

Василенко Т.Є., к.е.н., Фесенко Д.В., Гулак Д.В.

АДІ ДВНЗ «ДонНТУ», м. Горлівка

## ОЦІНКА ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ЗУПИННОГО ПУНКТУ

*Зроблено оцінку пропускної здатності зупинного пункту на підставі уточнення показників, таких, як час знаходження на зупинному пункті та час його звільнення, які визначені за допомогою регресійного аналізу.*

### **Вступ**

Рівень пропускної спроможності зупинних пунктів [ЗП] закладався при формуванні вулично-дорожньої мережі міст і на даний час не відповідає збільшеній інтенсивності руху транспортних засобів, в тому числі маршрутного пасажирського транспорту, в результаті чого перед зупинними пунктами утворюються черги з автобусів, які очікують на обслуговування, тим самим створюючи перешкоди для руху іншого транспорту. Тому оцінка реальної пропускної здатності зупинного пункту з метою її підвищення є актуальним завданням.

### **Аналіз останніх публікацій**

Аналіз існуючих літературних джерел, пов'язаних з оцінкою пропускної здатності, був поданий у статті авторів Василенко Т.Є., Фесенка Д.В., Гулака Д.В. [1]. На його основі були запропоновані теоретичні аспекти оцінки пропускної здатності зупинного пункту, а саме — оцінювати пропускну здатність зупинного пункту за формулою:

$$П = \frac{3600}{T_{\text{знах}} + T_{\text{зв}}}, \quad (1)$$

де  $T_{\text{знах}}$  — час знаходження автобуса на зупинному пункті;

$T_{\text{зв}}$  — час звільнення автобусом зупинного пункту.

Для того щоб знайти  $T_{\text{знах}}$  та  $T_{\text{зв}}$ , необхідно було розробити план проведення експерименту, зібрати вихідні дані, провести їх обробку та оцінити пропускну здатність зупинного пункту.

У зв'язку з цим *метою статті* є оцінка пропускної здатності зупинного пункту.

### **Основний матеріал**

Для вирішення поставленої мети необхідно: розробити план проведення експериментального дослідження, провести експеримент та обробити отримані результати.

Об'єктом експериментального дослідження є обслуговування автобусів зупинним пунктом.

Предмет дослідження — пропускну здатність зупинного пункту міського пасажирського транспорту.

Передбачається спостерігати пропускну здатність зупинного пункту з фіксуванням: інтенсивності руху на крайній правій смузі, часу знаходження на зупинному пункті, величини пасажирообміну, часу посадки та висадки пасажирів, моменту прибуття, початку руху та вливання в загальний потік.

Для збору вищезазначених параметрів необхідно розробити спеціальний бланк. Сутність розробки бланка для збору первинних даних спостереження полягає у систематизації і наочному поданні текстової та цифрової інформації, отриманої внаслідок збору даних, у вигляді таблиць. У нашому випадку бланк збору первинних даних буде мати вигляд прос-

тої таблиці, яка не містить групувань і складається з переліку одиниць рухомого складу маршрутів, які проходять через зупинні пункти, які обстежуються.

Експериментальні дослідження проводили за вищерозглянутим планом. Для проведення експериментальних досліджень спостерігач знаходився на зупинному пункті і фіксував значення необхідних параметрів у заздалегідь підготовлений бланк спостереження.

Експериментальні дослідження проводилися на ділянках маршрутної мережі м. Горлівки протягом двох тижнів. Були обрані два зупинних пункти, які найбільш підходили для збору даних. Це зупинний пункт «Площа Леніна», який знаходиться на проспекті Перемоги та зупинний пункт «Амстор», що на проспекті Леніна. Годинами спостереження були обрані години пік — з 8:00 до 10:00.

Під час проведення спостереження використовувався процес вимірювання, який полягає в знаходженні величини за допомогою технічних засобів, що вимірюють вихідні параметри і зазвичай контролюються. При фіксуванні даних виміри в нашому випадку мають спільний прямий характер. У прямих вимірюваннях величини визначаються в результаті безпосереднього відліку показників приладу.

Спостерігач, знаходячись на зупинному пункті, фіксував маршрут, марку автобуса, момент прибуття автобуса до ЗП, кількість пасажирів, що вийшли та увійшли до автобуса, час знаходження автобуса на ЗП, час вливання в загальний потік та інтенсивність руху на крайній правій смузі.

