

## ВИЗНАЧЕННЯ СПІВВІДНОШЕННЯ МІЖ ІНТЕНСИВНІСТЮ ТРАНСПОРТНИХ І ПІШОХІДНИХ ПОТОКІВ ДЛЯ ВЛАШТУВАННЯ НЕРЕГУЛЬОВАНИХ ПІШОХІДНИХ ПЕРЕХОДІВ

© Гілевич В. В., Могила І. А., Міхоцький О. С., 2016

Виявлено взаємний вплив між транспортними і пішохідними потоками на нерегульованих переходах. У середовищі VISSIM створено модель нерегульованого пішохідного переходу. Встановлено, що інтенсивність транспортного та пішохідного потоків впливають на транспортні затримки. Запропоновано рекомендації щодо співвідношення між транспортними і пішохідними потоками для влаштування нерегульованих та регульованих переходів.

Ключові слова: нерегульований пішохідний перехід, затримка транспортних засобів, імітаційна модель.

**Mutual effect of traffic and pedestrian flows at the non-signalized pedestrian crossings is shown. The model of non-signalized pedestrian crossing is created in VISSIM. There is found out that the volume of traffic and pedestrian flows influences on traffic delays. Recommendation for installation of non-signalized and signalized pedestrian crossing based on correlation between volume of traffic and pedestrian flows are proposed.**

**Key words: non-signalized pedestrian crossing, vehicle delay, simulation model.**

**Формулювання проблеми.** Пішохід та автомобіль – рухомі елементи складної структури міста. Конфлікт між ними виникає за одночасної потреби використання однієї і тієї самої території. Для пішохода потрібна територія, яка відповідає вимогам безпеки, комфорту, економії часу та сил. Обмеження свободи перетину проїзної частини значно збільшує шлях руху пішохода. Ідеальним варіантом для нього є вільний вибір траєкторії руху від одного об'єкта до іншого, а не прив'язаність до маршруту, який визначений тротуаром чи спеціально виділеними пішохідними переходами. Пішохід хоче рухатись спонтанно, довільно вибираючи швидкість і напрямок руху. Для транспортного засобу (ТЗ) також потрібна територія, яка відповідатиме вимогам високої пропускної здатності, безперервного руху, паркування. Необхідність вирішення цього конфлікту зробило пішохідний рух містобудівною і транспортною проблемою [1].

Використання однієї і тієї самої території пішоходами і ТЗ (зокрема, на пішохідних переходах) приводить до їх взаємодії один з одним. Крім підвищення ступеня небезпеки руху у вигляді затримок пішохідів і ТЗ, цей вплив виражається у зменшенні ефективної ширини проїзної частини. Якщо не розглядати території, які призначені виключно для пішохідного руху (наприклад, пішохідні зони) або тільки для руху ТЗ (наприклад, швидкісні дороги), тоді якісний бік конфлікту “пішохід-транспорт” потрібно оцінювати з урахуванням характеру спільного використання території.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Відомо, що на ділянках доріг, які проходять через населені пункти, відбувається більша частина від загальної кількості дорожньо-транспортних подій (ДТП). Крім того, в населених пунктах вони мають важчі наслідки, ніж на замських ділянках, і часто жертвами тут стають пішоходи [2]. Серед ДТП на дорогах наїзди на пішохідів становлять більше 50 % від їх загальної кількості. При цьому понад 60 % наїздів на пішохідів виникають при перетині ними проїзної частини [2]. За даними, наведеними у [3], ДТП з пішоходами виникають: на перехрестях – 25 %; між перехрестями – 50 %; у зонах зупинок

громадського транспорту – 10 % і в зонах наземних переходів – 15 %. З цього можна зробити висновок, що в населених пунктах найбільшу кількість ДТП з пішоходами (близько 75 %) припадає на ділянки доріг між перехрестями. Ця аварійність пояснюється особливостями поведінки людей, що перетинають дорогу за нерегульованого руху на ній [4].

