

Ланець О.С., Ройко Ю.Я., Грицунь О.М.  
*Національний університет «Львівська політехніка»*

## ВПЛИВ ПІШОХОДІВ НА ВТРАТИ ЧАСУ У ТРАНСПОРТНОМУ ПОТОЦІ

У роботі наведено результати досліджень та аналіз поведінки пішоходів залежно від дорожніх умов за сухої сонячної і дощової погоди. За різних, умовно розділених груп переходів, різняться інтенсивності і пішохідного, і транспортного руху, організованість пішохідних потоків, затримки транспорту. Проведено експериментальні дослідження пішохідного руху, на основі яких у програмному середовищі VISSIM змодельовано затримки транспорту.

**Ключові слова:** транспортний потік, пішохідний потік, регульований пішохідний перехід, нерегульований пішохідний перехід, транспортна затримка, інтенсивність руху, імітаційне моделювання.

**Постановка проблеми.** Розв'язання задач з організації руху пішохідних потоків залежить від містобудівних, дорожньо-планувальних, соціальних та економічних чинників. Надійність рішень з організації пішохідного руху визначається точністю початкових показників, основними з яких є інтенсивність, швидкість та щільність пішохідного руху. Саме вони визначають рівень обслуговування та зручність руху [1].

Слід зазначити, що пішохідний потік має вірогідну природу і керуючим елементом у ньому є людина. Особливої уваги потребує вивчення поведінки пішоходів та визначення взаємозв'язку контактів між пішоходами і транспортом, який відбувається в межах пішохідних переходів через проїзну частину в одному рівні. Дуже часто вони визначають ступінь небезпеки вулиць та доріг [2,3].

Багаточинниковий аналіз результатів досліджень, за якими можна стверджувати про значний ступінь недисциплінованості пішоходів, дає вельми несподівану відповідь: велика кількість конфліктів, пов'язаних з переходами вулиць у невстановлених місцях, має незначний вплив на безпеку вулиць і подій з пішоходами.

На даний час конфлікти між пішоходами та водіями транспорту на вулицях міст стали швидко змінюватися. Цьому сприяло: зростання завантаження вулиць транспортом, зміна систем регулювання руху, завантаження тротуарів запаркованими автомобілями тощо. До того ж, багато елементів вулично-дорожньої мережі спроектовано без врахування особливостей поведінки пішоходів, тому першочерговим завданням є вивчення їх особистісних характеристик, зокрема визначення чітких етапів прийняття та реалізації рішень в умовах певного інформаційного навантаження та небезпеки.

До загальних особливостей поведінки пішоходів відносяться: намагання рухатися найкоротшим шляхом, намагання економити м'язову енергію, має межу терпеливого очікування, погано бачить неосвітлені ділянки, погано орієнтується у складних дорожньо-транспортних ситуаціях, допускає багато помилок під час прийняття рішення, прагне не повертатися назад у відношенні до мети, допускає певний ризик під час прийняття рішення [2–4].

Досить часто проблему підвищення ефективності транспортного обслуговування неможливо розв'язати без урахування особливостей пішохідного руху в місцях, де відбувається взаємодія транспортних і пішохідних потоків. З аналізу аварійності та статистики дорожньо-транспортних подій можна стверджувати, що ця взаємодія відбувається вкрай небезпечно [3,6]. Виходячи із сказаного, **метою роботи** є вивчення особливостей поведінки пішоходів на вулично-дорожній мережі та їх (пішоходів) вплив на ефективність транспортного потоку, виражену через затримку руху і рівень безпеки руху.

**Результати досліджень.** Початковим етапом вивчення пішохідного руху загалом та поведінки пішоходів зокрема, є проведення натурних досліджень з визначення первинних показників із застосуванням відеомоніторингу; документальне вивчення даних про місце знаходження об'єктів притягання та генерації; даних про аварійність з пішоходами; моделювання руху пішохідного потоку та його вплив на закономірності у транспортних потоках.

