

теоретичним і статистичним розподілами малі ($\chi^2 = 10,8$) і задовольняють прийнятому 5 % рівню значущості. В якості залежності щільності розподілу пасажирообміну зупинок була прийнята гіпотеза про розподіл випадкової величини за законом Пуассона. В результаті розрахунків встановлено математичне очікування пасажирообміну $m_N = 2,1$ пас; $d_N = 1,25$ (рис. 1). Розходження між теоретичним і статистичним розподілами малі ($\chi^2 = 11,51$) і задовольняють прийнятому 5 % рівню значимості.

Висновки. Встановлені закони розподілу характеристик транспортного процесу можуть слугувати їх моделями, які у сукупності з моделями руху транспортних засобів і переміщення пасажирів необхідні для дослідження транспортного процесу з метою пошуку заходів щодо підвищення його ефективності.

Література

1. Мун Э.Е., Рубец А.Д. Организация перевозок пассажиров маршрутными такси. - М.: Транспорт, 1986. - 136 с.
2. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. – М.: Высш. шк., 2000. - 383 с.
3. Галушко В.Г. Вероятностно-статистические методы на автотранспорте. – К.: Высшая школа, 1976. – 232 с.

УДК 656.13.052.8

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПЕРЕСУВАННЯ ПОГЛЯДУ ВОДІЯ ПРИ ЗБОРІ НИМ ЗОРОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

*Гусєв О.В., кандидат технічних наук,
Гусєва Н.О.*

Вступ. За статистикою в 50% всіх випадків ДТП відбуваються в результаті помилкового або несвоєчасного збору зорової інформації (ЗІ) водієм [1,2]. Цей факт підтверджує актуальність подальших досліджень, спрямованих на вивчення закономірностей збору ЗІ водієм (оператором), на розробку методики навчання водіїв навичкам збору ЗІ для підвищення безпеки дорожнього руху, а також на розробку методики оцінки ефективності збору водієм (оператором) ЗІ [1, 2] для визначення його надійності.

Виникає завдання, з одного боку, дослідити закономірності переміщення погляду водія в просторі при отриманні ним зорової інформації (для забезпечення безпечного керування автомобілем), а, з іншого боку, розробити математичну модель цього процесу.

Слід також зазначити, що дослідження закономірностей переміщення погляду при зборі зорової інформації є дуже важливими та актуальними для інших видів операторської діяльності людини, для машиністів-залізничників, космонавтів, пілотів, операторів складного обладнання та систем керування об'єктами, архітекторів, проектувальників тощо.

Мета дослідження - опис кінематики руху дискретної точки зорової уваги водія [1, 2]. Вирішуючи поставлене завдання, будемо вважати, що існує умовно нерухома система координат (система відліку), до якої будемо відносити положення дискретної точки зорової уваги водія (ДТЗУВ) і точки зору водія (ТЗВ). Дана система координат є "нерухомою" і вибір розташування її центру, в загальному випадку, визначається конкретними умовами розв'язуваної задачі.

Зазначимо, що під переміщенням ДТЗУВ будемо розуміти її перехід з одного положення в просторі в інше довільним способом, але за певний проміжок часу Δt . Таким чином, переміщення ДТЗУВ повністю визначається початковим і кінцевим положенням точки і проміжком часу Δt . Рухом ми будемо називати перехід ДТЗУВ з початкового в кінцеве положення певним способом у певній залежності від часу. Це означає, що кожному проміжному положенню ДТЗУВ її початковим і кінцевим положенням ми можемо поставити у відповідність певний момент часу. Зв'язок між положенням рухомої ДТЗУВ в просторі і в часі буде визначати закон її руху.

В "нерухоомій" системі координат взаємне розташування ТЗВ («циклопічного ока» водія) і ДТЗУВ (що являє собою центр основи конуса ясного бачення) з часом змінюється і залежить від наступних чинників:

- конфігурації траси дороги (визначальною як положення ТЗВ так і ДТЗУВ);
- траєкторії руху ТЗВ (в основному, яка визначається траєкторією руху транспортного засобу);
- траєкторії руху ДТЗУВ (обумовленої характером дій водія щодо збору зорової інформації (зорові дії: простежуючі, пошукові, оцінюючі)).

