УДК 656.142

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ КОНФЛІКТІВ МІЖ ТРАНСПОРТНИМИ ТА ПІШОХІДНИМИ ПОТОКАМИ НА ВІДСТАНЬ МІЖ ПІШОХІДНИМИ ПЕРЕХОДАМИ

Єрмак О.М.

DETERMINE THE IMPACT OF THE CONFLICT BETWEEN TRANSPORT AND PEDESTRIAN FLOWS TO THE DISTANCE BETWEEN THE PEDESTRIAN CROSSING

Iermak O.

В статті розглядається питання визначення оптимальної довжини між пішохідними переходами. Наведені основні методи розміщення пішохідних переходів. Запропоновано науковий підхід щодо визначення оптимальної довжини між пішохідними переходами, що враховує загальні витрати на переміщення транспортних та пішохідних потоків. Отримано математичну модель оптимальної довжини між пішохідними переходами, що враховує витрати пов'язані із виникнення конфліктних ситуацій між транспортними та пішохідними потоками.

Ключові слова: *пішохідний перехід, дорожньо-транспортна пригода, пішохідний потік, сукупні витрати.*

Вступ. Як показує світовий досвід, рівень автомобілізації буде зростати в міру зростання економічного потенціалу країни. Це означає, що будуть ускладнюватися всі проблеми, пов'язані з автомобілізацією (екологія, аварійність, транспортні затримки і т. д.). Разом з тим явно, що розвиток ВДМ буде відставати від темпів автомобілізації, і це спричинить за собою подальше підвищення щільності транспортних потоків, особливо в містах. У цьому зв'язку вирішальне значення матиме продумана і обґрунтована для конкретних умов організація транспортних і пішохідних потоків, що дозволяє певною мірою ліквідувати негативні наслідки автомобілізації [1].

Для того, щоб одержати якісні показники руху транспортного та пішохідного потоків, необхідно правильно обрати той набір характеристик, що є найбільш важливим для подальшого дослідження особливостей руху транспорту й пішоходів на перетинах міських вулиць (пішохідних переходах).

Постановка проблеми. В умовах розвиненого громадського пасажирського транспорту і високого рівня рухливості збільшується ймовірність контактів між пішоходами і транспортом.

Тому конфлікти між пішоходами та транспортом, це найпоширеніші і небезпечні транспортні конфлікти в місті [2-3].

Отже для ефективного планування транспортних вузлів на вулично-дорожній мережі міст, крім вивчення та моделювання потоків транспортних засобів, необхідно приділяти належну увагу і пішохідним потокам, а саме місцям їх перетину (пішохідним переходам) [4-5].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Конфліктні ситуації, що виникають між транспортними та пішохідними потоками створюють проблеми для ефективного функціонування транспортних систем з одного боку та шкоду для здоров'я людей з іншого. Тому всі заходи щодо забезпечення безпеки дорожнього руху на пішохідних переходах спрямовані або на ліквідацію таких конфліктних ситуацій або на їх частковий розподіл [1-10].

Так в роботах [1, 5] акцентовано увагу ліквідації конфліктів між транспортними та пішохідними потоками шляхом облаштування підземних та надземних пішохідних переходів. Але такий підхід реалізовується при інтенсивних потоках (на швидкісних магістралях), де необхідне перетинання в різних рівнях.

В роботах [1-2, 4-5] розглядаються варіанти перетинання в одному рівні, як то:

– нерегульоване перетинання із перевагою пішоходів;

– регульоване перетинання із почерговим проїздом транспортних засобів та переходом пішоходів;

– регульоване перетинання із одночасним проїздом транспортних засобів та переходом пішоходів;

Але кожен із розглянутих варіантів перетинання в одному рівні має свої переваги та недоліки, так надання переваги пішохідним потокам збільшує затримки транспортних потоків, а надана перевага транспортним потокам збільшує аварійність на пішохідних переходах [6-9].

Зокрема в роботі [10] розглядається вплив розміщення штучних нерівностей на безпеку перетинання пішоходами проїзної частини.