З метою формування достатніх масивів даних з високим рівнем репрезентативності вибірки, слід визначити необхідну кількість вимірювань. Виходячи з того, що завданням цього дослідження є визначення затримки транспортних засобів на нерегульованих пішохідних переходах (на регульованих вона визначається режимом роботи світлофорної сигналізації), необхідно обрати один із показників пішохідного потоку (оскільки він, виходячи з пріоритетності, визначає цю затримку),

який розподіляється за нормальним законом в однакових умовах руху. Такою величиною є швидкість руху пішохода [7]. Для більшості завдань, закони розподілу випадкових величин яких описують нормальним законом або близьким за формою до нормального (Релея, Коші), обсяг вибірки визначають за такою залежністю [8]:

$$n = \frac{t^2 \cdot \sigma^2}{\varepsilon^2}, \quad (1)$$

де  $\sigma$  – середнє відхилення множини;  $t$  – показник достовірності для заданої довірчої ймовірності  $p$  одержуваного виведення;  $\varepsilon$  – дозволена помилка вибіркової середньої.

Щоб використати формулу (1) необхідно визначити  $\sigma$ . Для цього пронумеруємо вибірку значень  $v$  від 1 до  $n=500$  ( $n$  – обсяг вибірки під час вимірювання швидкості пішоходів). Для цих значень параметр  $\sigma$  визначають за формулою [8]:

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^{i=n} t_i^2 - \bar{t}^2, \quad (2)$$

де  $\bar{t} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} t_i$  – середнє значення.

Проте можна використати більш просте правило « $3\sigma$ » («трьох сігм»).

Тоді, для нерегульованих переходів отримаємо:  $v_{\min} = 0,9 \text{ м./с.}$ ,  $v_{\max} = 1,7 \text{ м./с.}$ ,  
 $R = 1,7 - 0,9 = 0,8$ ,  $\sigma = \frac{0,8}{6} = 0,13$ ,  $n = 26$  вимірювань; для регульованого:  $v_{\min} = 0,4 \text{ м./с.}$ ,  
 $v_{\max} = 1,5 \text{ м./с.}$ ,  $R = 1,5 - 0,4 = 1,1$ ,  $\sigma = \frac{1,1}{6} = 0,18$ ,  $n = 49$  вимірювань.

Таку ж кількість вимірювань проведемо для визначення кількості порушень пішоходами правил переходу через проїзну частину, тим самим визначивши рівень потенційної небезпеки в місцях взаємодії транспортних потоків з пішохідними.

Виходячи із сформульованого завдання дослідження, проведено ряд вимірювань на вулично-дорожній мережі міста Львова з допомогою технічних засобів організації дорожнього руху міського комунального підприємства ЛКП «Львівавтодор».

На першому етапі таких вимірювань визначено ряд об'єктів – регульованих (I – перехід через вул. Миколайчука (на підході до перехрестя вул. Липинського – Миколайчука); II – перехід через вул. Липинського (на підході до перехрестя вул. Липинського – Миколайчука); III – перехід через вул. Городоцька (вихід з Привокзального ринку); IV – перехід через вул. Городоцька (на підході до перехрестя вул. Городоцька – Бандери); V – перехід через вул. Бандери (на підході до перехрестя вул. Городоцька – Бандери) та нерегульованих (VI – перехід через вул. Городоцька (на підході до перехрестя вул. Городоцька – Тобілевича – Коротка – Залізнична – Чернівецька); VII – перехід через вул. Чернівецька (на підході до перехрестя вул. Городоцька – Тобілевича – Коротка – Залізнична – Чернівецька); VIII – перехід через вул. Городоцька (на підході до перехрестя вул. Городоцька – Огієнка – Леонтовича) пішохідних переходів.

Усі ці переходи можна умовно поділити на дві групи, з точки зору їх розміщення на території міста. Перша група – це нерегульовані й регульовані пішохідні переходи, які розміщені в районі центрального залізничного вокзалу міста Львова. Особливостями пішохідного потоку тут є: значна інтенсивність і пішохідного, і транспортного руху; слабка організованість пішохідних потоків; велика частка пішоходів, які не є мешканцями міста. Друга група – пішохідні переходи, розміщені в житлових районах міста без єдиного, чітко вираженого центру притягання. Особливостями пішохідного руху тут є: менша, у порівнянні з першою групою, інтенсивність пішохідного руху протягом денної пори доби та значна інтенсивність транспортного руху; основна частина пішоходів – мешканці міста.

Під час проведення досліджень обрано два періоди – суха сонячна погода та дощ.

