

## ПАРАМЕТРИ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ

### PARAMETERS OF THE MODEL FOR FORECASTING CALCULATED CHARACTERISTICS OF TRAFFIC FLOW ON AUTOMOBILE ROADS

**Ярещенко Н.В., к.т.н., доц. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет)**

**Yareshchenko N.V., Ph.D., Associate Professor, (Kharkiv National Automobile and Road University)**

*У міру розвитку транспорту накопичувався досвід забезпечення безпеки, зручності дорожнього руху на автомобільних дорогах засобами організації дорожнього руху. Так буде і далі, продовжуватися, відповідно до розвитку техніки і технології, а також дорожнього будівництва.*

*Дослідження параметрів моделі прогнозування розрахункових характеристик транспортного потоку допоможе в підвищенні безпеки руху на автомобільних дорогах.*

*The article examines the parameters of the model for forecasting the calculated characteristics of traffic flow on automobile roads.*

*With the development of motorization for decades, the world has accumulated experience in ensuring the safety, efficiency and convenience of road traffic in cities and on highways by methods of traffic management with the use of appropriate technical means. This process will continue further as well as road construction.*

*Scientific research and practical engineering activities in the field of traffic management have made it possible to accumulate a wide range of requirements for road construction and specific engineering solutions that make it possible to obtain the desired effect during the mass movement of vehicles.*

*All developments of various methods of movement organization have a close relationship and even interpenetration.*

*In domestic practice, there is a lack of attention from traffic organizers and employees of road maintenance services to the creation of all the necessary conditions for traffic safety.*

*The possibility of creating a uniform traffic flow on the traffic lane and roadway as a whole has an independent value, it reduces the conflict of the flow and facilitates the task of optimizing the speed mode of traffic. At the same time, speed optimization is very diverse, and therefore it should be singled out as an independent direction.*

*The need to eliminate the unsatisfactory technical condition of roads as a preliminary stage in the implementation of traffic management measures remains a primary task in the practice of traffic management. Without an examination of road conditions and the elimination of identified deficiencies, it is impossible to start*

implementing developments to improve the organization of traffic, since the most progressive solutions cannot be effective in the case of unsatisfactory road conditions

The conducted research made it possible to propose the application of the methodology of analyzing the parameters of the model for forecasting the calculated characteristics of traffic flow on highways, which are the initial and final values of traffic speed, intensity, and load.

This allowed the author to assume that determining the parameters of the model for predicting the calculated characteristics of traffic flow on highways, roads, and other causes and factors that have a significant impact on the increase in the number of road transport adventures is an important task for researching on improving traffic safety.

*Ключові слова:* система, автомобільна дорога, автомобіль, математична модель, розрахункові характеристики, система.

*Keywords:* system, automobile, mathematical model, system, calculated characteristics, highway

Дослідження в області організації руху дозволили накопичити комплекс вимог до дорожнього будівництва, що дозволяють отримати бажаний ефект за масового руху транспортних засобів.

Усі розробки різних методів організації руху мають тісний взаємозв'язок і навіть взаємопроникнення.

У вітчизняній практиці є недолік уваги організаторів дорожнього руху і працівників дорожньо-експлуатаційних служб до створення всіх необхідних умов для безпеки руху [1].

Створення за можливістю однорідного транспортного потоку на смузі руху та проїжджої частини в цілому має самостійне, значення зменшує конфліктність потоку і полегшує завдання оптимізації швидкісного режиму руху. Разом з тим оптимізація швидкостей дуже різнопланова, і тому її слід виділити як самостійний напрям.

Необхідність ліквідації незадовільного технічного стану доріг як попереднього етапу при впровадженні заходів з організації руху залишається першорядним завданням в практиці організації дорожнього руху. Без обстеження дорожніх умов та усунення виявлених недоліків приступати до реалізації розробок з удосконалення організації руху не можна, так як найпрогресивніші рішення не можуть дати ефекту у разі незадовільного стану доріг [2].