Очевидно, що швидкості переміщення людей різного віку за однакового темпу руху різні. Зв'язок між віком людини і швидкістю її руху за різних темпів пересування вивчався і використовується для виконання завдань експертизи під час розслідування ДТП [5, 6]. В [4] досліджувався також вплив інтенсивності руху транспортного потоку на швидкість пішоходів під час перетину ними двосмугової проїзної частини (рис. 1). Бачимо, що швидкість руху на пішохідних переходах зростає із збільшенням інтенсивності руху транспорту.

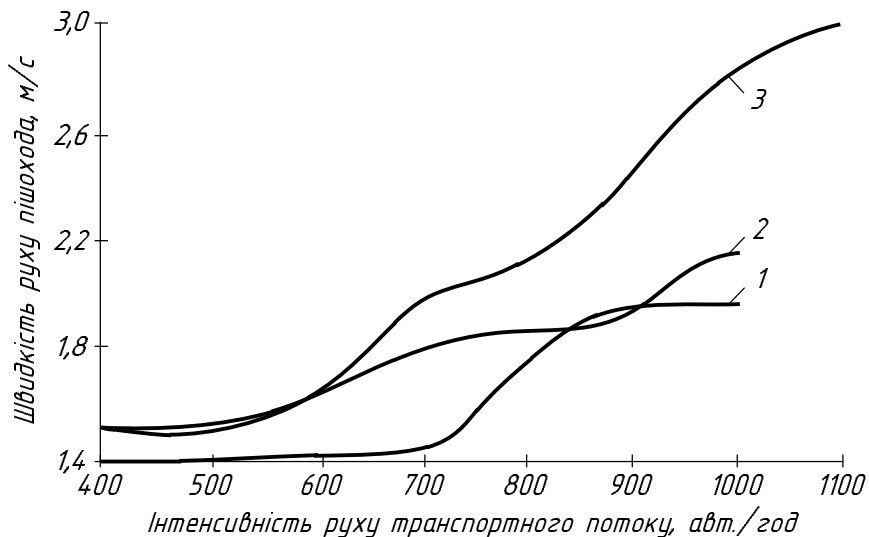


Рис. 1. Вплив інтенсивності руху ТП на швидкість пішохода:  
 1 – двосторонній рух, ширина проїзної частини 9 м;  
 2 – односторонній рух, ширина проїзної частини 9 м;  
 3 – двосторонній рух, ширина проїзної частини 14 м за наявності острівця безпеки

Своєю чергою, пішоходи, які перетинають проїзну частину на нерегульованих переходах, створюють істотний вплив на транспортний потік, що виявляється у зниженні швидкості руху та зростанні затримок транспортних засобів (рис. 2) [1].

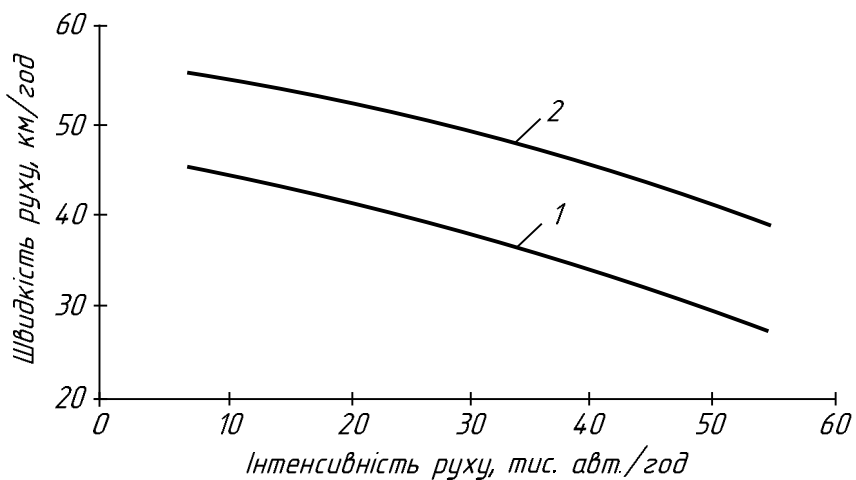


Рис. 2. Залежність швидкості транспортного потоку від його інтенсивності у зоні пішохідного переходу з інтенсивністю пішохідного руху 20 тис. піш./добу:  
 1 – за наявності пішоходів на переході; 2 – за відсутності пішоходів на переході