Такий вибір місць дослідження та погодних умов зумовлений перевіркою кількох робочих гіпотез:

1. Пішоходи, які в основному не проживають на території міста менше звертають увагу на засоби регулювання і тому дисципліна їх поведінки є слабшою;
2. За невеликої інтенсивності транспортних потоків і зі зменшенням довжини переходу, пішохід частіше користується правом переходу сходу через нерегульований пішохідний

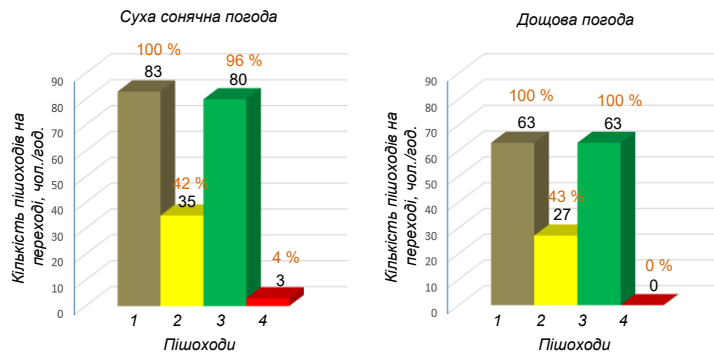
перехід, а також частіше здійснює перехід на заборонний сигнал під час руху регульованим пішохідним переходом;

- У дощову погоду зменшується час терпеливого очікування пішоходів для досягнення мети переміщення.

Під час вимірювань визначено такі показники: довжину пішохідних переходів (ширину вулиці); тривалість циклу регулювання на регульованих переходах, а також його складові (час заборонного та дозволяючих сигналів); кількість накопичених пішоходів перед переходом; кількість осіб, які пройшли на дозволяючий та заборонний сигнал світлофора (для регульованих перехресть); час переходу пішоходами проїзної частини; інтенсивність руху транспортних потоків через перехід.

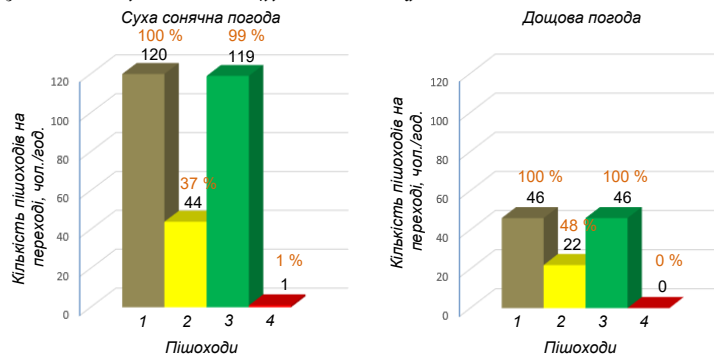
Графічні результати досліджень поведінки пішоходів на регульованих переходах наведено на рисунках 1 – 3.

а)



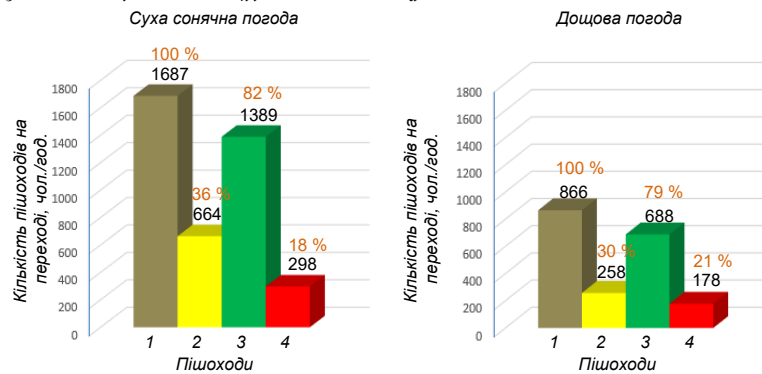
$$t_3 = 26 \text{ с}; t_4 = 44 \text{ с}; B_{пч} = 14 \text{ м}; N_a^{\phi} = 1186 \text{ авт. / год.}$$

б)



