

УДК 656.11

О.М. Грицунь*Національний університет «Львівська політехніка»***АНАЛІЗ ПОВЕДІНКИ ПІШОХОДІВ НА РЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕХРЕСТЯХ**

У роботі проаналізовано основні причини порушень правил дорожнього руху пішоходами під час перетину регульованих перехресть та розглядаються чинники, які впливають на поведінку пішоходів в умовах ризику під час світлофорного регулювання. Наведено залежності розподілу кількості порушень пішоходами переходу проїзної частини на заборонний сигнал світлофора залежно інтенсивності транспортного потоку та тривалості червоного сигналу. Описуються моделі, які відтворюють поведінку пішохідного потоку у реальних умовах.

Ключові слова: пішохідний потік, транспортний потік, світлофорне регулювання, поведінка пішоходів, час терпеливого очікування.

О.М. Грицунь*Национальный университет «Львовская политехника»***АНАЛИЗ ПОВЕДЕНИЯ ПЕШЕХОДОВ НА РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕКРЕСТКАХ.**

В работе проанализированы основные причины нарушений правил дорожного движения пешеходами при пересечении регулируемых перекрестков и рассматриваются факторы, которые влияют на поведение пешеходов в условиях риска при светофорном регулировании. Приведены зависимости распределения количества нарушений пешеходами перехода проезжей части на запрещающий сигнал светофора от зависимости интенсивности транспортного потока и продолжительности красного сигнала. Описываются модели, которые воспроизводят поведение пешеходного потока в реальных условиях.

Ключевые слова: пешеходный поток, транспортный поток, светофорное регулирование, поведение пешеходов, время терпеливого ожидания.

O. Hrytsun*National University "Lviv Polytechnic"***Analysis of the behavior of pedestrians at signalized intersections.**

The paper analyzes the main causes of violations of traffic rules by pedestrians when crossing intersections regulated and examines the factors that influence the behavior of pedestrians at risk when traffic signalization. The dependences of the distribution of the number of violations pedestrians cross the carriage way at a red light, depending on the intensity of traffic and the duration of the red signal. It describes the models that reproduce the behavior of pedestrian flow in real conditions.

Keywords: pedestrian flow, traffic flow, traffic signalization, the behavior of pedestrians, patient waiting time.

Постановка проблеми. Кількість дорожньо-транспортних подій за участю пішоходів з кожних роком зростає, причому досить часто винними є самі пішоходи. Це відбувається головним чином через зростання рівня автомобілізації, збільшення кількості регульованих пішохідних переходів, а також у результаті проведення спеціальних заходів (мітинги, акції протесту, масові святкування тощо). Однак, проблема забезпечення зручності і безпеки руху пішоходів є одним з найбільш відповідальних і, разом з тим, недостатньо розроблених розділів організації руху на даний час. Складність цього завдання, зокрема, обумовлена тим, що поведінка пішоходів важче піддається регламентації, ніж поведінка водіїв, а в розрахунках режимів регулювання важко врахувати психофізіологічні чинники з усіма відхиленнями, властивими окремим групам пішоходів [1]. Регулювання пішохідного потоку передбачає комплексне використання архітектурно-планувальних і організаційних заходів, що впливають з дослідження умов і характеристик руху пішоходів на вулично-дорожній мережі.

Виявлено, що в середньому близько 20% пішоходів порушують правила дорожнього руху, здійснюючи перехід проїзної частини на заборонний сигнал світлофора, тобто в умовах ризику. Тому необхідно навести означення різних термінів, які застосовуються під час опису ризику, як стадії дії в поведінці пішохода. На цей час відомо такі [2]:

- ризик, як умова поведінки пішоходів. Під цим розуміють певні внутрішньо індивідуальні чинники небезпеки;
- ризик, як готовність до поведінки. Переважають випадки, які пов'язані з небезпекою та мають значний вплив на поведінку пішоходів;
- ризик, як наслідок поведінки. Суб'єктивно-негативний ефект індивідуальної поведінки в умовах ризику, наприклад, у вигляді втрат або матеріального збитку.