Наземний пішохідний перехід має зону впливу на транспортний потік завдовжки приблизно 50 м у кожен бік від переходу (рис. 3). У межах цієї зони відбувається зниження середньої швидкості руху автомобілів (мінімальне значення швидкості спостерігається на відстані 5 м від меж пішохідного переходу) та збільшення її до початкового значення [1].

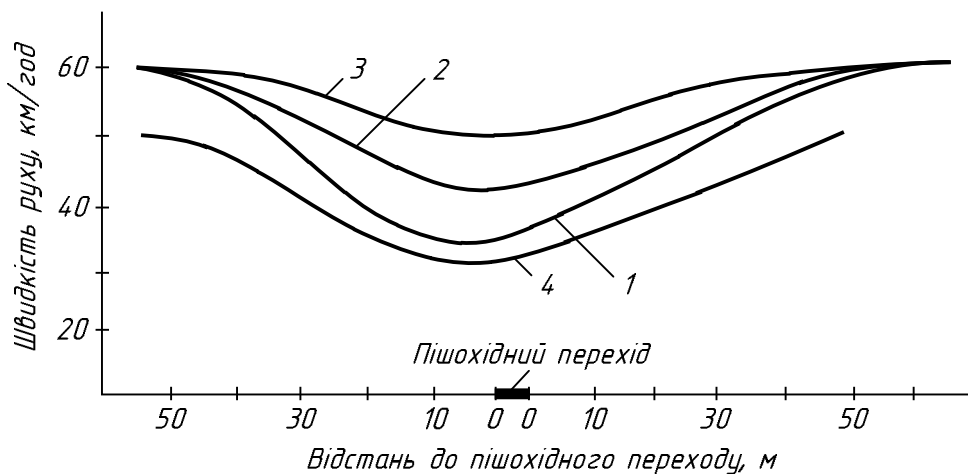


Рис. 3. Залежність швидкості руху ТЗ від відстані до пішохідного переходу з інтенсивністю руху більше як 400 піш./год: 1, 2, 3 – для потоку легкових автомобілів, відповідно для доріг з двома, трьома та чотирма смугами; 4 – для змішаного транспортного потоку на дорогах із двома смугами

Межі ділянки впливу пішохідного переходу і величина зниження швидкості ТЗ залежать від багатьох чинників. Найбільший вплив мають інтенсивність руху транспортних та пішохідних потоків, умови видимості пішохідного переходу та культура учасників дорожнього руху. За значеннями перепаду швидкості можна визначити затримку ТЗ на нерегульованих пішохідних переходах, розміщених поза перехрестями.

Запропоновані різними дослідниками залежності мають частковий характер, оскільки відображають умови, в яких проводились експериментальні спостереження. Найчастіше для визначення сумарних затримок ТЗ використовують рівняння [1]:

$$Z = 0,00147 \frac{N_{\Pi} N_T}{u^2},$$

де  $Z$  – сумарна затримка ТЗ, год;  $N_{\Pi}$  та  $N_T$  – інтенсивність, відповідно, пішохідного (піш./год) і транспортного (авто/год) потоків;  $u$  – швидкість руху ТЗ, км/год.

Очевидно, що зростання інтенсивності пішохідного потоку призводитиме до збільшення затримок транспортних засобів та збільшення зони впливу пішохідного переходу на транспортний потік. Своєю чергою, зростання інтенсивності транспортних потоків призводитиме до ускладнення руху пішоходів, збільшення імовірності виникнення ДТП. Тобто за зростання інтенсивності транспортних та пішохідних потоків виникає потреба влаштування регульованих пішохідних переходів.