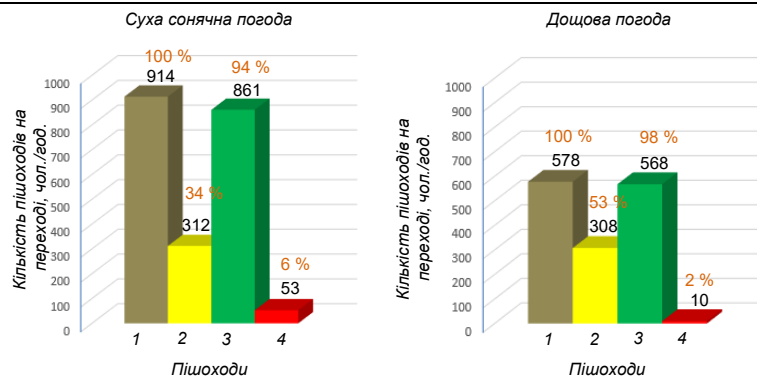
$$t_3 = 19 \text{ с}; t_4 = 51 \text{ с}; B_{пч} = 17,5 \text{ м}; N_a^{\phi} = 2222 \text{ авт. / год.}$$

в)



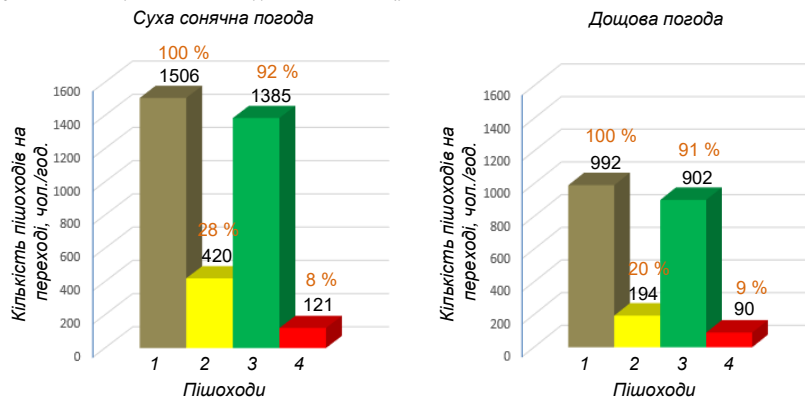
$$t_3 = 25 \text{ с}; t_4 = 47 \text{ с}; B_{пч} = 24 \text{ м}; N_a^{\phi} = 1695 \text{ авт. / год.}$$

г)



$$t_3 = 30 \text{ с}; t_4 = 55 \text{ с}; B_{\text{пч}} = 15 \text{ м}; N_a^{\phi} = 959 \text{ авт./год.}$$

д)



$$t_3 = 22 \text{ с}; t_4 = 65 \text{ с}; B_{\text{пч}} = 12 \text{ м}; N_a^{\phi} = 620 \text{ авт./год.}$$

Рис. 1. Результати досліджень пішохідного потоку на регульованих переходах: а – I; б – II; в – III; г – IV; д – V;

1 – пішоходи, які пройшли через перехід; 2 – пішоходи, які очікували дозволяючого сигналу;

3 – пішоходи, які пройшли через перехід на дозволяючий сигнал; 4 – пішоходи, які пройшли через перехід на заборонний сигнал;

$t_3$  – тривалість дозволяючого сигналу;  $t_4$  – тривалість заборонного сигналу;  $B_{\text{пч}}$  – довжина пішохідного переходу (ширина вулиці);  $N_a^{\phi}$  – фактична інтенсивність транспортного потоку

В основному, за результатами аналізу рис. 1, вдалось підтвердити робочу гіпотезу 1: у житлових районах частка осіб, які порушують правила пішохідного руху через регульовані пішохідні переходи, становить до 4 %, у той час як на перехрестях в районі залізничного вокзалу частка таких осіб досягає 10 – 15 %, а на переході біля Привокзального ринку становить 18 – 21 %. Це можна пояснити тим, що особи, які рідко користуються засобами примусового світлофорного регулювання, оскільки, переважно компактно проживають на територіях, де його не передбачено в проектних рішеннях схем організації руху, у меншій мірі вважають сигнали світлофора значущими з погляду безпеки руху і власної безпеки під час прийняття рішення в умовах ризику.

Вдалось також підтвердити, що у дощову погоду пішоходи обережніше поведуться на проїзній частині і у більшості випадків частка порушень (переходу на заборонний сигнал світлофора) є практично відсутньою (рис. 2), за винятком того ж регульованого переходу через вул. Городоцька біля Привокзального ринку, що не підтверджує гіпотезу 3, сформульовану під час виконання цієї дослідницької роботи.