За допомогою годинника фіксувався час прибуття автобусів на ЗП. Час знаходження на ЗП та час вливання в загальний потік визначався за допомогою секундоміра. Кількість пасажирів, що виходять з автобуса та заходять до нього, рахувалась, а також визначалась інтенсивність руху на крайній правій смузі.

Після проведення спостереження на підставі отриманих даних обчислили необхідний обсяг вибірки, яка із встановленою ймовірністю забезпечила потрібну точність результатів спостереження.

Розрахунок обсягу вибірки необхідної кількості автобусів, що обслуговуються на зупинному пункті, виконується наступним чином:

$$n = \frac{t^2 \cdot \sigma^2}{\Delta^2} = \frac{2^2 \cdot 262,75}{5^2} = 42 \text{ од}, \quad (2)$$

де  $t$  — коефіцієнт довіри, величина якого залежить від рівня ймовірності  $P$  (приймаємо  $t = 2$  за рівнем довірчої ймовірності  $P = 0,95$ );

$\sigma^2$  — проста вибіркова дисперсія, яка становить середню арифметичну з квадратів відхилень індивідуальних значень часу знаходження автобусів на ЗП  $x_i$  від їх середнього значення  $\bar{x}$ :

$$\sigma^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n} = \frac{66476,53}{253} = 262,75, \quad (3)$$

де  $n$  — кількість значень;

$\Delta$  — гранична помилка репрезентативності; приймаємо  $5\%$  [2].

Таким чином, зареєстрованих під час спостереження 253 одиниць рухомого складу достатньо для точної оцінки параметрів генеральної сукупності, оскільки необхідна кількість спостережень склала 42 одиниці за рівнем довірчої ймовірності  $P = 0,95$ .

Оскільки під час спостереження було фіксовано час прибуття автобусів різних маршрутів на зупинний пункт, то різниця між часом їх прибуття являє собою інтервали між автобусами. Час очікування в черзі на обслуговування фіксувався в тому випадку, коли зупинний пункт був зайнятий іншим автобусом. Він фіксувався з миті зупинки автобуса в черзі до початку обслуговування.

На підставі отриманої кількості даних будуть проводитись подальші розрахунки. Для проведення кореляційно-регресійного аналізу важливо встановити адекватну кореляційну

залежність, яка має місце, якщо зміна середнього значення фактора спричиняє зміну середнього значення іншого фактора. У зв'язку з цим важливо визначитися з результативним фактором і факторними ознаками, що впливають на результативний фактор:

$Y$  — час знаходження автобуса на зупинному пункті, *с.*;

$X1$  — пасажирообмін зупинного пункту, *чол.*;

$X2$  — кількість автобусів у черзі на обслуговування, тобто на здійснення висадки та посадки пасажирів, *од.*

При проведенні кореляційно-регресійного аналізу абстрагуємося від усіх показників роботи зупинного пункту. Установимо взаємозв'язок між часом знаходження на зупинному пункті і показниками його роботи [3].

Джерелом інформації для подальших розрахунків є дані, які були отримані в результаті вибіркового обстеження роботи зупинного пункту.

Розрахунки будемо виконувати за допомогою універсального математичного пакету Mathcad. В результаті було отримано підсумкове рівняння залежності між часом знаходження автобуса на зупинному пункті і показниками його роботи, такими як пасажирообмін та кількість автобусів у черзі.

Результати статистичного аналізу наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Регресійна статистика					
Коефіцієнт детермінації $R^2$			0,667		
Стандартна помилка			10,82		
	Коефіцієнти регресії	t — статистика		Критерій Фішера F	
		$t_{роз}$	$t_{95\%;40}$	$F_{роз}$	$F_{95\%;2;42}$
B0	8,85645	2,467	2,02	39,385	3,23
B1	3,04081	4,670			
B2	26,5322	8,348			
Матриця кореляції					
	Y	X1	X2		
Y	1				
X1	0,277	1			
X2	0,695	-0,206	1		
$Y = 8,856 + 3,041 X1 + 26,532 X2$					

При статистичній обробці експериментальних даних рівняння регресії виявилось адекватним, а коефіцієнти при незалежних чинниках — значимими.