здійснимо опис руху дискретної точки зорової уваги водія в системі координат, пов'язаної з автомобілем.

Нехай відома траєкторія руху точки a , що збігається з циклопічним оком водія, у вигляді годографу вектора-функції

$$\bar{g}(u) = x_g e_1 + y_g e_2 + z_g e_3 \quad (1)$$

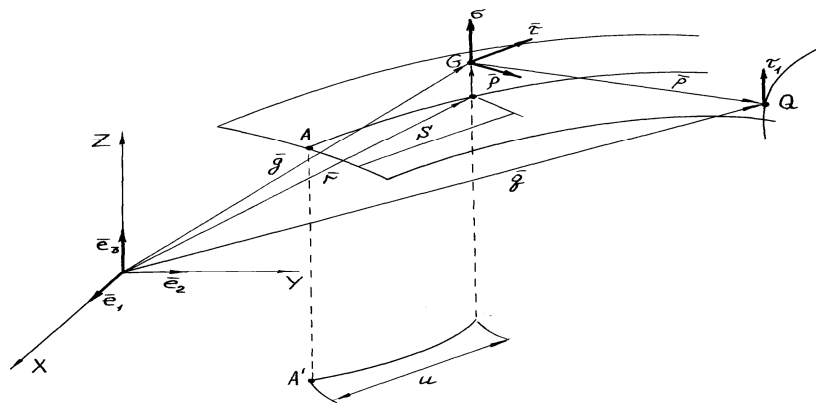
де: e_1, e_2, e_3 - орт нерухомої системи координат $OXYZ$ (мал.1а); x_g, y_g, z_g - координати G ; u - довжина горизонтального проложення траєкторії, що відраховується від деякої фіксованої точки A , координати x_A, z_A якої відомі.

Рівняння (1) можна легко отримати, знаючи рівняння траси автомобільної дороги, що надається у вигляді годографа іншої вектор-функції (рис. 1 а, б) [3]

$$\bar{r}(u) = x \bar{e}_1 + y \bar{e}_2 + z \bar{e}_3 \quad (2)$$

Параметричні рівняння для прямої у плані (для абсциси і ординати векторної функції (2)) мають вигляд:

а/



б/

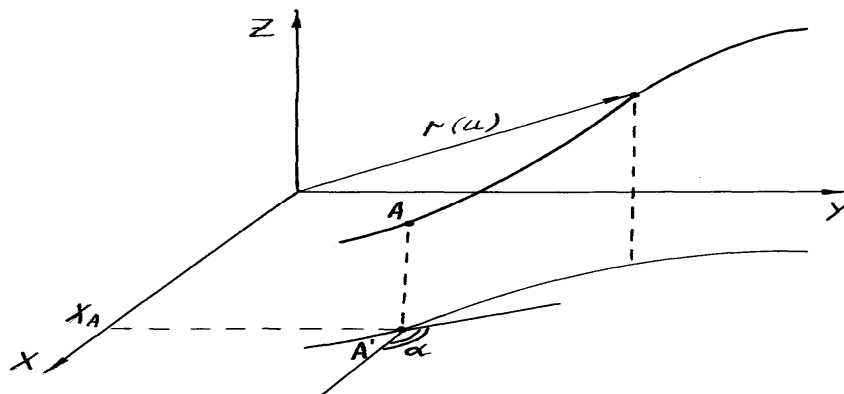


Рис. 1. До визначення кінематики руху дискретної точки зорової уваги водія

$$x = x_A + u \cos \alpha, \quad (3)$$

$$y = y_A + u \sin \alpha, \quad (4)$$

Для кругової кривої, яка повертає вліво:

$$x = x_A - R_\Gamma \sin \alpha + R_\Gamma \sin\left(\alpha + \frac{u}{R_\Gamma}\right) \quad (5)$$

$$y = y_A - R_\Gamma \cos \alpha - R_\Gamma \cos\left(\alpha + \frac{u}{R_\Gamma}\right) \quad (6)$$

Для перехідної кривої (клотоїди) в плані, яка також повертає ліворуч:

$$x = x_A + \cos \alpha \int_0^u \cos \frac{u^2}{2c} du - \sin \alpha \int_0^u \sin \frac{u^2}{2c} du, \quad (7)$$

$$y = y_A + \sin \alpha \int_0^u \sin \frac{u^2}{2c} du + \cos \alpha \int_0^u \cos \frac{u^2}{2c} du. \quad (8)$$