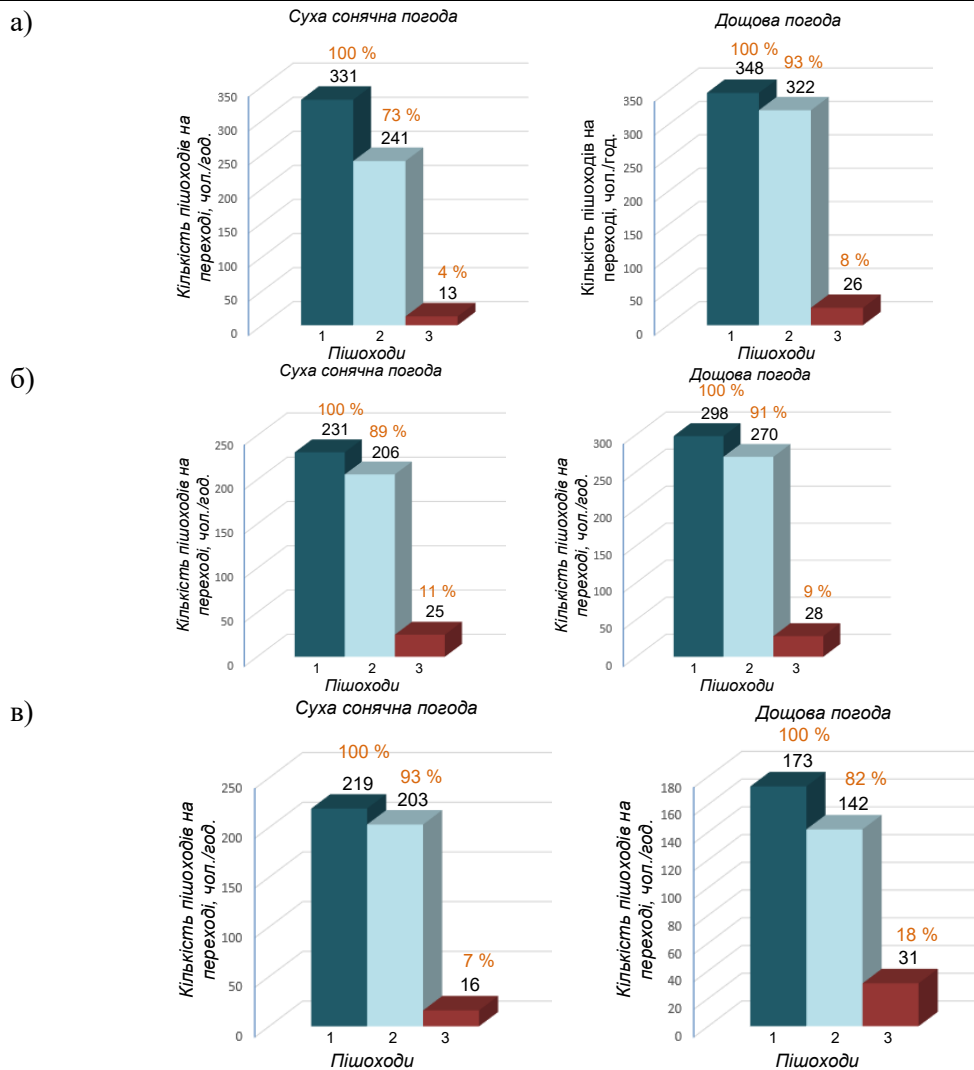


Рис. 2. Результати досліджень пішохідного потоку на нерегульованих переходах: а – VI  $B_{нч}=15м$ ;  $N_a^{\phi}=1072авт./год.$ , б – VII,  $B_{нч}=12м$ ;  $N_a^{\phi}=580авт./год.$ , в – VIII,  $B_{нч}=12м$ ;  $N_a^{\phi}=1470авт./год.$

1 – пішоходи, які пройшли через перехід; 2 – пішоходи, які скористались своїм правом переходу; 3 – пішоходи, які очікували інтервал у транспортному потоці для переходу

Аналізуючи результати досліджень поведінки пішохідного потоку на нерегульованих переходах (рис. 2), слід зазначити, що лише до 10 % пішоходів на таких переходах не відразу використовують своє право пріоритету під час руху через проїзну частину, тобто зважають на умови безпеки такого переходу. Слід також зазначити, що тут більшою мірою підтверджується гіпотеза 3, тобто поганий стан атмосфери (дощова погода) спонукають пішоходів користуватись частіше своїм правом пріоритету.