Характеристиками транспортного потоку є:

- швидкість руху
- інтенсивність руху;
- щільність потоку.

Така характеристика як швидкість руху використовується для розрахунків характеристики руху одиничного автомобіля або параметрів

геометричних елементів доріг (плану, поперечного і подовжного профілів тощо).

Під час розгляду основного змісту інженерної діяльності з організації дорожнього руху необхідно оцінювати кількісними показниками результати впроваджуваних заходів. При цьому відзначається особлива важливість застосування методу порівняння показників "до і після". Це викликано різноманітністю конкретних умов руху, у зв'язку з чим неможливо встановити абсолютні значення оціночних критеріїв і слід аналізувати зміни показників, що відбуваються в результаті вдосконалення організації руху впровадженням окремих та комплексних заходів на даній ділянці дороги або у відповідному регіоні.

Оцінка рівня безпеки базується в основному на показниках статистики дорожньо-транспортних пригод і на характеристиці конфліктних точок та конфліктних ситуацій на розглянутих елементах дороги. Вдосконалення застосовуваних методів і апаратури сприяє появі нових методичних прийомів, а також приладового забезпечення оцінки впроваджених рішень. [3]

Для оцінки швидкісних показників транспортного потоку можуть бути використані такі критерії як миттєва швидкість у характерному перерізі дороги, швидкість сполучення на певній ділянці маршруту, частота і тривалість затримок транспортних засобів, ступінь рівномірності швидкісного режиму. Найбільш показовою характеристикою є швидкість сполучення, яка обернено пропорційна витратам часу на пересування транспортних засобів по дорозі. Середні витрати часу на рух вимірюють у хвилинах, витрачених на проїзд 1 км досліджуваного маршруту. [4]

Праці вітчизняних і зарубіжних дослідників показують, що умови безпеки, а також витрата палива значною мірою залежать від стабільності швидкісного режиму протягом маршруту. Чим більша частота і діапазон коливань (дисперсія) швидкості автомобілів під час проїзду по магістралі, тим нижче відносний рівень безпеки руху та паливна економічність.

Параметрами моделі прогнозування розрахункових характеристик транспортного потоку на автомобільних дорогах є початкові та кінцеві значення швидкості руху, інтенсивності та навантаження відповідно.

Початкова швидкість руху для автомобіля може бути визначена через індивідуальну норму швидкості на дорозі, відповідних до початкового часу зміни системи ЛАДС, тобто при  $t=0$ .

Індивідуальна норма швидкості визначається за формулою

$$V_H = V_0 = \frac{V_{нб} * m_{б} + V_{ни} * m_{с}}{m_{б} + m_{с}}; \quad (1)$$

де  $V_H$  - індивідуальна норма швидкості;  
 $V_0$  - початкова швидкість руху;

$V_{н6}$ ,  $V_{нш}$  - функціональні норми швидкостей руху для мотивів безпеки та свободи дії водія відповідно;

$m_6$ ,  $m_c$  - жорсткості (коефіцієнти ваги) норми  $V_{н6}$  та  $V_{нш}$ , відповідно.

Для транспортного потоку початкова швидкість визначається як групова норма швидкості

$$V_{ГН} = V_{Г0} = \sum_{i=1}^I V_{Hi} d_i; \quad (2)$$

де  $V_{Г0}$  - початкова швидкість руху транспортного потоку;

$V_{Гн}$  - групова норма швидкості руху;

$V_{Hi}$  - індивідуальна норма швидкості руху  $i$ -того автомобіля в транспортному потоці;

$d_i$  - доля автомобілів  $i$ -того типу в транспортному потоці;

$I$  - число автомобілів в транспортному потоці (групі).

Норма швидкості руху  $V_{Гн}$  може розглядатися як початкова лише для даних дорожніх умов, для даної дороги. В мережі доріг, в якості початкової можна використовувати соціальну норму швидкості руху, яку визначають за формулою

$$V_{CH} = V_{C0} = \sum_{m=1}^M V_{ГHm} d_m; \quad (3)$$

де  $V_{C0}$  - початкова швидкість руху на мережі доріг;

$V_{CH}$  - соціальна норма швидкості руху;

$V_{ГHm}$  - групова норма швидкості руху транспортного потоку на  $m$ -тої дорозі;

$M$  - число доріг в транспортній мережі.