Коефіцієнти регресії при  $X1$  та  $X2$  мають позитивне значення. Таким чином, показники, як і очікувалось, впливають прямо пропорційно на час знаходження автобуса на зупинному пункті.

Значення множинного коефіцієнта детермінації свідчить про сильну залежність між результативним фактором і факторними ознаками. Таким чином, на підставі коефіцієнта детермінації можна казати про адекватність отриманого рівняння.

Для того щоб визначити, яка частка зміни результативної ознаки обумовлена зміною факторних ознак, які входять у багатофакторну регресійну модель, визначимо множинний коефіцієнт детермінації  $R^2$ .

$R^2 = 0,667$  — коефіцієнт детермінації показує, що час знаходження на зупинному пункті залежить на 66,7 % від спільного впливу пасажирообміну зупинного пункту та кількості автобусів у черзі на обслуговування.

Припускаючи, що залежність часу знаходження на зупинному пункті від змінних  $X1$  та  $X2$  носить лінійний характер, отримаємо наступне рівняння регресії:

$$T_{знах} = 8,9 + 3,0 \cdot Q_{пас} + 26.5 \cdot N_{авт}, \quad (4)$$

де  $T_{знах}$  — час знаходження автобуса на зупинному пункті, с.;

$Q_{пас}$  — загальний пасажирообмін зупинного пункту, чол.;

$N_{авт}$  — кількість автобусів у черзі на обслуговування, од.

Ступінь відхилення фактичних даних від отриманих в результаті проведення кореляційного аналізу ілюструє дані, наведені на рис. 1.

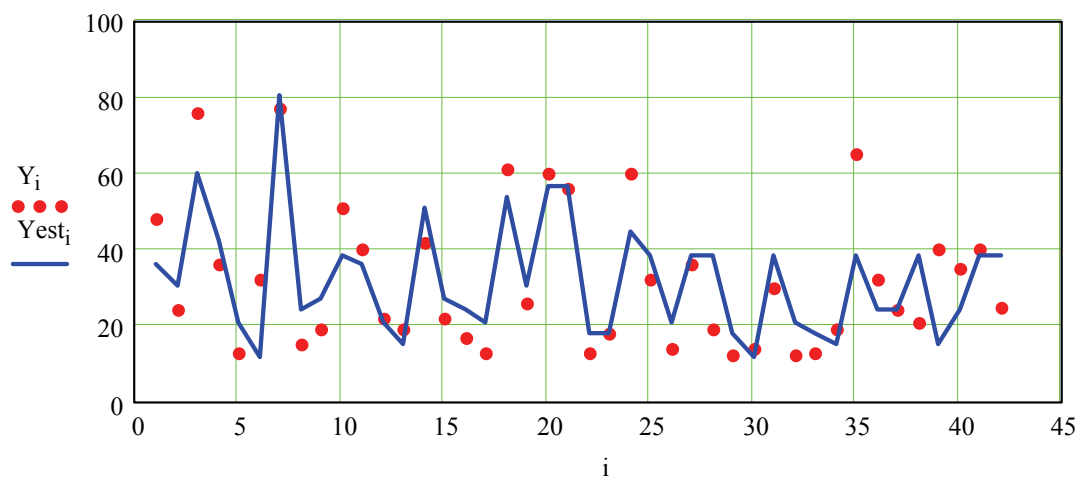


Рис. 1. Порівняння фактичних даних з експериментальними

— експериментальні дані;  
•••• — фактичні дані

Як видно з наведених даних, результати моделювання відрізняються в цілому несуттєво.

Залежність часу знаходження на зупинному пункті від пасажирообміну та кількості автобусів у черзі представлено на рис. 2.