Також заслуговує на увагу те, що і за умови порушень правил переходу проїзної частини під час світлофорного регулювання, і в умовах нерегульованих пішохідних переходів, вплив має довжина шляху, який долає пішохід та інтенсивність руху транспортних потоків. Зі зменшенням довжини шляху збільшується (до 4 % пішоходів на 1 метр шляху) частка порушників або осіб, які відразу використовують своє право пріоритетності. Цьому також сприяє наявність тривалих розривів (більше 10 с.) між транспортними засобами в потоці, які проїжджають через пішохідний перехід.

Виходячи із величини інтенсивності руху пішоходів через нерегульовані пішохідні переходи та, враховуючи особливості їх поведінки перед здійсненням переходу (рис. 2), проведено моделювання з метою визначення затримки у транспортному потоці. Його результати наведено на рис. 3.

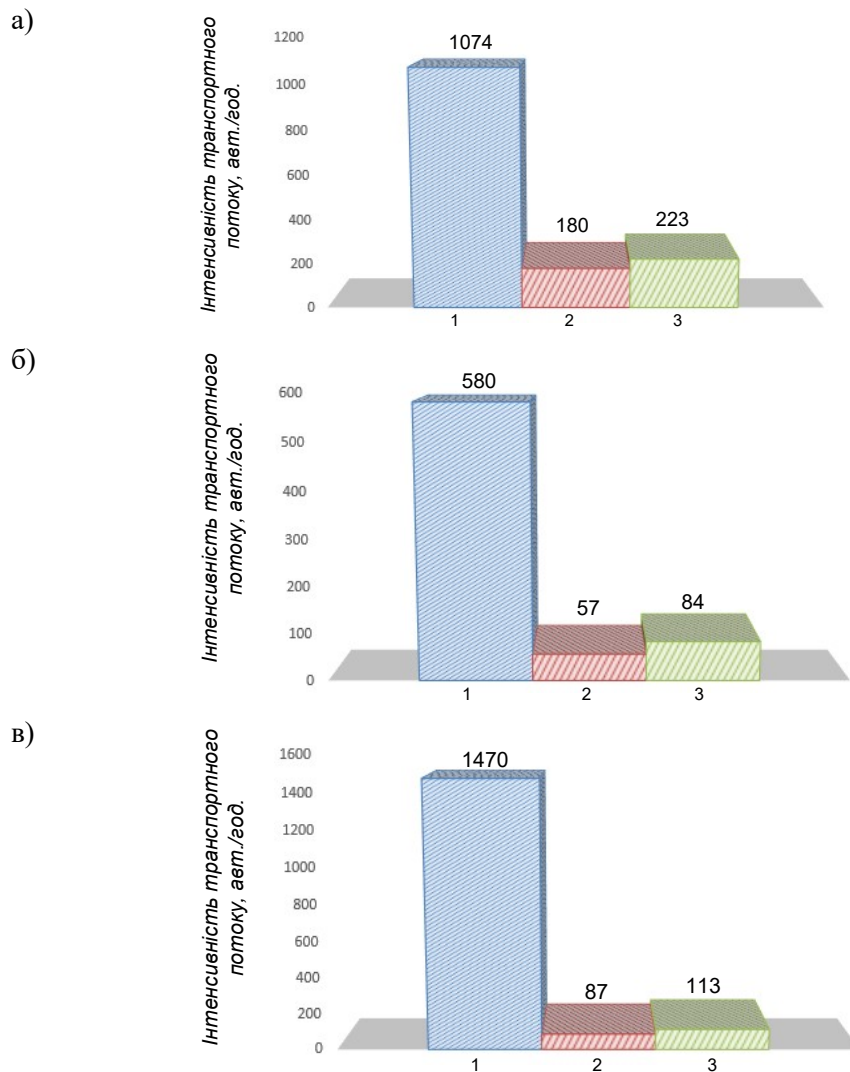


Рис. 3. Результати імітаційного моделювання затримки транспортного потоку в межах нерегульованих переходів у програмному середовищі VISSIM:

а – VI, б – VII, в – VIII.