Дорожня поведінка пішоходів в умовах ризику, як відомо, дуже часто є недостатньо прогнозованою, оскільки пішоходи керуються прагненням до мети і до безпеки. Таким чином, можна припустити, що характер індивідуальної поведінки пішоходів, пов'язаний з ризиком, не ототожнюється мотивами мети та безпеки, а виражається стилем поведінки в умовах небезпечних ситуацій. При цьому, розрізняють адаптований і довільний стилі [3]. Перший стиль поведінки, в умовах ризику, пов'язаний з такими індивідуальними ознаками, як гнучкість сприйняття, чутливість і самостійність. Ця форма управління поведінкою прямо залежить від конкретних обставин ризику і об'єктивних показників вибору мотиву мети або безпеки. Поведінка у довільному стилі управляється суб'єктивними рішеннями, які в значній мірі впливають на ситуацію і особливості поведінки.

У зв'язку з цим, метою роботи є визначення чинників, які визначають час терпеливого очікування пішоходів під час перетину проїзної частини на заборонний сигнал світлофора та встановлення ступеня їх впливу.

Результати досліджень. Безпека руху на регульованих переходах залежить від дисциплінованості пішоходів. За тривалого очікування дозвольного сигналу імовірність скупчення групи пішоходів збільшується. Пішохід, опинившись у такій ситуації, спочатку сприймає навколишнє середовище таким, яким воно є, звикає до нього, а потім вже ставить перед собою певні цілі і формує інтереси. Наступним етапом прийняття рішення є те, що пішохід починає рухатися у потрібному напрямку, що спричиняє перехід проїзної частини з підвищеним ризиком на заборонний сигнал світлофора [1]. Критичний час очікування (час терпеливого очікування) залежить від ряду суб'єктивних чинників: фізичного і психофізіологічного стану пішохода, цільового призначення і терміновості його пересування, адаптації пішохода до умов руху, часу доби, року, інтенсивності транспортного потоку, дожини пішохідного переходу тощо. Число порушників збільшується зі зростанням тривалості заборонного сигналу світлофора і зменшенням інтенсивності транспортного потоку. У роботах [4–6] розрахункове значення часу терпеливого очікування пішоходів приймають близько 30 – 90 с. Саме у цьому проявляється певна наукова задача для диференціації умов. Які визначають цей показник, оскільки розмах його значення надзвичайно великий. Однак, необхідно зважати на те, що зміна тривалості очікування інколи може суттєво впливати як на пішохідні, так і транспортні затримки.

Якщо затримка пішоходів може бути визначена експериментально шляхом прямих вимірювань, то для кількісного вираження часу терпеливого очікування необхідно провести численні дослідження за процесом перетину пішоходами проїзної частини. Це дозволить диференціювати чинники, які безпосередньо, в тій або іншій мірі, впливають на визначення часу терпеливого очікування пішохода [7].

Виходячи з цього, проведено ряд досліджень, які дали змогу об'єктивно оцінити використання сигналів світлофора під час перетину пішоходами проїзної частини в умовах ризику, який залежить від двох чинників – інтенсивності транспортного потоку і дожини пішохідного переходу (рис. 1).

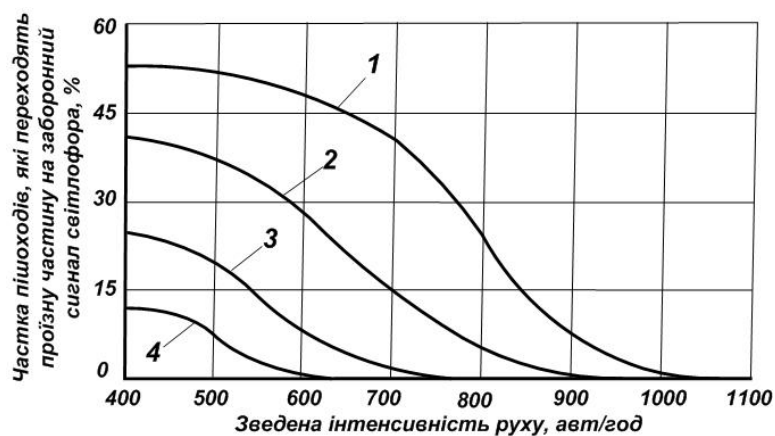


Рис. 1. Результати натурних досліджень поведінки пішоходів на регульованих переходах протягом дня:

1 – двосторонній рух, довжина пішохідного переходу $B_1 = 7,5 м$; 2 – односторонній рух, $B_2 = 11,25 м$; 3 – двосторонній рух, $B_3 = 15 м$; 4 – двосторонній рух, $B_4 = 22,5 м$.