Але зручність та безпека пішохідних потоків також залежить від відстані між пішохідними переходами, яка в свою чергу може бути регламентована стандартами або визначатися залежно обраних параметрів [11-14].

В ДБН В. 2.3-5-2001"Споруди транспорту. Вулиці та дороги населених пунктів" [11] визначено, що пішохідні переходи на одному рівні з проїзною частиною, при новому будівництві, влаштовуються через вулиці (дороги) на відстані один від іншого не менше, м:

1) магістральні вулиці (дороги) загальноміського значення з регульованим рухом □ 300;

2) магістральні вулиці районного значення □ 250;

3) вулиці і дороги місцевого значення:

- житлові вулиці – 150;
- дороги промислових і комунально-складських зон – 200.

Натомість пішохідні переходи в різних рівнях зі сходами і пандусами слід розміщувати з інтервалом:

− 300-600 м – на магістральних вулицях і дорогах безперервного руху (у промислових і комунально-складських зонах відстань може досягати 800 м);

− 400-800 м – на лініях швидкісного трамвая і залізниць.

В роботі [13] представлено математичні моделі визначення відстані між перехрестями та їх вплив на транспортний потік. Але не досліджено розміщення пішохідних переходів поза перехрестями та їх вплив на транспортний потік.

Таким чином, в ході аналізу, було з'ясовано, що знаходження компромісу між витратами транспортних та пішохідних потоків можна досягни шляхом раціонального розміщення пішохідних переходів.

Мета статті. Метою даної статті є визначення впливу конфліктів між транспортними та пішохідними потоками на відстань між пішохідними переходами.

Результати досліджень. В роботі [15] було визначено математичну модель оптимальної довжинини між пішохідними переходами на поточній довжині ВДМ, за умови мінімуму сукупних витрат суспільства, пов’язаних з перетинанням пішохідних та транспортних потоків вулично-дорожньої мережі.

Загальні витрати суспільства, що пов’язані з перетином пішохідних переходів ВДМ, були визначені як:

- підхід до пішохідного переходу, Q_1;
- відхід від пішохідного переходу, Q_2;
- перехід проїзної частини, Q_3;
- утриманням пішохідного переходу, Q_4;
- рух транспортних засобів на одиницю довжини, Q_5;
- викид шкідливих речовин у відпрацьованих газах автомобілів, Q_6.

Саме перехід проїзної частини пов'язаний із ризиком виникнення дорожньо-транспортної пригоди (ДТП). Тому необхідно визначити цю складову та визначити відповідні закономірності.

Витрати, пов’язані з ризиком виникнення дорожньо-транспортної пригоди під час переходу проїзної частини можна визначити наступним чином:

$$Q_7 = \frac{N_{ДТП} \cdot C_{ДТП}}{L(x)_{піш}}, \quad (1)$$

де $N_{ДТП}$ – кількість ДТП, од.;

$C_{ДТП}$ – величина збитку заподіяного ДТП, грн./од.;

$L(x)_{піш}$ – довжина між пішохідними переходами, км.

В свою чергу кількість ДТП за рік на пішохідному переході можна визначити за залежністю [16]:

$$N_{ДТП} = 0{,}0025 + 0{,}00092 \cdot N_{тп} \times \times \sqrt[4]{F(x)_{під} + F(x)_{від}}, \quad (2)$$

де $N_{тп}$ – інтенсивність транспортного потоку, од./год.;

$F(x)_{під}$ – підхід, до пішого переходу, чол./год. · км;

$F(x)_{від}$ – відхід, від пішого переходу, чол./год. · км.