Згідно з ДСТУ 4092-2002 “Світлофори дорожні”, потреба влаштування регульованого пішохідного переходу визначається інтенсивністю транспортних та пішохідних потоків без врахування кількості смуг руху на вулиці [7]. У [8] показано графік для визначення потреби влаштування світлофорного регулювання з викликом пішохідної фази для переходів з острівцем безпеки або без нього (рис. 4). При цьому визначальними є лише інтенсивність транспортних та пішохідних потоків.

В [1] показано графік області застосування нерегульованих пішохідних переходів (рис. 5) на вулицях з різною кількістю смуг руху. Бачимо, що із збільшенням кількості смуг руху, інтенсивності транспортних та пішохідних потоків, за яких допускається нерегульований перехід, знижуються.

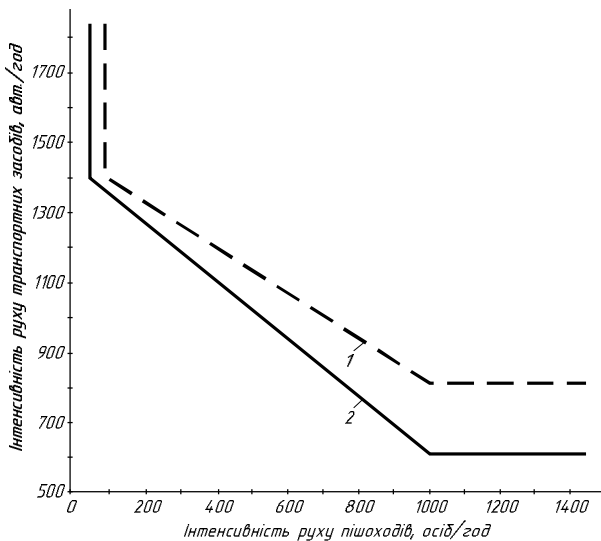


Рис. 4. Графік для визначення потреби влаштування світлофорного регулювання з викликом пішохідної фази для переходів з острівцем безпеки (1) чи без нього (2)

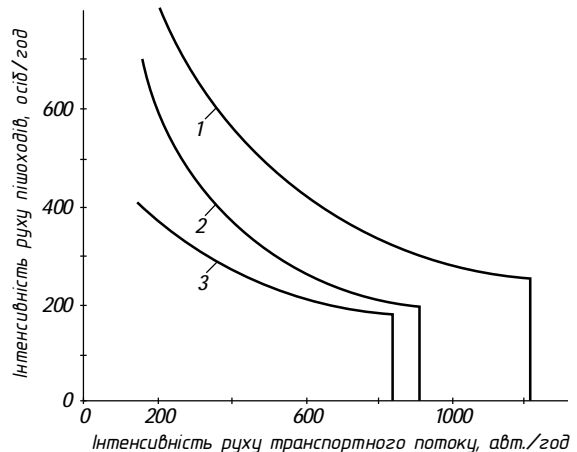


Рис. 5. Граничні межі облаштування нерегульованих пішохідних переходів на дорогах з однією (1), двома (2) та трьома (3) смугами

В основі досліджень в [1], як і в дослідженні [4], було припущення, що для переходу пішоходи очікують прийнятної для себе інтервалу у транспортному потоці. Однак, згідно з Правилами дорожнього руху [9], пішохід має перевагу під час переходу проїзної частини на нерегульованих пішохідних переходах. Тобто затримки виникатимуть у транспортних, а не у пішохідних потоках. Тому дослідження роботи нерегульованого пішохідного переходу на перегоні вулиці для визначення закономірностей зміни затримок транспортних засобів є актуальним.