Аналізуючи результати досліджень (рис. 1), можна помітити тенденцію зменшення порушень пішоходами переходу проїзної частини в умовах наростання ризику, тобто збільшення інтенсивності руху та довжини шляху, який їм необхідно подолати. Спостереження показали, що визначальним у прийнятті рішення поведінки пішоходів під час світлофорного регулювання є довжина пішохідного переходу та інтенсивність транспортного потоку, тобто розподіл інтервалів між автомобілями. У щільних транспортних потоках, пішоходи не приймають рішення перетнути проїжджу частину на заборонний сигнал світлофора. Проте, із збільшення кількості смуг руху, відбувається розпад груп автомобілів, їх швидкість зростає, оскільки інтервали між ними збільшуються, а транспортні засоби структуруються за складом руху по смугах, у результаті чого пішоходи не ризикують переходити проїзну частину на заборонний сигнал світлофора. За таких умов збільшується час терпеливого очікування пішоходів. Це пояснюється і тим, що із збільшенням довжини переходу $B_1 < B_2 < B_3 < B_4$ зменшується відсоток порушень правил дорожнього руху, а саме, перехід проїзної частини на заборонний сигнал світлофора. Тому, можна помітити пряму залежність між поведінкою пішоходів в умовах ризику та зміною інтенсивності руху на проїзній частині з різними геометричними параметрами.

Отже, за результатами такого дослідження можна визначити частку осіб, які практично за будь-яких умов переходять проїзну частину, незважаючи на сигнали світлофора. Це важлива інформація для обґрунтування облаштування різних обмежуючих пристроїв під час проектування пішохідних переходів в одному рівні. Проте, наступне дослідження показує, наскільки збільшення тривалості заборонного сигналу може «провокувати» пішоходів на перехід проїзної частини в умовах ризику, що є особливо важливим завданням під час удосконалення підходів щодо розрахунку режимів регулювання, втрат часу, зміни умов безпеки руху та керуванням пропускну здатністю на перехрестях і регульованих пішохідних переходах. Результати цих досліджень наведено на рис. 2.

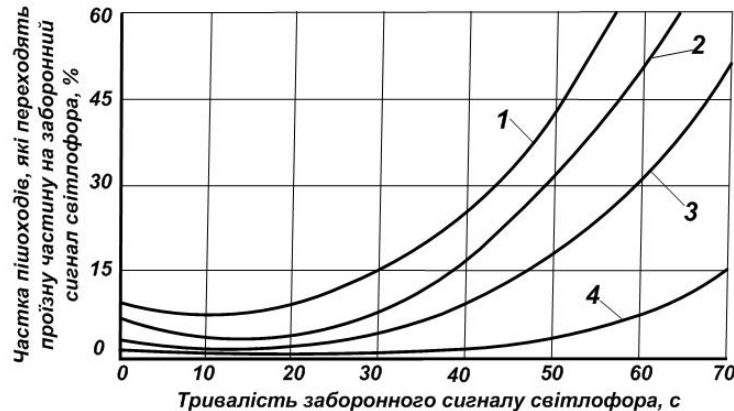


Рис. 2. Результати експериментального дослідження часу терпеливого очікування пішоходів на регульованому переході протягом дня:

1 – двосторонній рух, довжина пішохідного переходу $B_1 = 7,5 м$; 2 – односторонній рух, $B_2 = 11,25 м$; 3 – двосторонній рух, $B_3 = 15 м$; 4 – двосторонній рух, $B_4 = 22,5 м$.