Використовуючи вираз (2) залежність (1) приймає наступний вигляд:

$$Q_7 = (0{,}0025 + 0{,}00092 \cdot N_{тп} \times \times \sqrt[4]{F(x)_{під} + F(x)_{від}} \cdot C_{ДТП}) / (365 \cdot 24 \cdot L(x)_{піш}). \quad (3)$$

Таким чином, загальні витрати будуть становити:

$$Q_{заг} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7. \quad (4)$$

Оптимальна довжина між пішохідними переходами $L(x)_{піш}$, що забезпечує мінімум сукупних витрат суспільства, визначається з умови:

$$\frac{dQ_{заг}}{dL(x)_{піш}} = 0. \quad (5)$$

Виконавши інтегрування отримуємо формулу оптимальної довжини між пішохідними переходами $L(x)_{піш}$

$$L(x)_{піш} = \sqrt{\frac{V_{піш} \cdot \begin{pmatrix} C_{утр} + N_{тп} \cdot t_з \cdot C_{тп} + \\ + N_{тп} \cdot t_з \cdot N \cdot C_г + \\ + (2{,}85 \cdot 10^{-7} + 1{,}05 \cdot 10^{-7} \cdot N_{тп} \times \\ \times \sqrt[4]{2 \cdot F(x)_{під}} \cdot C_{ДТП}) \end{pmatrix}}{k_{нп} \cdot k_{рм} \cdot k_{вп} \cdot C_п \cdot F(x)_{під}}}, \quad (6)$$

де $k_{нп}, k_{рм}, k_{вп}$ – коефіцієнти непрямолінійності підходу, рельєфу місцевості, та вибору пішохідного потоку відповідно;

$V_{піш}$ – швидкість руху пішоходів, км/год.;

$C_п$ – вартість пішого руху, грн./год.;

$C_{утр}$ – витрати на утримання пішохідного переходу, грн./год.;

$t_з$ – час затримки транспортних засобів, год.;

$C_{тп}$ – вартість руху транспортного потоку, грн./год.

N – кількість викидів, кг/год.;

$C_г$ – вартість впливу шкідливих речовин у відпрацьованих газах автомобілів, грн./кг.

Залежність (6) є складною та багатофакторною, тому для оцінки впливу конфліктів між транспортними та пішохідними потоками на оптимальну довжину між пішохідними переходами почергово будемо змінювати параметри та отримувати чисельні значення (таблиця).

Таблиця

Результати моделювання оптимальної довжини між пішохідними переходами

Інтенсивність транспортного потоку, $N_{тп}$, од./год.	Кількість пішоходів, що підходять до пішохідного переходу, $F(x)_{під}$, чол./год. · км						
	100	500	1000	1500	2000	2500	3000
Величина збитку заподіяного ДТП, $C_{ДТП} = 1000$ грн./од.							
100	0,544	0,243	0,172	0,141	0,122	0,109	0,099
500	0,675	0,302	0,214	0,174	0,151	0,135	0,123
1000	0,81	0,362	0,256	0,209	0,181	0,162	0,148
1500	0,925	0,414	0,293	0,239	0,207	0,185	0,169
2000	1,027	0,459	0,325	0,265	0,23	0,206	0,188
2500	1,12	0,501	0,354	0,289	0,251	0,224	0,205
3000	1,205	0,539	0,381	0,312	0,27	0,241	0,22
Величина збитку заподіяного ДТП, $C_{ДТП} = 10000$ грн./од.							
100	0,545	0,244	0,173	0,141	0,122	0,109	0,1
500	0,678	0,304	0,215	0,176	0,152	0,136	0,125
1000	0,814	0,365	0,259	0,212	0,183	0,164	0,15
1500	0,931	0,418	0,296	0,242	0,21	0,188	0,172
2000	1,034	0,464	0,329	0,269	0,233	0,209	0,191
2500	1,128	0,507	0,359	0,294	0,255	0,228	0,208
3000	1,215	0,546	0,387	0,316	0,274	0,246	0,224
Величина збитку заподіяного ДТП, $C_{ДТП} = 100000$ грн./од.							
100	0,552	0,249	0,176	0,144	0,125	0,112	0,103
500	0,706	0,322	0,23	0,19	0,165	0,148	0,136
1000	0,86	0,395	0,284	0,234	0,204	0,184	0,169
1500	0,991	0,457	0,329	0,271	0,237	0,213	0,196
2000	1,106	0,511	0,368	0,304	0,266	0,239	0,22
2500	1,21	0,56	0,404	0,334	0,292	0,263	0,242
3000	1,306	0,605	0,436	0,361	0,315	0,284	0,261
Величина збитку заподіяного ДТП, $C_{ДТП} = 1000000$ грн./од.							
100	0,618	0,291	0,212	0,176	0,154	0,14	0,129
500	0,939	0,467	0,348	0,294	0,26	0,237	0,22
1000	1,227	0,621	0,466	0,394	0,35	0,32	0,297
1500	1,46	0,743	0,559	0,474	0,422	0,385	0,358
2000	1,66	0,848	0,639	0,542	0,482	0,441	0,41
2500	1,838	0,942	0,71	0,602	0,536	0,49	0,456
3000	2,001	1,027	0,774	0,657	0,585	0,535	0,498