**Формулювання мети дослідження.** Метою дослідження є підвищення ефективності функціонування пішохідних переходів на перегонах вулиць за допомогою встановлення співвідношення між інтенсивністю транспортних і пішохідних потоків для влаштування нерегульованих пішохідних переходів залежно від довжини переходу (кількості смуг руху) за критерієм затримки транспортних засобів, оскільки саме пішоходи мають перевагу у русі на таких переходах.

**Виклад основного матеріалу.** Для дослідження роботи нерегульованих пішохідних переходів використано програмний продукт VISSIM, призначений для мікроскопічного моделювання руху ТЗ і пішоходів [10]. Результатом імітації у програмному середовищі VISSIM є анімація руху ТЗ і пішоходів та подальше визначення різних параметрів, таких як розподіл тривалості руху та часу очікування, довжини черг, характеристики окремих автомобілів тощо.

З використанням цього програмного продукту була створена модель нерегульованого пішохідного переходу: побудовано відрізок вулиці завдовжки 365 м, на відстані 300 м від початку відрізка запроєктовано пішохідний перехід завширшки 4 м (рис. 6). На переході, відповідно до Правил дорожнього руху, перевагу мають пішоходи. Для спрощення моделі рух транспортних засобів та пішоходів є одностороннім.

Моделювання роботи нерегульованого пішохідного переходу проведено за зміни інтенсивності транспортного потоку (250, 500, 750, 1000, 1500, 2000 авт./год), інтенсивності пішохідного потоку (50, 100, 200, 300, 500, 750, 1000 піш/год) та кількості смуг руху транспорту (2, 3, 4). Середня швидкість транспортного потоку (за відсутності пішоходів на переході) становить 50 км/год. Результатом моделювання є середні значення затримок ТЗ (табл. 1–3). Графічно ці результати показано на рис. 7 (затримки тривалістю більше 50 с на графіках не показані).

За незначної інтенсивності пішохідного руху (до 350 піш/год) значення затримок ТЗ фактично однакові (до 5 с), оскільки між пішоходами утворюються достатні інтервали, що дає змогу автомобілям рухатись без зупинок. Із збільшенням інтенсивності пішохідного руху ці інтервали стають меншими, що призводить до стрімкого зростання затримок ТЗ, незважаючи на кількість смуг руху на вулиці.

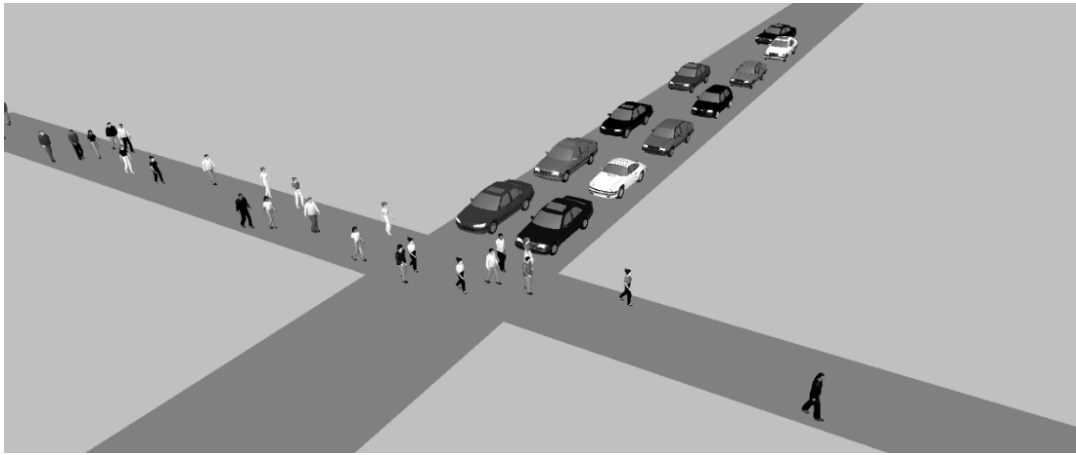


Рис. 6. Зображення імітаційної моделі нерегульованого пішохідного переходу у середовищі VISSIM