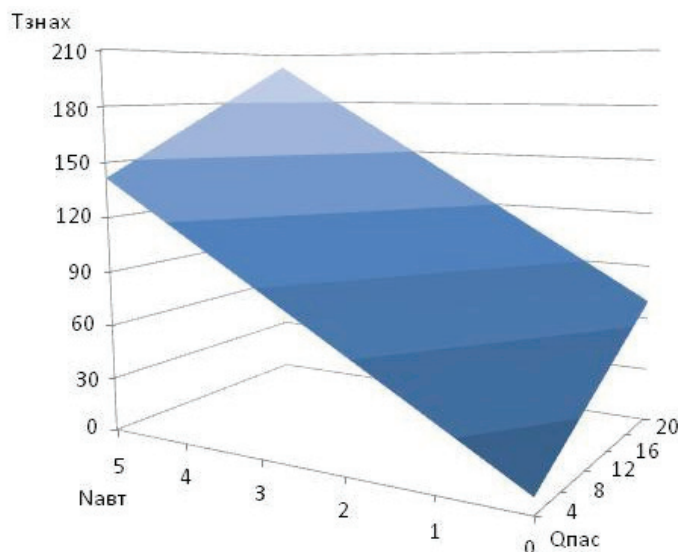


Рис. 2. Залежність часу знаходження на зупинному пункті від пасажирообміну та кількості автобусів у черзі

Як видно з графіку, найбільш впливовим чинником, що впливає на час знаходження на зупинному пункті, є кількість автобусів в черзі на обслуговування.

Проведемо аналіз моделі розрахунку часу звільнення зупинного пункту в залежності від необхідного інтервалу та інтенсивності транспортного потоку крайньою правою смугою. Розрахунки також будемо виконувати за допомогою універсального математичного пакету Mathcad.

Математичне очікування  $T_{зв}$  становить наступний інтеграл (5):

$$M(\tau, \mu) = \int_{t_{\min}}^{\infty} t \cdot f(t, \tau, \mu) dt. \quad (5)$$

Точне отримання цього інтегралу становить досить складне завдання і тому для отримання функції  $M(\tau, \mu)$  пропонується використовувати регресійний аналіз, в якому в якості залежної змінної буде використана таблиця значень функції  $M(\tau, \mu)$ .

Графік даної функції, представлений на рисунку 3 та побудований в інтервалах  $\tau, \mu \in (0; 8]$ , дає підставу зробити висновок, що ця функція може бути представлена як експоненціальна.

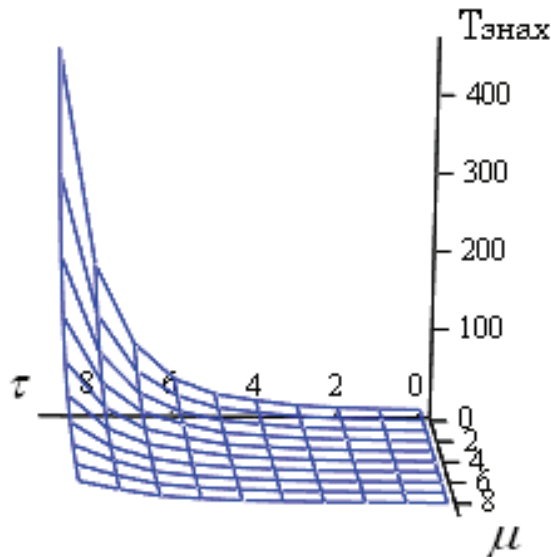


Рис. 3. Залежність часу звільнення зупинного пункту від інтенсивності руху крайньою правою смугою та інтервалів у потоці

За графіком поверхні розподілення часу очікування можна припустити, що ця випадкова величина має експоненціальне розподілення, яке залежить від інтервалів між автомобілями в потоці по крайній правій смузі та параметрів автобуса. Так як ці два чинники, очевидно повинні бути незалежними, в даній роботі пропонується представити математичне очікування випадкової величини у вигляді формули:

$$T_{зв} = e^{A_0} \cdot e^{A_1 \cdot \tau} \cdot e^{A_2 \cdot \mu}, \quad (6)$$

де  $T_{зв}$  — час звільнення автобусом зупинного пункту, с.;

$A_0, A_1, A_2$  — коефіцієнти регресії;

$\tau$  — час необхідний для вливання в потік, с.;

$\mu$  — середній інтервал у потоці, с.