Як бачимо відбувається істотний вплив величин транспортних та пішохідних потоків й напроти не спостерігається суттєвого впливу витрат пов'язаних із ДТП. Але така закономірність може бути пов'язана із обраною регресійною моделлю. Тому, в подальшому, необхідно дослідити вплив параметрів транспортних та пішохідних потоків на виникнення ДТП.

Висновки. Наведені дослідження дозволяють зробити висновок, що на оптимальну довжину між пішохідними переходами прямо пропорційно впливають швидкість руху пішохода, витрати на утримання пішохідного переходу, інтенсивність транспортного потоку, час затримки транспортних засобів, вартість руху транспортного потоку, кількість викидів, вартість впливу шкідливих речовин у відпрацьованих газах автомобілів та витрати пов'язані із ДТП, обернено пропорційно – вартість пішого руху, підхід та відхід до та від пішохідного переходу.

При цьому проведені дослідження дозволяють виявити закономірності впливу величини пішохідного та транспортних потоків на оптимальну довжину між пішохідними потоками при різній величині збитків, що заподіяні ДТП.

В подальшому необхідно дослідити вплив параметрів транспортних та пішохідних потоків на виникнення ДТП.

Література

1. Живоглядов В. Г. Теория движения транспортных и пешеходных потоков [Текст] / В. Г. Живоглядов. – Ростов-на-Дону: Изд-во журн. «Изв. вузов Сев.- Кавк. регион», 2005. – 1082 с.
2. Knoblauch R L. Pedestrian crosswalk case studies: Sacramento, California; Richmond, Virginia; Buffalo, New York; Stillwater, Minnesota [Text] / R. L. Knoblauch, M . Nitzburg, R. F. Seifert. – National Technical Information Service, 2001. – 52 p.
3. Oxley J. A. Crossing roads safely: An experimental study of age differences in gap selection by pedestrians [Text] / J. A. Oxley, E. Ihsen, B. N. Fildes, J. L. Charlton, R. H. Day // Accident Analysis & Prevention. – 2005. – Vol. 37, Iss. 5. – P. 962–971.
4. AASHTO GREEN BOOK – A Policy on Geometric Design of Highways and Streets [Text] / American Association of State and Highway Transportation Officials, 2004. – 872 p.
5. Пугачёв И.Н. Организация и безопасность дорожного движения [Текст] / И.Н. Пугачёв, А.Э. Горев, Е.М. Олещенко. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 272 с.
6. Симуль М. Г. Оценка опасности пешеходных переходов на магистральных улицах [Текст] / М. Г. Симуль // Инновации в науке, 2012. - №12-1. URL: http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-opasnosti-peshehodnyh-perehodov-na-magistralnyh-ulitsah.
7. Дудніков О. В. Уточнення розрахунку проміжного такту світлофорного регулювання з жорстким програмним управлінням на міських перехрестях [Текст] / О. В. Дудніков, А. В. Пелих // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: науково-виробничий збірник, 2011. – №2(13). – С. 47-55.
8. Yung-Ching Liu, Ying-Chan Tung. Risk analysis of pedestrians' road-crossing decisions: Effects of age, time gap, time of day, and vehicle speed [Text] / Yung-Ching Liu, Ying-Chan Tung // Safety Science, 2014. - Vol. 63. – P. 77–82.
9. Loukaitou-Sideris A. Death on the Crosswalk A Study of Pedestrian-Automobile Collisions in Los Angeles [Text] / A. Loukaitou-Sideris, R. Liggett, Hyun-Gun Sung // Journal of Planning Education and Research, 2007. - Vol. 26. – P. 338–351.
10. Johansson C. Distance between speed humps and pedestrian crossings: Does it matter? [Text] / C. Johansson, P. Rosander, L. Leden // Accident Analysis & Prevention, 2011. - Vol. 43, Iss. 5. – P. 1846–1851.
11. Споруди транспорту. Вулиці та дороги населених пунктів: ДБН В.2.3-5-2001. – [Чинний від 2001-10-01]. – К. : ДП «Укрархбудінформ», 2001. – 50 с.
12. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень: ДБН 360-92**. – [Чинний від 2002-04-19]. – К. : ДП «Укрархбудінформ», 2002. – 92 с.
13. Ройко Ю. Я. Визначення оптимальної довжини ділянки міської магістральної вулиці [Текст] / Ю. Я. Ройко, М. Ю. Євчук // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки", 2014. – Вип. 46. – С. 460-464.
14. Ziari H. Locating stations of public transportation vehicles for improving transit accessibility / H. Ziari, M. R. Keymanesh, M. M. Khabiri // Transport, 2007. – № 2. – P. 99–104.
15. Єрмак О. М. Визначення оптимальної довжини ділянки міської магістральної вулиці [Текст] / О. М. Єрмак // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки", 2014. – Вип. 46. – С. 460-464.
16. Кременец Ю. А. Технические средства организации дорожного движения [Текст] / Ю. А. Кременец, М. П. Печерский, М.Б. Афанасьев. – М. : Изд-ий центр «Академия», 2005. – 279 с.