1 – загальна інтенсивність в межах переходу; 2 – інтенсивність транспортного потоку, яка мала затримку в суху сонячну погоду; 3 – інтенсивність транспортного потоку, яка мала затримку в дощову погоду.

Аналізуючи результати, наведені на рис. 3, можна сказати, що на перехрестях VI та VII (зона впливу зовнішнього транспорту) частка автомобілів, які мали затримку в межах пішохідних переходів є набагато більшою ніж на перехресті VIII (житловий район близько центру міста), хоча інтенсивність пішохідного потоку на цих перехрестях є практично однаковою.

**Висновки.** За результатами цих досліджень, а також досліджень, які проводились нами раніше, можна стверджувати, що нормативні підходи щодо облаштування пішохідних переходів, проектування режимів примусового регулювання руху на них мають бути відмінними для різних функціональних зон міста. Визначаються ці відмінності найперше поведінкою пішоходів, яка залежить від психофізіологічних особливостей пішоходів, мети переміщення та погодних умов.

1. Лобанов Е. М. Транспортная планировка городов / Е. М. Лобанов. – М. : Транспорт, 1990. – 240 с.

2. Transport planning and traffic engineering / Edited by С. А. O'Flaherty. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2006. – 544 p.

3. Буга П. Г. Организация пешеходного движения в городах / П. Г. Буга, Ю. Д. Шелков. – М. : Высшая шк., 1980. – 232 с.

4. Кликовштейн Г. И. Организация дорожного движения: Учеб. Для вузов. – 5-е изд., перераб. И доп. /

Г. И Кликовштейн., М. Б. Афанасьев – М: Транспорт, 2001 – 247 с.

5. Организация та регулювання дорожнього руху: підручник / За заг. ред. В. П. Поліщука; О. О. Бакуліч, О. П. Дзюба, В. І. Єресов та ін. – К. : Знання України, 2012. – 467 с.



6. Mantecchini L. Empirical Analysis of Pedestrian Delay Models at Urban Intersections / L Mantecchini – Contemporary Engineering Sciences, Vol. 8, 2015, P. 981–990.
7. Врубель Ю. А. Потери в дорожном движении / Ю. А. Врубель. – Минск : БНТУ, 2003. – 380 с.
8. Галушко В.Г. Вероятностно-статистические методы на автотранспорте / В.Г. Галушко Изд. «Вища школа», 1976 – 232 с.

## REFERENCES

1. Lobanov, E. (1990). *Transport urban planning [Transportnaya planirovka gorodov]*. Moscow, Transport. 240 p.
2. *Transport planning and traffic engineering* / Edited by C. A. O'Flaherty. – Oxford : Butterworth-Heinemann, 2006. – 544 p.
3. Buga, P. (2001). *Organization of walking in cities [Organizatsiya peshehodnogo dvizheniya v gorodah]*. Moscow, High school. 232 p.
4. Klinkovshcheyn, G. (2001). *Traffic Organization [Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya]*. Moscow, Transport. 247 p.
5. Polishchuk, V. (2012). *Orhanizatsiia ta rehuliuivannia dorozhnoho rukhu [Orhanizatsiia ta rehuliuivannia dorozhnoho rukhu]*. Kyiv, Znannia Ukrainy, 467 p.
6. Mantecchini, L. (2015). *Empirical Analysis of Pedestrian Delay Models at Urban Intersections*. Contemporary Engineering Sciences, Vol. 8, pp. 981–990.
7. Vrubel', Ju (2003). *Potery v dorozhnom dvizhenii [Potery v dorozhnom dvizhenii]*. Minsk: BNTU, 380 p.
8. Galushko, V. (1976). *Probabilistic-statistical methods on motor transport [Veroiatnostno-statystychnykye metody na avtotransporte]*. Moscow, High school. 232 p.

### **Ланець О.С., Ройко Ю.Я., Грицунь О.М. Влияние пешеходов на потери времени в транспортном потоке.**

В работе приведены результаты исследований и анализ поведения пешеходов в зависимости от дорожных условий при сухой солнечной и дождливой погоды. При различных, условно разделенных группах переходов, отличаются интенсивности и пешеходного, и транспортного движения, организованность пешеходных потоков, задержки транспорта. Проведены экспериментальные исследования пешеходного движения, на основе которых в программной среде VISSIM смоделированы задержки транспорта.