Зміна частки пішоходів, які здійснювали перехід проїзної частини на заборонний сигнал світлофора аналізувався на об'єктах за різної його тривалості. Різка зміна характеру кривих знаходиться в межах: для кривої 1 – 21 – 25 с; 2 – 25 – 32 с; 3 – 36 – 43 с; 4 – 48 – 57 с, після чого помітно збільшується темп приросту кількості порушень руху пішоходів під час заборонного сигналу світлофора. За тривалості такого сигналу до 28 с пішоходи переважно очікують дозволу на перехід, проте, із збільшенням цієї тривалості починає різко зростати частка тих, які порушують правила переходу. У такому випадку перехід проїзної частини відбувається з підвищеним ризиком, що є передумовою виникнення дорожньо-транспортних подій. Тому

необхідне ввімкнення сигналу, який дозволяє перехід пішоходом проїзної частини не менше одного разу за хвилину.

Також, важливою умовою оптимальної організації пішохідного руху є облік психофізіологічних і фізичних можливостей людей та прогнозування поведінки пішоходів під час розроблення відповідних технічних рішень. До психофізіологічних чинників слід, перш за все, віднести природне прагнення людей заощаджувати зусилля і час, рухаючись за найкоротшим шляхом між зазначеними пунктами. При цьому, пішоходи мають різні можливості в пересуванні, початкову швидкість, найменшу інерційність і максимальну мобільність у виборі напрямку руху. Під час розроблення схем організації пішохідних потоків це положення вимагає ретельного обліку. Прогнозування поведінки пішоходів є невід'ємною ланкою випереджаючого відображення об'єктивного ходу подій у пішохідному русі. Доведено, що частота порушень вимог безпеки дорожнього руху пішоходами (перехід через проїзну частину на заборонний сигнал світлофора) в значній мірі залежить від провокуючої поведінки одного з пішоходів [7–8]. Тому необхідні дослідження для встановлення моделі поведінки пішоходів під час переходу через регульовані перехрестя. Це дасть можливість відтворення правдоподібної поведінки пішоходів під час їхнього моделювання, оскільки переміщуючись, пішоходи прагнуть досягнути точки призначення максимально швидко (трудова та навчальна цілі) або неспішно прогулюючись (культурно-побутові цілі).

Для відтворення реалістичної поведінки пішоходів, часто ґрунтуються на різних фізичних моделях, представляючи пішохідний потік, наприклад, як речовину, яка складається з різних молекул [9]:

- моделі магнітних сил. Пішоходів розглядають як заряди, які поміщають у магнітне поле. При цьому, пішоходи та перешкоди мають позитивний заряд, а мета руху – негативний. Переваги даної моделі визначаються тим, що розрахунки ведуться на основі аналітичних формул, виконується швидкий розрахунок, а сама модель досить проста. До недоліків можна віднести труднощі визначення індивідуальних характеристик пішоходів, пов'язаних з їх уподобаннями, особливо в умовах надзвичайних ситуацій або паніки.
- моделі, в яких використовується теорія черг. Тобто, під час розгляду руху пішоходів необхідно залучати імовірнісні функції. Можна ввести імовірність прибуття пішоходів в певне місце, де вони очікують деякий час і пізніше рухаються далі. Черги можуть об'єднуватися в мережу, яка містить декілька вузлів, переміщення від вузла до вузла змінюється імовірністю їхнього вибору і здійснюється оцінка кількості пішоходів в обраний момент часу.
- моделі, в яких рух пішоходів розглядається з використанням теорії клітинних автоматів. Простір представляють у вигляді сітки. Пішохід може розміститися лише в одній клітинці. Процес руху пішоходів моделюють як перехід їх між клітинами на основі певних правил.
- модель на основі газо-кінетичного підходу. Ця модель дозволяє розглядати поведінку пішоходів таким же чином, як рухаються молекули у газі. Не можна знати, яка точна швидкість пішохода і яке його положення, тому користуються статистичним розподілом часток. При цьому, під час зустрічі з перешкодами, поведінка пішоходів і молекул буде схожою.
- модель соціальних сил, ґрунтується на ньютонівській механіці для того, щоб описувати рух пішоходів, оскільки, в класичній механіці сили є причиною руху. У розглянутій моделі сили виникають внаслідок соціальних взаємодій.