Для прямої в поздовжньому профілі параметричне рівняння для аплікати векторної функції має вигляд:

$$z = z_A + u * i_l, \quad (9)$$

а для параболічної опуклою вертикальної кривої:

$$z = z_A + \frac{u}{2R_B} (2u_B - u). \quad (10)$$

Рівняннями (3) - (10) вичерпуються найбільш поширені комбінації геометричних елементів трас автомобільних доріг в плані і в поздовжньому профілі. Рівняння (3) - (8) можна використовувати для опису руху автомобіля у випадках, коли його траєкторія не збігається з трасою дороги (підставляючи відповідні параметри замість R_Γ , c (R_Γ - радіус горизонтальної кривої, c - параметр перехідної кривої)).

Вектор e можна представити у вигляді:

$$\bar{g} = \bar{r} + \bar{h}, \quad (11)$$

де:

$$\bar{h} = h * \bar{e}_3, \quad (12)$$

Запровадженню вектора h вносить деяку похибку у визначення вектора g . Правильніше було б прийняти до (12) замість вектора e_3 вектор нормалі до поверхні проїзної частини. Однак, з причини незначності h в порівнянні з радіусами вертикальних кривих і незначністю поздовжніх ухилів на автомобільних дорогах, даної похибкою можна знехтувати. З урахуванням (11) та (12) вираз (1) буде мати вигляд:

$$\bar{g}(u) = x(u)\bar{e}_1 + y(u)\bar{e}_2 + (z(u) + h)\bar{e}_3. \quad (13)$$

Швидкість руху автомобіля відома за показаннями спідометра.

$$V = dS / dt,$$

де: S - шлях, відлічуваний від точки A .

Тоді швидкість точки z в системі координат $Oxyz$ можна представити у вигляді:

$$\bar{V}_G = \frac{dg}{dt} = \frac{dg}{du} \frac{du}{dS} \frac{dS}{dt}, \quad (14)$$

З відомого в диференціальній геометрії співвідношення:

$$S = \int_{u_0}^u |g'| du, \quad (15)$$

можна отримати

$$\frac{du}{dS} = 1/|g'|, \quad (16)$$

і вираз (1) представити у вигляді:

$$\bar{V}_G = \bar{\tau} * v, \quad (17)$$

де: τ - одиничний дотичний до траєкторії руху точки G вектор (рис. 1).

$$\bar{\tau} = \frac{\bar{g}'}{|\bar{g}'|} \quad (18)$$

З урахуванням (13):

$$\bar{g}' = x'\bar{e}_1 + y'\bar{e}_2 + z'\bar{e}_3, \quad (19)$$

$$|\bar{g}'| = \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}, \quad (20)$$

$$\bar{\tau} = \frac{I}{\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}}, \quad (21)$$

$$\bar{V}_G = \frac{V}{\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}} \{x', y', z'\}, \quad (22)$$

Траскторію руху ДТЗУВ Q можна представити у вигляді третій вектор-функції (рис. 1):

$$q = x_q e_1 + y_q e_2 + z_q e_3, \quad (23)$$

Аналогічно (21):

$$\bar{V}q = \frac{V}{\sqrt{x_q'^2 + y_q'^2 + z_q'^2}} \{x_q', y_q', z_q'\}, \quad (24)$$

Введемо рухому систему координат $G \tau p a$, що направляють одиничні вектора якої τ, p, a є векторами супроводжуючого тригранника дороги [3]. Вектор τ визначено вище, а два інших вектора мають вигляд:

$$\bar{\rho} = \frac{I}{\sqrt{x'^2 + y'^2}} \{y', -x', 0\} \quad (25)$$

$$\bar{\sigma} = \frac{I}{\sqrt{x'^2 + y'^2} \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}} \{-x'z', -y'z', x'^2 + y'^2\} \quad (26)$$