$d_m$  - доля доріг  $m$ -того типу в структурі мережі доріг, що розглядається.

Дослідження Гаврилова Е.В. [5] показують, що для водія по психічному примусу та надійності його діяльності є швидкість, яка дорівнює  $V_{нш}$ .

Індивідуальна норма швидкості руху  $V_n$  прагне до функціональної норми  $V_{нш}$ .

Кінцева групова норма швидкості визначається як

$$V_{ЗГ} = V_{ГН} = \sum_{i=1}^I V_{Hшi} d_i; \quad (4)$$

Відповідно кінцева соціальна норма швидкості буде дорівнювати

$$V_{3C} = V_{CH} = \sum_{m=1}^M V_{3\Gamma m} d_m; \quad (5)$$

Параметри моделі прогнозування швидкостей руху, які розглядаються, дозволяють представити цю модель у вигляді:

- для одинокого автомобіля

$$V(t) = V_{H0}(1 - P_r) + V_{HШ} P_r; \quad (6)$$

- для транспортного потоку

$$V(t) = V_{\Gamma H0}(1 - P_r) + P_r \sum_{i=1}^I V_{HШi} d_i; \quad (7)$$

- для мережі доріг

$$V(t) = V_{CH0}(1 - P_r) + P_r \sum_{m=1}^M V_{3\Gamma m} d_m; \quad (8)$$

Прогноз фактичних швидкостей руху на автомобільних дорогах

$W_{ni}$  - норма продуктивності  $i$ -го водія;

$W_{\Gamma n}$  - групова норма продуктивності;

$m_i$  - жорсткість норми  $W_{ni}$ .

Рішення задачі оптимізації будемо здійснювати методом невизначених коефіцієнтів Лагранжа. [6]

Умови наявності екстремуму

$$\begin{cases} \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial W_{ni}} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^I 2m_i (W_{ni} - W_{ni}) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^I 2m_i (W_{ni} - W_{\Gamma n}) + \lambda I = 0 \\ \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda} = \sum_{i=1}^I W_{ni} - R = 0 \end{cases} \quad (9)$$

Підстановка в друге рівняння з системи (9) дає

$$\sum_{i=1}^n \left[ \frac{W_{ni} - W_{\Gamma n}}{2} - \frac{\lambda}{2m_i} \right] - R = 0. \quad (10)$$

Додавши позначення  $\sum_{i=1}^I \frac{1}{m_i} = S$  отримаємо

$$\lambda = \frac{2}{S} \sum_{i=1}^I \frac{W_{\text{ні}} - W_{\text{гн}}}{2} - \frac{2}{S} R. \quad (11)$$

Підстановка дає оптимальне значення необхідної продуктивності діяльності у вигляді

$$\tilde{W}_{\text{ні}} = \frac{W_{\text{ні}} + W_{\text{гн}}}{2} + \frac{1}{m_i S} \left[ R - \sum_{i=1}^I \frac{W_{\text{ні}} + W_{\text{гн}}}{2} \right]. \quad (12)$$

Так як  $W=VP_v$ , то необхідна швидкість руху при заданій надійності діяльності водія визначається за формулою

$$\tilde{V}_{\text{пі}} = \frac{V_{\text{ні}} + V_{\text{гн}}}{2} + \frac{1}{m_i S} \left[ R_1 - \sum_{i=1}^I \frac{V_{\text{ні}} + V_{\text{гн}}}{2} \right], \quad (13)$$

$$\text{де } R_1 = \sum_{i=1}^I V_{\text{пі}}.$$

Формула (13) може використовуватися для прогнозування суспільно необхідної швидкості руху  $i$ -го водія транспортного потоку. При цьому параметри моделі прогнозування визначаються наступним чином:

початкова швидкість

$$\tilde{V}_{\text{пі0}} = \frac{V_{\text{ноі}} + V_{\text{гно}}}{2} + \frac{1}{m_i S} \left[ R_1 - \sum_{i=1}^I \frac{V_{\text{ноі}} + V_{\text{гно}}}{2} \right] \quad (14)$$

Кінцева швидкість

$$\tilde{V}_{\text{піз}} = \frac{V_{\text{нсі}} + \sum_{i=1}^I V_{\text{нсі}} di}{2} + \frac{1}{m_i S} \left[ R_1 - \sum_{i=1}^I \frac{V_{\text{нсі}} + \sum_{i=1}^I V_{\text{нсі}} di}{2} \right]. \quad (15)$$

А модель прогнозування суспільно необхідної швидкості руху  $i$ -го водія перетвориться до вигляду

$$\tilde{V}_{\text{пі}}(t) = \tilde{V}_{\text{піо}}(1 - P_z) + \tilde{V}_{\text{піз}}P_z \quad (16)$$

Методи моделювання засновані на використанні математичних моделей зміни параметрів транспортних потоків.

За результатами дослідження доведено, що математична модель, яка описує взаємозв'язок між інтенсивністю, швидкістю та щільністю потоку є основним рівнянням транспортного потоку.

Будь-який фактор, що негативно впливає на транспортний потік буде підвищувати ризик дорожньо-транспортних пригод. Це дозволило припустити, що визначення параметрів моделі прогнозування розрахункових характеристик транспортного потоку на автомобільних дорогах, дорожніх та інших причин та чинників, які мають значний вплив на збільшення кількості аварійності, є важливим завданням для проведення досліджень щодо підвищення безпеки руху.

### References

1. Gavrilov E.V., Dmutrichenko M.F., Sistemologiya na transporti. Organizaciya doroznogo ruju. Vud-vo Znanny Ukrainu.2007. 450 s.
2. Polischuk V.P., Dzuba O.P. Teoraya transportnogo potoku. Metodu I modeli organizacii doroznogo ruju. Vud-vo Znanny Ukrainu. 2008. 175 s.
3. Derej Z.D., Zavorutskiy U.E. Nebezpechni situacii na dorozhi, yk ij uniknutu. Praktuchni poradu vodiyam. Vud-vo Aruy, 2017. 72 s.
4. Sobko V.M., Sidun U.V., Karasiova K.O. Proektuvania avtomobilnuch dorig. Lvivska politechnica, 2019. 228 s.
5. Gavrilov E. V., Gridin A.M., Rypujin V.M. Sistemne proektuvania avtomobilnij dorig. Vid. ASB. 1998. 138 s.
6. Klepenko V.U., Golez V.L. Vischa matemetika v prikkladaj I zadachaj. Navchalniy posibnik. Vidavniztvo Zentr uchbovoy literature. 2021. 594 s.

### Література

1. Гаврилов Е.В., Дмитриченко М.Ф. Системология на транспорті. Організація дорожнього руху. Вид-во Знання України, 2007. -450 с.
2. Поліщук В.П., Дзюба О.П. Теорія транспортного потоку. Методи і моделі організації дорожнього руху. Вид-во Знання України. 2008. 175 с.
3. Дерех З.Д., Заворицький Ю.С. Небезпечні ситуації на дорозі, як їх уникнути. Практичні поради водіям. Вид-во Арий, 2017. 72 с.
4. Собко Ю.М., Сідун Ю.В., Карасьова Л.О. Проектування автомобільних доріг. Львівська політехніка, 2019. 228 с.
5. Гаврилов Е.В., Грідін А.М., Ряпухін В.М. Системне проектування автомобільних доріг. Вид. АСБ, 1998 р. 138 с.
6. Клепенко В.Ю., Голець В.Л. Вища математика в прикладах і задачах. Навчальний посібник. Видавництво Центр учбової літератури. 2021. 594 с.