Приведемо дану модель до лінійного вигляду, узявши натуральний логарифм обох частин:

$$\ln T_{зг} = A_0 + A_1 \cdot \tau + A_2 \cdot \mu . \quad (7)$$

Результати регресійного аналізу наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Регресійна статистика					
Коефіцієнт кореляції $R^2$			0,975		
Стандартна помилка			0,406		
	Коефіцієнти регресії	t — статистика		Критерій Фішера F	
		$t_{роз}$	$t_{95\%;40}$	$F_{роз}$	$F_{95\%;3;100}$
B0	1,308	5,478	2,02	1951,617	3,23
B1	0,411	58,081			
B2	-0,326	-23,015			
Матриця кореляції					
	Y	X1	X2		
Y	1				
X1	0,9183	1			
X2	-0,3639	0	1		
$\ln Y = 1,308 + 0,411 X1 - 0,326 X2$					

У процесі статистичної обробки експериментальних даних рівняння регресії виявилось адекватним, а коефіцієнти при незалежних чинниках — значимими.

Із отриманих результатів видно, що зі збільшенням параметру  $\tau$  час звільнення має тенденцію до збільшення, а збільшення інтервалів в потоці навпаки зменшує середній час звільнення зупинного пункту автобусом.

Як і було передбачено раніше, чинники є незалежними, про що і вказує значення коефіцієнтів у матриці кореляції.

Значення множинного коефіцієнта детермінації свідчить про дуже сильну залежність між результативним фактором і факторними ознаками. Таким чином, на підставі коефіцієнта детермінації можна казати про адекватність отриманого рівняння.

Для того щоб визначити, яка частка зміни результативної ознаки обумовлена зміною факторних ознак, що входять у багатofакторну регресійну модель, визначимо множинний коефіцієнт детермінації  $R^2$ .

$R^2 = 0,975$  — коефіцієнт детермінації показує, що час звільнення зупинного пункту залежить на 97,5 % від спільного впливу інтервалів між автомобілями в потоці по крайній правій смузі та параметрів автобуса.

В результаті було отримано підсумкове рівняння залежності між часом звільнення автобусом зупинного пункту і показниками, що на нього впливають, такими як необхідний інтервал між автомобілями в потоці та інтенсивність транспортного потоку по крайній правій смузі.

Час звільнення зупинного пункту найкращим чином описується рівнянням (8):

$$T_{зг} = e^{1,308} \cdot e^{0,411\tau} \cdot e^{-0,326\mu} . \quad (8)$$

Таким чином, пропускну здатність зупинного пункту в однакових умовах визначає сума часу знаходження на зупинному пункті автобуса та часу його звільнення. Тому пропускну здатність пропонується розраховувати за формулою

$$P = \frac{3600}{(8,9 + 3,0 \cdot Q_{nac} + 26,5 \cdot N_{авт}) + (e^{1,308} \cdot e^{0,411 \cdot \tau} \cdot e^{-0,326 \cdot \mu})}. \quad (9)$$

В результаті виведено формулу, яка дає змогу отримати більш об'єктивне значення пропускну здатності зупинного пункту та використовує не нормативні значення показників, а фактичні, що відповідають реальним умовам експлуатації автобусів на маршруті.

### **Висновки**

Таким чином, були отримані рівняння часу знаходження автобуса на зупинному пункті та часу його звільнення. На їх підставі було уточнено формулу для визначення пропускну здатності зупинного пункту. На відміну від існуючої формули [4] при розрахунку пропускну здатності використовуються фактичні значення параметрів (часу знаходження та часу звільнення), а не нормативні. В результаті чого з'являється можливість провести реальну оцінку пропускну здатності зупинного пункту з метою її підвищення.

### **Список літератури**

1. Василенко Т.Є. Теоретичні аспекти оцінки пропускну здатності зупинного пункту / Т.Є. Василенко, Д.В. Фесенко, Д.В. Гулак // Автомобільно-дорожній вісник. 2010. — № 2. — С. 90-97.
2. Герасименко С.С. Статистика: підручник / С.С. Герасименко та ін. — К.: КНЕУ, 1998. — 468 с.
3. Френкель А.А. Многофакторные корреляционные модели / А.А. Френкель. — М.: Экономика, 1996. — 96 с.
4. Пугачёв И.Н. Организация и безопасность движения: учеб. пособие/ И.Н. Пугачёв. — Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. тех. ун-та, 2004. — 232 с.

Рецензент: к.т.н., доц., О.М. Дудніков, АДІ ДВНЗ «ДонНТУ».

Стаття надійшла до редакції 08.11.10  
© Василенко Т.Є., Фесенко Д.В., Гулак Д.В., 2010