Положення точки Q , в рухомій системі координат визначається вектором $\bar{\rho}$:

$$\bar{\rho} = \bar{q} - \bar{g}, \quad (27)$$

координати якого в нерухомій системі координат можуть бути знайдені з урахуванням (13), (22):

$$\bar{\rho} = (x_q - x) * e_1 + (y_q - y) * e_2 + (z_q - z - h) * e_3. \quad (28)$$

Координати вектора $\bar{\rho}$ в нерухомій системі координат $O\bar{\tau}\bar{\rho}\bar{\sigma}$ знайдемо, використовуючи властивість скалярного добутку вектора на одиничний вектор. Відповідно до нього, вказаний добуток представляє собою проекцію вектора на одиничний вектор:

$$p_\tau = (\bar{\rho}, \bar{\tau}) \quad (29)$$

$$p_\rho = (\bar{\rho}, \bar{\rho}) \quad (30)$$

$$p_\sigma = (\bar{\rho}, \bar{\sigma}) \quad (31)$$

Позначимо:

$$A_1 = \frac{I}{\sqrt{x'^2 + y'^2}}; \quad A_2 = \frac{I}{\sqrt{x_q'^2 + y_q'^2 + z_q'^2}},$$

Враховуючи (21), (28), (29), отримаємо:

$$p_\tau = A_2(x_q - x) * x' + A_2(y_q - y) * y' + A_2(z_q - z - h) * z' \quad (32)$$

З урахуванням (24), (27), (30), отримаємо p_ρ , а з огляду на (25), (27), (29) отримаємо p_σ .

$$p_\rho = A_1(x_q - x)y' - A_1(y_q - y)x' \quad (33)$$

$$p_\sigma = -A_1A_2(x_q - x)x'z' - A_1A_2(y_q - y)y'z' + \dots + A_1A_2(z_q - z - h)(x'^2 + y'^2) \quad (34)$$

Таким чином в системі координат G вектор представляється у вигляді:

$$\bar{p} = \left\{ \begin{array}{l} A_2 [(x_q - x)x' + (y_q - y)y' + (z_q - z - h)] A_1 [(x_q - x)y' - (y_q - y)x'] \\ A_1 A_2 [-(x_q - x)x'z' - (y_q - y)y'z' + (z_q - z - h)(x'^2 + y'^2)] \end{array} \right\} \quad (35)$$

Швидкість точки Q щодо точки G можна знайти за формулою:

$$\bar{V}_{отн} = -\bar{V}_G + \bar{V}_Q \quad (36)$$

Координати вектора в нерухомій системі координат $Oxyz$ згідно (21) і (23):

$$V_{отн} = \{-A_2 vx' + B_2 v_q x'_q; -A_2 vy' + B_2 v_q y'_q; -A_2 vz' + B_2 v_q z'_q\} \quad (37)$$

$$\text{де: } B_2 = \frac{I}{\sqrt{x_q'^2 + y_q'^2 + z_q'^2}}.$$

Координати останнього вектора в системі координат G можна знайти аналогічно $\bar{\rho}$:

$$V_{отн.\tau} = (\bar{V}_{отн.}, \bar{\tau}) \quad (38)$$

$$V_{отн.\rho} = (\bar{V}_{отн.}, \bar{\rho}), \quad (39)$$

$$V_{отн.\sigma} = (\bar{V}_{отн.}, \bar{\sigma}). \quad (40)$$

З урахуванням (3) і (2) можна записати:

$$V_{отн.\tau} = (-A_1 vx' + B_2 v_q x'_q) A_2 x' + (-A_2 vy' + B_2 v_q y'_q) A_2 y' + \dots + (-A_2 vz' + B_2 v_q z'_q) A_2 z'. \quad (41)$$

Аналогічно:

$$V_{отн.\rho} = (-A_2 vx' + B_2 v_q x'_q) A_1 x' + (-A_2 vy' + B_2 v_q y'_q) A_1 y' \quad (41)$$

$$V_{отн.\sigma} = -(-A_1 vx' + B_2 v_q x'_q) A_1 A_2 x' z' - (-A_2 vy' + B_2 v_q y'_q) A_1 A_2 y' z' + \dots + (-A_2 vz' + B_2 v_q z'_q) A_1 A_2 (x'^2 + y'^2). \quad (42)$$