Таблиця 1

**Середнє значення затримок ТЗ (у с) перед нерегульованим пішохідним переходом за двох смуг для руху транспорту**

Інтенсивність пішохідного потоку, піш./год	Інтенсивність транспортного потоку, авт./год					
	250	500	750	1000	1500	2000
50	0,26	0,26	0,36	0,48	0,64	1,16
100	0,52	0,64	0,78	0,92	1,50	2,30
200	1,24	1,46	1,86	2,32	3,90	6,70
300	1,70	2,16	2,88	3,88	7,80	19,14
500	3,92	5,38	8,12	11,56	49,22	94,90
750	7,44	11,30	23,34	81,54	170,90	177,64
1000	15,94	31,26	191,90	274,32	297,08	299,24

Таблиця 2

**Середнє значення затримок ТЗ (у с) перед нерегульованим пішохідним переходом за трьох смуг для руху транспорту**

Інтенсивність пішохідного потоку, піш./год	Інтенсивність транспортного потоку, авт./год					
	250	500	750	1000	1500	2000
50	0,22	0,24	0,26	0,30	0,38	0,56
100	0,54	0,52	0,58	0,64	0,92	1,16
200	1,22	1,22	1,40	1,56	2,20	2,98
300	1,70	1,80	2,10	2,40	3,96	5,46
500	3,82	4,20	5,16	6,38	11,32	25,16
750	6,56	7,80	10,78	17,38	77,20	167,4
1000	12,42	17,74	30,62	88,04	278,62	293,98

Таблиця 3

**Середнє значення затримок ТЗ (у с) перед нерегульованим пішохідним переходом за чотирьох смуг для руху транспорту**

Інтенсивність пішохідного потоку, піш./год	Інтенсивність транспортного потоку, авт./год					
	250	500	750	1000	1500	2000
50	0,24	0,22	0,22	0,28	0,32	0,42
100	0,46	0,54	0,52	0,52	0,68	0,88
200	1,22	1,16	1,20	1,32	1,68	2,06
300	1,58	1,70	1,80	2,00	2,64	3,44
500	3,52	3,94	4,04	4,70	6,56	10,24
750	6,34	6,84	8,02	10,08	19,44	70,66
1000	11,30	13,94	18,66	29,38	169,46	280,66

