymy postanovoyu Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 22.03.2017 № 161. Redaktsiya diye z 5 kvitnya 2017 roku* [Road Traffic Rules of Ukraine, as amended by the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated March 22, 2017, No. 161. The edition is valid from April 5, 2017]. Available at: <http://pdd.ua> (accessed 25.01.2018).
 12. Hnedenko, B.V. (1988). *Kurs teorii ymovirnostey* [Course of probability theory], Moscow: Nauka [in Ukrainian].
 13. Kremenets, Yu.A., Pecherskii, M.P., Afanasev, M.B. (2005). *Tekhnicheskie sredstva organizatsii dorozhnogo dvizheniya* [Technical means of organization road traffic], Moscow: Akademkniga [in Russian].
 14. Ilarionov, V.A. (1980). *Sudebnaya avtotekhnicheskaya ekspertiza, chast 2* [Auto-technical examination, part 2], Moscow: VNIISE [in Russian].
- Горбачов Петро Федорович, д.т.н., проф., 0503032622, gorbachov.pf@gmail.com**
- Макарічев Олександр Володимирович, доц., д. ф.-м. н., 0984683197, amsol2904@gmail.com**
- Атаманиук Ганна Володимирівна, аспірант, +38095-671-27-84, ann.ukraine.ua@gmail.com**
кафедра транспортних систем і логістики
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25,
- ANALYSIS OF AVERAGE DELAYS EXPERIENCED BY ROAD USERS AT NON-SIGNALISED CROSSWALKS**
- Horbachov P., Makarychev A., Atamaniuk A., KhNAHU**
- Abstract. Problem. The problem of making decisions concerning the arrangement of non-signalised crosswalks is mainly connected with the inadequate justification of boundary conditions for their usage. The standards existing in our country and existing models that describe delays of pedestrians and vehicles are characterized by significant simplifications and errors that makes important the problem of de-*

termining the boundary conditions for the use of non-signalised crosswalks. **Goal.** The goal is to determine the delay time for both pedestrians and vehicles when crossing non-signalised crosswalks on the streets and roads. **Methodology.** Analytical research methods were used to determine the delays of traffic participants when crossing the streets and roads on the non-signalised crosswalks. They were based on the assumption that beyond the impact zone of the intersection the traffic and pedestrian flow on the streets and roads can be considered as the Poisson flow. **Results.** The analytical dependencies of total time expenditure by both pedestrians and vehicles for overcoming the crossing points of transport and pedestrian flows, depending on their intensity, have been obtained. These models are the basis for generating the total dependence of the total time expenditures of all traffic participants on non-signalised crosswalks. **Originality.** A comprehensive analytical approach to determining the delays of traffic participants when passing non-signalised crosswalks, was used in the paper for the first time and it makes possible to obtain an objective estimation of traffic participants' time expenditures. **Practical value.** The dependence obtained in the research work is aimed at improving the normative documents of Ukraine regarding the use of non-signalised crosswalks on the streets and roads. This will increase the efficiency

of organizing the vehicular traffic on urban streets and highways of Ukraine.

Key words: street and road section, non-signalised crosswalk, pedestrian, vehicle, time of delay.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДЕРЖЕК УЧАСТНИКОВ ДВИЖЕНИЯ ПРИ ПЕРЕСЕЧЕНИИ ПЕШЕХОДАМИ УЛИЦ И ДОРОГ ЧЕРЕЗ НЕРЕГУЛИРУЕМЫЕ ПЕШЕХОДНЫЕ ПЕРЕХОДЫ

Горбачёв П.Ф., Макаричев А.В.,
Атаманюк А.В., ХНАДУ

Аннотация. Разработаны аналитические модели затрат времени пешеходов и транспортных средств на нерегулируемых пешеходных переходах, которые создают основу для определения оптимального варианта организации дорожного движения в местах пересечения пешеходных и транспортных потоков на участках городских улиц и автодорог в зависимости от интенсивности движения участников обоих видов.

Ключевые слова: простейший поток, математическое ожидание, пешеход, транспорт, переход.