References

1. Zhivogljadov V. G. Teorija dvizhenija transportnyh i peshehodnyh potokov [Tekst] / V. G. Zhivogljadov. – Rostov-na-Donu: Izd-vo zhurn. «Izv. vuzov Sev.- Kavk. region», 2005. – 1082 s.
2. Knoblauch R L. Pedestrian crosswalk case studies: Sacramento, California; Richmond, Virginia; Buffalo, New York; Stillwater, Minnesota [Text] / R. L. Knoblauch, M . Nitzburg, R. F. Seifert. – National Technical Information Service, 2001. – 52 p.
3. Oxley J. A. Crossing roads safely: An experimental study of age differences in gap selection by pedestrians [Text] / J. A. Oxley, E. Ihsen, B. N. Fildes, J. L. Charlton, R. H. Day // Accident Analysis & Prevention. – 2005. – Vol. 37, Iss. 5. – P. 962–971.
4. AASHTO GREEN BOOK – A Policy on Geometric Design of Highways and Streets [Text] / American Association of State and Highway Transportation Officials, 2004. – 872 p.
5. Pugachjov I.N. Organizacija i bezopasnost' dorozhnogo dvizhenija [Tekst] / I.N. Pugachjov, A.Je. Gorev, E.M. Oleshhenko. – M.: Izdatel'skij centr «Akademija», 2009. – 272 s.
6. Simul' M. G. Ocenka opasnosti peshehodnyh perehodov na magistral'nyh ulicah [Tekst] / M. G. Simul' // Innovacii