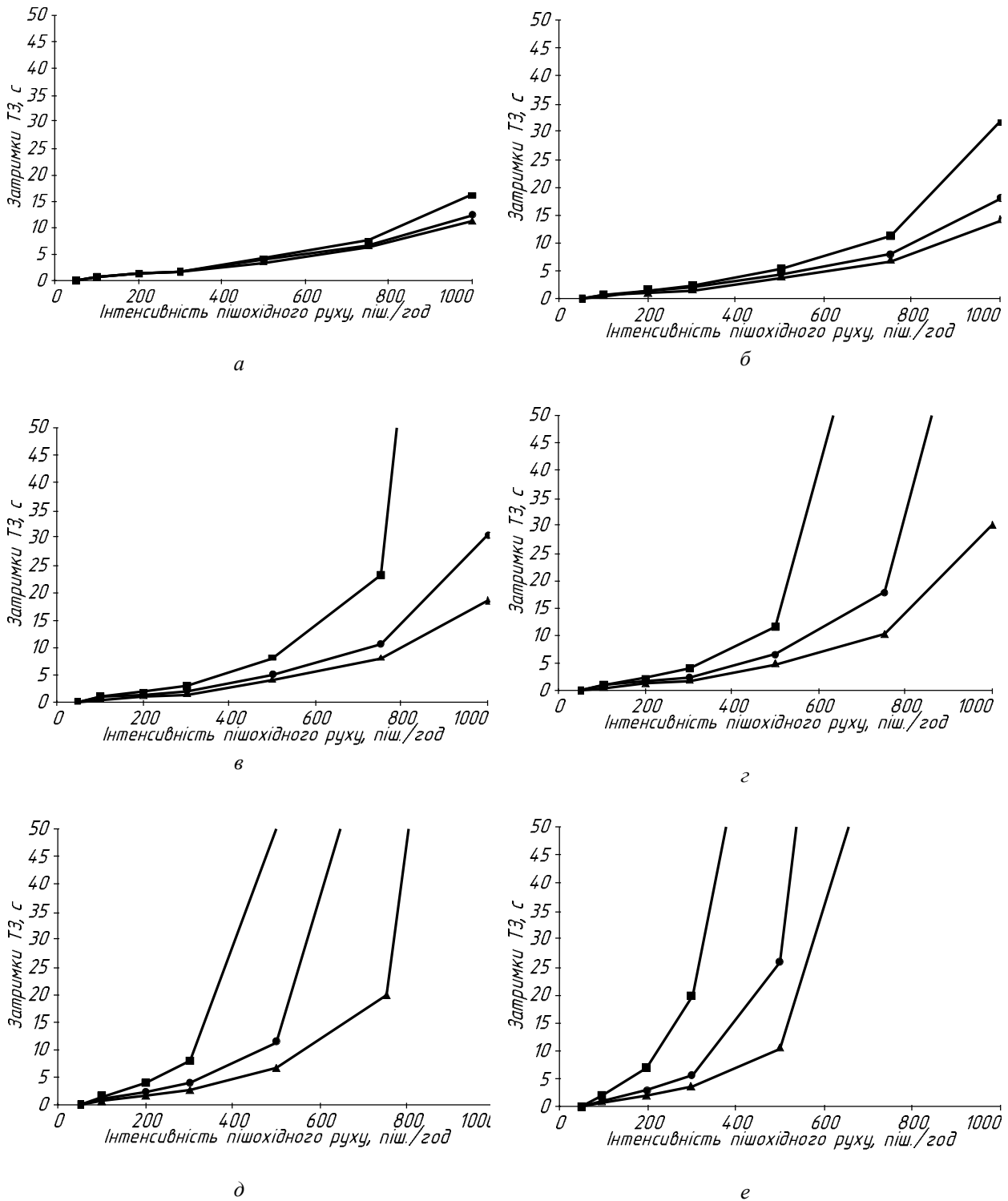


Рис. 7. Залежності затримки T3 від інтенсивності пішохідного руху за інтенсивності транспорту:  
 а – 250 авт./год; б – 500 авт./год; в – 750 авт./год; г – 1000 авт./год; д – 1500 авт./год; е – 2000 авт./год  
 (■ – дві смуги для руху T3; ● – три смуги для руху T3; ▲ – чотири смуги для руху T3)

За припущення, що середній час терплячого очікування водіїв перед нерегульованим пішохідним переходом становить 15 с, за результатами досліджень можна побудувати графік співвідношення між інтенсивністю транспортних та пішохідних потоків для влаштування нерегульованих пішохідних переходів (рис. 8). З графіка бачимо, що за інтенсивності транспортних та пішохідних потоків, які розташовуються під лініями, доцільним є влаштування нерегульованих переходів. Введення світлофорного регулювання на пішохідному переході за критерієм затримки

транспортних засобів доцільне у разі, якщо за інтенсивності транспортних та пішохідних потоків є над цими лініями.

