SECTION XXV.
TRANSPORT SYSTEMS AND TECHNOLOGIES

Холодов Олег Віталійович
здобувач вищої освіти факультету транспортних систем
Харківський Національний Автомобільно-Дорожній Університет; Україна

Котляр Анна Сергіївна
здобувач вищої освіти факультету транспортних систем
Харківський Національний Автомобільно-Дорожній Університет; Україна

ОЦІНЮВАННЯ ГРАНИЧНИХ УМОВ ФУНКЦІОНУВАННЯ РЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕХРЕСТЬ

Регульовані перехрестя (РП) є одними з найбільш навантажених елементів вулично-дорожньої мережі міста. Ефективність функціонування РП значною мірою визначається співвідношенням між транспортним попитом та пропускною здатністю. Зі збільшенням інтенсивності транспортних потоків (ТП) зростають затримки транспортних засобів (ТЗ), кількість зупинок і довжина черг. Особливої уваги потребують режими роботи перехрестя, за яких транспортний попит наближається до пропускної здатності або перевищує її. У таких умовах черга, що сформувалася протягом одного циклу світлофорного регулювання (СР), може не встигати повністю розсіюватися та зберігатися в наступних циклах, що є характерною ознакою формування перенасиченого режиму [1].

Водночас транспортне навантаження на РП не є постійною величиною. Його зміна протягом доби, нерівномірність надходження ТЗ та перерозподіл потоків між напрямками можуть призводити до суттєвих змін умов функціонування перехрестя навіть за незмінних параметрів СР. Тому оцінювання його роботи лише за фактичного або розрахункового рівня транспортного попиту не повною мірою характеризує можливості існуючої схеми організації дорожнього руху та СР.

Важливим фактором функціонування РП є також пішохідне навантаження. Пішохідні потоки (ПП) впливають на умови реалізації транспортних маневрів і можуть знижувати пропускну здатність поворотних ТП, які мають конфлікт із пішоходами в межах однієї сигнальної фази [2]. При

цьому використання лише показників, орієнтованих на ТП, не дозволяє повною мірою характеризувати умови функціонування РП для пішоходів, що обумовлює необхідність окремого врахування пішохідної затримки [3]. Отже, ТП та ПП доцільно розглядати як взаємопов'язані компоненти процесу функціонування РП.

Сучасні дослідження РП охоплюють різні аспекти їх функціонування. Зокрема, у роботі [1] досліджено процеси формування та розсіювання транспортних черг у перенасичених умовах. У роботі [2] оцінено вплив пішохідних потоків на пропускну здатність поворотних транспортних потоків, а в [3] розглянуто питання оцінювання пішохідної затримки на регульованих перехрестях. У дослідженні [4] представлено комплексне визначення транспортних і пішохідних показників функціонування світлофорних об'єктів. Водночас потребує подальшого дослідження питання встановлення комбінацій транспортного та пішохідного навантаження, за яких відбувається перехід від ефективного до критичного режиму функціонування РП.

Таким чином, актуальним є питання визначення не тільки показників функціонування РП за заданого транспортного попиту, а й граничних умов навантаження, за яких існуюча схема СР забезпечує ефективне обслуговування ТП і ПП. Особливий інтерес становить встановлення комбінацій транспортного та пішохідного навантаження, за яких відбувається перехід від ефективного до критичного режиму функціонування, що характеризується накопиченням черг і різким збільшенням затримок.

Метою роботи є формування підходу до оцінювання граничних умов функціонування РП за спільної зміни транспортного та пішохідного навантаження.

Для забезпечення можливості порівняння різних рівнів навантаження пропонується перейти від абсолютних значень інтенсивності до відносних коефіцієнтів навантаження:

$$K_T = \frac{Q_T}{Q_{T0}}, \quad (1)$$

де:

Q_T – *досліджувана інтенсивність ТП, авт./год.;*

Q_{T0} – *інтенсивність існуючого (базового) ТП, авт./год.*

$$K_P = \frac{Q_P}{Q_{P0}}, \quad (2)$$

де:

Q_P – *досліджувана інтенсивність ПП, піш./год.;*

Q_{P0} – *інтенсивність існуючого (базового) ПП, піш./год.*

За такого представлення значення $К_Т = 1$ та $К_P = 1$ відповідають фактичному базовому стану перехрестя, значення менші за одиницю характеризують зниження навантаження, а більші за одиницю — його збільшення відносно базового рівня.