Під час вибору моделі, необхідно визначити ряд параметрів [10]:

- вибір мікроскопічної або макроскопічної моделі. У мікроскопічній моделі можна виділити кілька пішоходів, визначити їх характеристики, простежити їх маршрут. У макроскопічній – потік розглядається цілком без виділення окремих пішоходів.
- дискретна або безперервна модель.
- детермінована або стохастична модель. Для детермінованих моделей ми маємо інформацію про всі параметри руху пішоходів. В стохастичних – пішоходи можуть різним чином поводитися в одних і тих же ситуаціях.
- модель, яка ґрунтується на правилах або на силах. У першому випадку рішення приймається на основі даних про поточну ситуацію і мету пішохода. У другому випадку рішення з боку пішохода створюється на основі тієї інформації, яку він отримує із

зовнішнього середовища, і чим більший зовнішній вплив, тим більше мірою від нього залежить рішення.

На рисунку 1 зображено структурну схему чинників поведінки пішоходів, які безпосередньо впливають на модель їх терпеливого очікування під час перетину проїзної частини в умовах світлофорного регулювання.

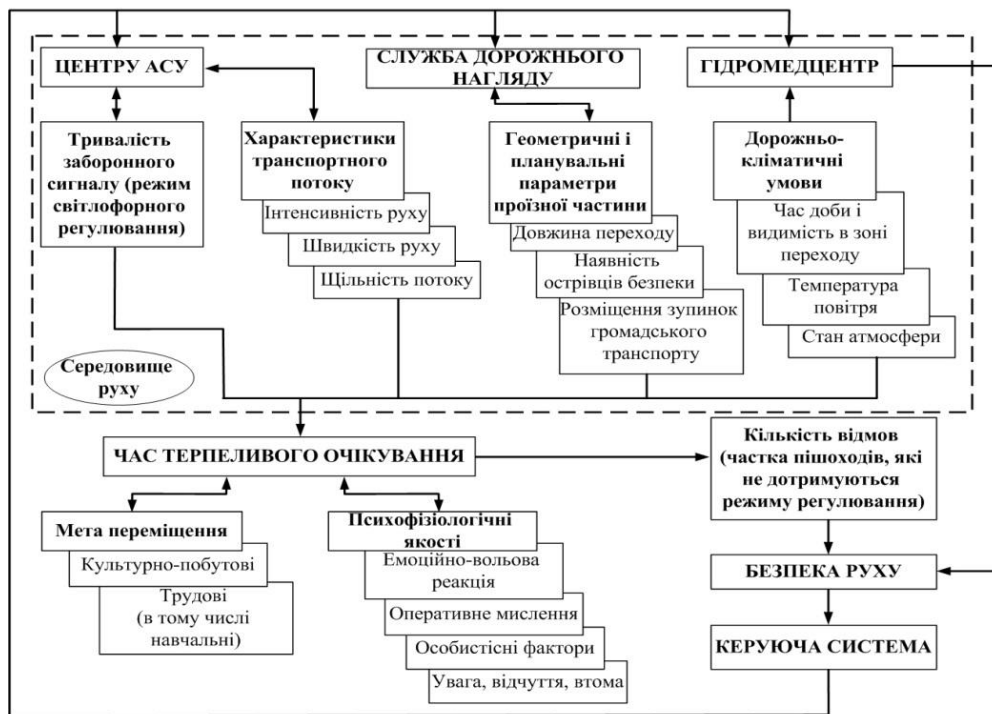


Рис. 3. Структурна схема системи поведінки пішоходів на регульованому переході

Основний зміст наведеної схеми полягає у тому, що час терпеливого очікування пішохода залежить від середовища руху, мети переміщення та психофізіологічних якостей. Основними елементами підсистеми «середовище руху» є центр автоматизованої системи управління дорожнім рухом (АСУДР), служба дорожнього нагляду та гідромедцентр.