**Ключевые слова:** транспортный поток, пешеходный поток, регулируемый пешеходный переход, нерегулируемый пешеходный переход, транспортная задержка, интенсивность движения, имитационное моделирование.

### **A. Lanets, Yu Royko, O. Hrytsun. Impact of pedestrians on the loss of time in traffic flow**

In the work are presented results of research and analysis of pedestrian behavior depending on road conditions for dry sunshine and rainy weather within ground pedestrian crossing. Field research have been conducted on the road network of Lviv using technical means of traffic organization of urban communal enterprise LCE “Lvivavtodor”. The number of researches has been determined for measurement of vehicle delays on pedestrian crossings using normal law (Reley, Koshi). Analyzing the research results, where are fixed conditions of violation rules of crossing the road during traffic lights regulation and in conditions of unregulated pedestrian crossing, it is defined that the biggest impact has length of way which pedestrian overcomes and intensity of traffic flows. With a decrease of 1 m in length decreases by 4% the proportion of offenders or people who immediately use their right of priority, that is, neglecting the safety conditions. Based on carried out experimental research of pedestrian movement indicators in software environment VISSIM are simulated traffic flow delays within pedestrian crossings. Analyzing results received during simulation, we can say that on the intersections, that are situated in district of railway station, proportion of vehicles that had delay within pedestrian crossings is much bigger than on the intersection (residential area near the city center), thus intensity of pedestrian and traffic flows on these crossings is practically the same. So, we can make a conclusion, that location of pedestrian crossing about objects of road network directly affects the amount of transport delays.

**Keywords:** traffic flow, pedestrian flow, regulated pedestrian crossing, unregulated pedestrian crossing, traffic delay, intensity of movement, simulation.

### **АВТОРИ:**

**ЛАНЕЦЬ Олексій Степанович**, доктор технічних наук, доцент, Національний університет «Львівська політехніка», директор Інституту інженерної механіки та транспорту,

e-mail: [iimt.nulp@gmail.com](mailto:iimt.nulp@gmail.com)

**РОЙКО Юрій Ярославович**, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Транспортні технології», Національний університет «Львівська політехніка», e-mail: [jurij.rojko@gmail.com](mailto:jurij.rojko@gmail.com)

**ГРИЦУНЬ Олег Михайлович**, аспірант, асистент кафедри «Транспортні технології», Національний університету «Львівська політехніка», e-mail: [oleggrutsyn1993@gmail.com](mailto:oleggrutsyn1993@gmail.com)

**АВТОРЫ:**

*ЛАНЕЦ Алексей Степанович*, доктор технических наук, доцент, Национальный университет «Львівська політехніка», директор Института инженерной механики и транспорта,

e-mail: [iimt.nulp@gmail.com](mailto:iimt.nulp@gmail.com)

*РОЙКО Юрий Ярославович*, кандидат технических наук, доцент кафедры транспортных технологий, Национальный университет «Львівська політехніка», e-mail: [jurij.rojko@gmail.com](mailto:jurij.rojko@gmail.com)

*ГРИЦУНЬ Олег Михайлович*, аспирант, ассистент кафедры транспортных технологий, Национальный университет «Львівська політехніка», e-mail: [oleggrutsyn1993@gmail.com](mailto:oleggrutsyn1993@gmail.com)

**AUTHORS:**

*Alexey LANETS*, Doctor of Science in Engineering, Assoc. Professor, Lviv Polytechnic National University, Director of Mechanical Engineering and Transport Institute, e-mail: [iimt.nulp@gmail.com](mailto:iimt.nulp@gmail.com)

*Yuriy ROYKO*, PhD in Engineering, Assoc. Professor of Transport technologies Department, Lviv Polytechnic National University, e-mail: [jurij.rojko@gmail.com](mailto:jurij.rojko@gmail.com)

*Oleg HRYTSUN*, postgraduate student, assistant Transport technologies Department, Lviv Polytechnic National University, e-mail: [oleggrutsyn1993@gmail.com](mailto:oleggrutsyn1993@gmail.com)

Стаття надійшла в редакцію 26.09.2017