Спільне варіювання $К_Т$ та $К_P$ дозволяє сформувати двофакторний простір можливих станів РП:

$$K_{T,}K_P = \int\left(T_з, Q_{Len}, Q_{Len_{max}}, X, S_{stop}, T_{піш}\right), \quad (3)$$

де:

$T_з$– *середня транспортна затримка, с/авт.;*

Q_{Len}– *середня довжина черги, м;*

$Q_{Len_{max}}$– *максимальна довжина черги, м;*

X– *ступінь насичення;*

S_{stop}– *середня кількість зупинок ТЗ, од./авт.;*

$T_{піш}$– *затримка пішоходів, с/піш.*

На відміну від аналізу окремого сценарію транспортного попиту, такий підхід передбачає формування множини сценаріїв, що охоплюють різні поєднання транспортного та пішохідного навантаження.

Наближення РП до граничного режиму пропонується здійснювати за сукупністю ознак: наближенням максимального ступеня насичення X_{max} до одиниці, інтенсивним зростанням середньої затримки ТЗ, середньої та максимальної довжини черги, а також появою залишкової черги, яка не розсіюється протягом одного циклу СР.

Для кожного заданого рівня пішохідного навантаження $К_P$ пропонується визначити критичне значення транспортного навантаження $К_{Т_{crit}}$, що відповідає межі переходу до критичного режиму функціонування РП. У загальному вигляді залежність представлена наступною формулою:

$$К_{Т_{crit}} = \int(K_P), \quad (4)$$

Залежність (4) дозволяє перейти від традиційної оцінки окремих показників роботи перехрестя до формування межі області його ефективного функціонування. У графічному вигляді результати такого аналізу доцільно представляти в координатах $K_Q - K_P$, виділяючи області ефективного, перехідного та критичного функціонування. Межа між областями при цьому характеризуватиме резерв існуючої схеми дорожнього руху та СР щодо можливого збільшення транспортного і пішохідного попиту.

Висновки. Таким чином, оцінювання РП лише за фактичного рівня транспортного попиту не дозволяє визначити резерв його функціонування та

умови переходу до перенасиченого режиму. Для розв'язання цієї задачі запропоновано розглядати транспортне та пішохідне навантаження як два незалежні фактори, нормовані відносно базового стану за допомогою коефіцієнтів K_Q та K_P.

Подальше дослідження доцільно спрямувати на формування сценарної матриці $K_Q \div K_P$, проведення мікроскопічного імітаційного моделювання та встановлення закономірності зміни транспортної затримки, довжини черги, ступеня насичення і пішохідної затримки. На основі отриманих результатів передбачається визначення критичного транспортного навантаження $K_{T_{crit}}$ за різних рівнів пішохідного попиту та побудова меж областей функціонування РП.

Список використаних джерел

1. Doll, A., Abbasi, M., Zhao, M., & Zhou, X. (2024). Oversaturated intersections: A real-world assessment of polynomial fluid queue models. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 651*, 129864. https://doi.org/10.1016/j.physa.2024.129864
2. Schmitz, J., Wu, N., & Geistefeldt, J. (2024). Modeling adjustment factors for pedestrians and bicycles on turning vehicle movements at signalized intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2678*(2), 105–117. https://doi.org/10.1177/03611981231172952
3. Runa, F., Guler, S. I., & Gayah, V. V. (2024). Do existing split failure metrics accurately reflect pedestrian operation at signalized intersections? *International Journal of Transportation Science and Technology, 13*, 270–283. https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2023.02.006
4. Saldivar-Carranza, E. D., Desai, J., Thompson, A., Taylor, M., Sturdevant, J., & Bullock, D. M. (2024). Vehicle and pedestrian traffic signal performance measures using LiDAR-derived trajectory data. *Sensors, 24*(19), 6410. https://doi.org/10.3390/s24196410