v nauke, 2012. - №12-1. URL: http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-opasnosti-peshehodnyh-perehodov-na-magistralnyh-ulitsah.
7. Dudnikov O. V. Utochnennja rozrahunku promizhnogo taktu svitlofornogo reguljuvannja z zhorstkim programnim upravlinnjam na mis'kih perehrestjah [Tekst] / O. V. Dudnikov, A. V. Pelih // Visti Avtomobil'no-dorozhn'ogo institutu: naukovo-virobnichij zbirnik, 2011. – №2(13). – S. 47-55.
8. Yung-Ching Liu, Ying-Chan Tung. Risk analysis of pedestrians' road-crossing decisions: Effects of age, time gap, time of day, and vehicle speed [Text] / Yung-Ching Liu, Ying-Chan Tung // Safety Science, 2014. - Vol. 63. – P. 77–82.
9. Loukaitou-Sideris A. Death on the Crosswalk A Study of Pedestrian-Automobile Collisions in Los Angeles [Text] / A. Loukaitou-Sideris, R. Liggett, Hyun-Gun Sung // Journal of Planning Education and Research, 2007. - Vol. 26. – P. 338–351.
10. Johansson C. Distance between speed humps and pedestrian crossings: Does it matter? [Text] / C. Johansson, P. Rosander, L. Leden // Accident Analysis & Prevention, 2011. - Vol. 43, Iss. 5. – P. 1846–1851.
11. Sporudi transportu. Vulici ta dorogi naselenih punktiv: DBN V.2.3-5-2001. – [Chinnij vid 2001-10-01]. – K. : DP «Ukrarhbudinform», 2001. – 50 s.
12. Mistobuduvannja. Planuvannja i zabudova mis'kih i sil's'kih poselen': DBN 360-92**. – [Chinnij vid 2002-04-19]. – K. : DP «Ukrarhbudinform», 2002. – 92 s.
13. Rojko Ju. Ja. Viznachennja optimal'noї dovzhini diljanki mis'koї magistral'noї vulici [Tekst] / Ju. Ja. Rojko, M. Ju. Єvchuk // Mizhvuzivs'kij zbirnik "Naukovi notatki", 2014. – Vip. 46. – S. 460-464.
14. Ziari H. Locating stations of public transportation vehicles for improving transit accessibility / H. Ziari, M. R. Keymanesh, M. M. Khabiri // Transport, 2007. – № 2. – R. 99–104.
15. Yermak O. M. Viznachennja optimal'noї dovzhini diljanki mis'koї magistral'noї vulici [Tekst] / O. M. Єrmak // Mizhvuzivs'kij zbirnik "Naukovi notatki", 2014. – Vip. 46. – S. 460-464.
16. Kremenec Ju. A. Tehnicheskie sredstva organizacii dorozhnogo dvizhenija [Tekst] / Ju. A. Kremenec, M. P. Pecherskij, M.B. Afanas'ev. – M. : Izd-ij centr «Akademija», 2005. – 279 s.

Ермак Е.М. Определение влияния конфликтов между транспортными и пешеходными потоками на расстояние между пешеходными переходами

В статье рассматривается вопрос определения оптимальной длины между пешеходными переходами. Приведены основные методы размещения пешеходных переходов. Предложено научный подход к определению оптимальной длины между пешеходными переходами, учитывающий общие затраты на перемещение транспортных и пешеходных потоков. Получена математическая модель оптимальной длины между пешеходными переходами, учитывающая затраты связанные с возникновения конфликтных ситуаций между транспортными и пешеходными потоками.

***Ключевые слова**: пешеходный переход, дорожно-транспортное происшествие, пешеходный поток, совокупные расходы.*

Iermak O. Determine the impact of the conflict between transport and pedestrian flows to the distance between the pedestrian crossing

The article discusses determine the optimal length between pedestrian crossings. The basic methods of placing pedestrian crossings, which are based on securing the crossing of traffic and pedestrian flows. Identified weaknesses allowed to offer a scientific approach to determine the optimal length between pedestrian crossings, taking into account the total cost of moving traffic and pedestrian flows. This takes into account how social and environmental standards as transport and security. Mathematical model of optimal length between pedestrian crossings, taking into account the costs associated with conflict situations between transport and pedestrian flows. The result was modeling the optimal length between pedestrian crossings at different values of costs associated with traffic accidents.

***Keywords**: crosswalk, traffic accidents, pedestrian flow, total cost.*

Єрмак О.М. – к.т.н., доц., доцент кафедри транспортних систем і логістики, ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, м. Харків, Україна, e-mail: e.m.ermak@rambler.ru.

Рецензент: д.т.н., проф. ***Соколов В.І.***

Стаття подана 18.03.2016