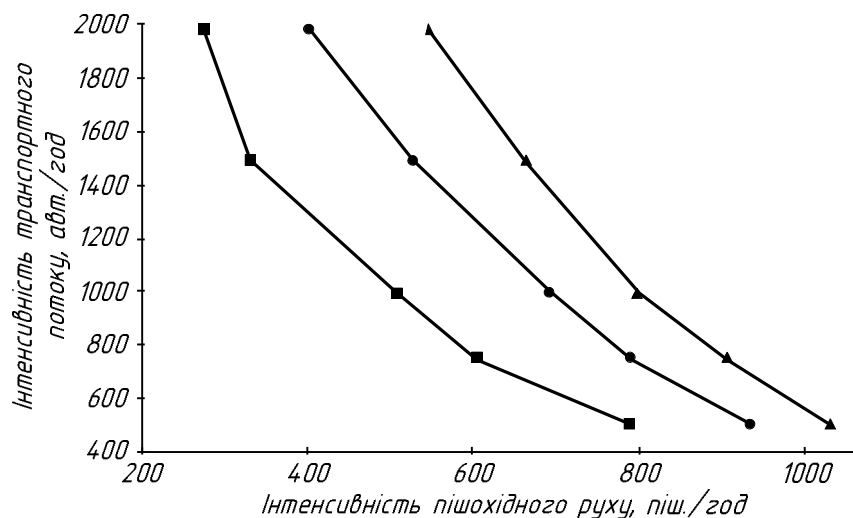


Рис. 8. Граничні межі облаштування нерегульованих пішохідних переходів за умови середньої затримки ТЗ не більше 15 с (■ – дві смуги для руху ТЗ; ● – три смуги для руху ТЗ; ▲ – чотири смуги для руху ТЗ)

Варто відзначити, що інтенсивність транспортних та пішохідних потоків, за яких доцільно вводити світлофорне регулювання, для вулиці з двома смугами руху є меншим, ніж для вулиці з чотирма смугами. Це істотно відрізняється від рекомендацій, наведених на рис. 5, і пов'язано це з тим, що на вулиці з більшою кількістю смуг руху транспортні засоби розподіляються по ширині вулиці, внаслідок чого зменшуються черги перед переходом і, відповідно, середні затримки.

**Висновки.** За результатами дослідження роботи нерегульованих пішохідних переходів встановлено закономірності зміни затримок транспортних засобів за умови, що перевагу в русі має пішохід. Це дало змогу визначити співвідношення між інтенсивністю транспортних і пішохідних потоків для влаштування нерегульованих пішохідних переходів за критерієм затримки транспортних засобів.

1. Буга П. Г. *Организация пешеходного движения в городах: учеб. пособ. для вузов* / П. Г. Буга, Ю. Д. Шелков. – М.: Высш. шк., 1980. – 232 с. 2. Бабков М. В. *Дорожные условия и безопасность движения: учеб. для вузов* / М. В. Бабков. – М.: Транспорт, 1993. – 290 с. 3. Ставничий Ю. А. *Городские улицы и безопасность движения* / Ю. А. Ставничий // *Автомобильный транспорт*. – М., 1971. – № 9. – С. 40–42. 4. Кисляков В. М. *Математическое моделирование и оценка условий движения автомобилей и пешеходов* / В. М. Кисляков, В. В. Филиппов, И. А. Школяренко. – М.: Транспорт, 1979. – 200 с. 5. Алексеев Н. С. *Автотранспортные происшествия и их расследование* / Н. С. Алексеев. – М.: Госюриздат, 1962. – 315 с. 6. Иванова Л. А. *Дорожно-транспортная и трасологическая экспертиза при расследовании автодорожных происшествий* / Л. А. Иванова. – Саратов: Издательство Саратовского университета, 1968. – 228 с. 7. *Світлофори дорожні. Загальні технічні вимоги, правила застосування та вимоги безпеки: ДСТУ 4092-2002*. – [чинний від 2003-01-01]. – К.: Держстандарт України, 2002. – 27 с. – (Державний стандарт України). 8. *Руководство по регулированию дорожного движения в городах*. – М.: Стройиздат, 1974. – 97 с. 9. Фоменко О. Я. *Правила дорожного руху України: автошкола (коментар у малюнках)* / О. Я. Фоменко, Б. Л. Раціборинський, В. Є. Гусар. – К.: Укрспецвидав, 2016. – 112 с. 10. *VISSIM 5.10. Руководство пользователя [Електронний ресурс]*. – СПб.: А+СКонсалт, 2009. – 542 с.