Перехрестя обладнується системами збору інформації (СЗІ), що включають в себе транспортні детектори і телевізійні камери. СЗІ реєструють характеристики транспортних потоків (інтенсивність, швидкість, щільність, затримки на перехрестях, довжину черги перед світлофором тощо), режим світлофорного регулювання. Служба дорожнього нагляду фіксує геометричні і планувальні параметри проїзної частини (довжину переходу, наявність острівців безпеки, розміщення зупинок громадського транспорту тощо), гідромедцентр – дорожньо-кліматичні умови (час доби, видимість в зоні переходу, температуру повітря, стан атмосфери тощо)[11].

Отримана інформація каналами зв'язку передається в центральний керуючо-обчислюваний комплекс (ЦКОК), де відбувається її аналіз і вибір програми світлофорного регулювання для кожного перехрестя із умови мінімізації часу терпеливого очікування пішоходів і зменшення сумарної транспортної затримки перед стоп-лініями. На основі розрахунку ЦКОК вибирається відповідна модель, яка лініями зв'язку передається у виконуючі пристрої (контролери), що змінюють режим регулювання світлофора.

Висновки. Якщо інтенсивність транспортного потоку не дозволяє змінити режим роботи світлофорної сигналізації на користь пішоходів, то необхідно розробити імітаційну модель, яка дозволяє моделювати транспортні і пішохідні потоки на регульованому перехресті таким чином, щоб задовольнити потреби у безпечному переміщенні пішоходів та мінімізації затримки транспортних потоків у системах регулювання.

Отже, раціональна організація руху пішоходів є одним із визначальних чинників підвищення пропускної здатності вулиць і доріг та забезпечення більш дисциплінованої поведінки людей в середовищі руху.

Література

1. Гаваев А. С. Анализ поведения пешеходов при пересечении проезжей части/ А. С. Гаваев, А. А. Гаваева // Организация и безопасность дорожного движения : материалы VII Всероссийской научно практической конференции, 4 апреля 2014 г. – Тюмень : тюмгнгу, 2014 – С. 62 – 65.
2. Клебельсберг Д., Транспортная психология: Пер. с нем./Под ред. / В. Б. Мазуркевича. – М.: Транспорт, 1989 – 367 с.
3. Sisiopiku, V.P., Akin, D. (2003), Pedestrian behaviour and perception towards various pedestrian facilities: an examination based on observation and survey data, Transportation Research Part F, No. F6, p. 249-274.
4. Клинковштейн Г. И. Организация дорожного движения: Учеб. Для вузов.– 5-е изд., перераб. И доп. / Г. И Клинковштейн., М. Б. Афанасьев– М: Транспорт, 2001 – 247 с.
5. Лобанов Е. М. Транспортная планировка городов / Е. М. Лобанов. – М. : Транспорт, 1990. – 240 с.
6. Teply S. Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections. Third Edition / S. Teply, D.I. Allingham, D.V. Richardson, B.W. Stephenson. – Toronto: Institute of Transportation Engineers, District 7, 2008. – 230 p.
7. Буга П.Г. Организация пешеходного движения в городах: учеб. Пособие для вузов / П.Г. Буга, Ю.Д. Шелков. – М.: Высш. Школа, 1980. – 232 с. Клинковштейн Г. И. Организация дорожного движения: Учеб. Для вузов.– 5-е изд., перераб. И доп. / Г. И Клинковштейн., М. Б. Афанасьев– М: Транспорт, 2001 – 247 с.
8. Akcelik R. Queuedischarge flow and speed models for signalized intersection / R. Akcelik, M. Besley // Proceedings of 15th International Symposium on transportation and traffic flow theory. – Adelaide, 2002. – P. 1-20.
9. Беспалов Д. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bespalov.me/2012/06/07/modelirovanie-peshehodnih-potokov>
10. Єрмак О. М. Дослідження взаємодії транспортних та пішохідних потоків / О. М. Єрмак// Комунальне господарство міст: Науково-технічний збірник. – 2013. – Вип. 110. – С. 249 – 253.
11. Chen, J.; Shi, J.J.; Li, X.L.; and Zhao, Q. (2011). Pedestrian behaviour and traffic violation at signalized intersections. Proceedings of American Society of Civil Engineers (ASCE), the 11th International Conference of Chinese Transportation Professionals (ICCTP), Nanjing China, p.

Стаття надійшла до редакції 14.04.2016