Таким чином, у системі координат G вектор $V_{отн}$ представляється у вигляді:

$$\bar{V}_{отн} = \left\{ \begin{array}{l} A_2 [(-A_2 vx' + B_2 v_q x'_q)x' + (-A_2 vy' + B_2 v_q y'_q)y' + \dots + (-A_2 vz' + B_2 v_q z'_q)z'] \\ A_1 [(-A_2 vx' + B_2 v_q x'_q)y' - (-A_2 vy' + B_2 v_q y'_q)x'] \\ A_1 A_2 [(-A_2 vx' + B_2 v_q x'_q)x'z' - (-A_2 vy' + B_2 v_q y'_q)y'z' + \dots + (-A_2 vz' + B_2 v_q z'_q)(x'^2 + y'^2)] \end{array} \right\} \quad (43)$$

Вирази (35) та (43) з точки зору кінематики повністю описують рух ДТЗУВ в системі координат, пов'язаної з автомобілем.

Положення будь-якої фіксованої дискретної точки зорової уваги водія може бути задано вектором R . Нерухома система координат $OXYZ$, рухома система координат $oxyz$ (з центром, що рухається над поздовжньої віссю траси дороги) і ДТЗУВ пов'язані між собою:

$$\bar{R} = \bar{r}_O + \bar{r} \quad (44)$$

або

$$\bar{r} = \bar{R} - \bar{r}_O \quad (45)$$

Вказаний закон руху ТЗВ (ідентичний закону руху автомобіля) може бути представлений у вигляді:

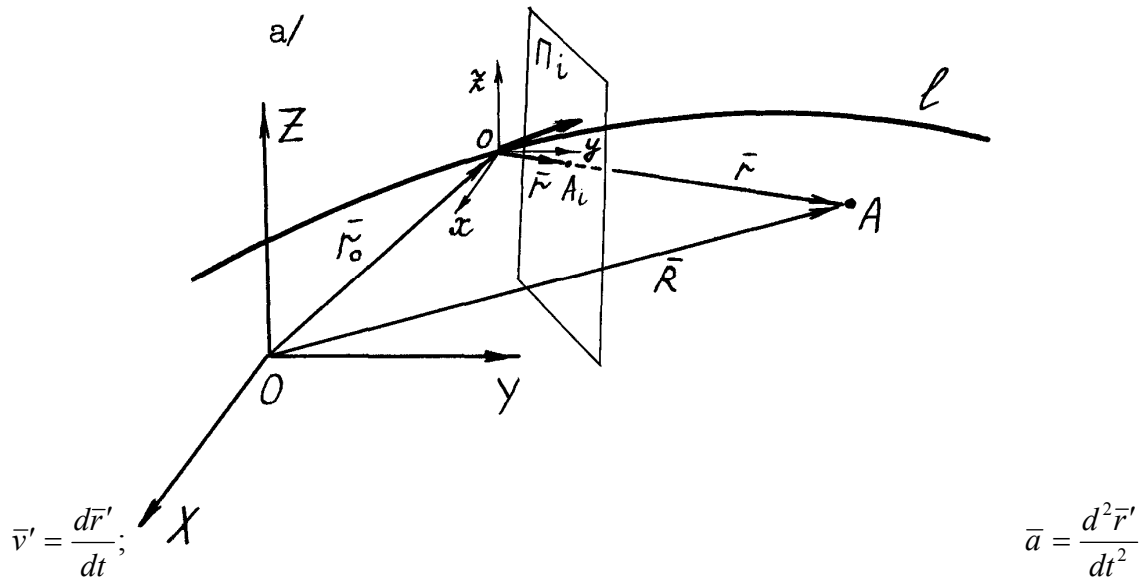
$$\bar{r}_O = x_O(t)\bar{e}_1 + y_O(t)\bar{e}_2 + z_O(t)\bar{e}_3 \quad (46)$$

Тоді положення точки P_i на картинній площині Π може бути визначено таким чином:

$$\bar{r}' = \frac{\bar{r}}{|\bar{r}|} * d \quad \text{або} \quad \bar{r}' = \frac{\bar{R} - \bar{r}'_0}{|\bar{R} - \bar{r}'_0|} - d \quad (47)$$

де: d - відстань від точки o до площини Π .

Слід зазначити, що \bar{V} і \bar{a} можуть бути визначені наступним чином:



б/

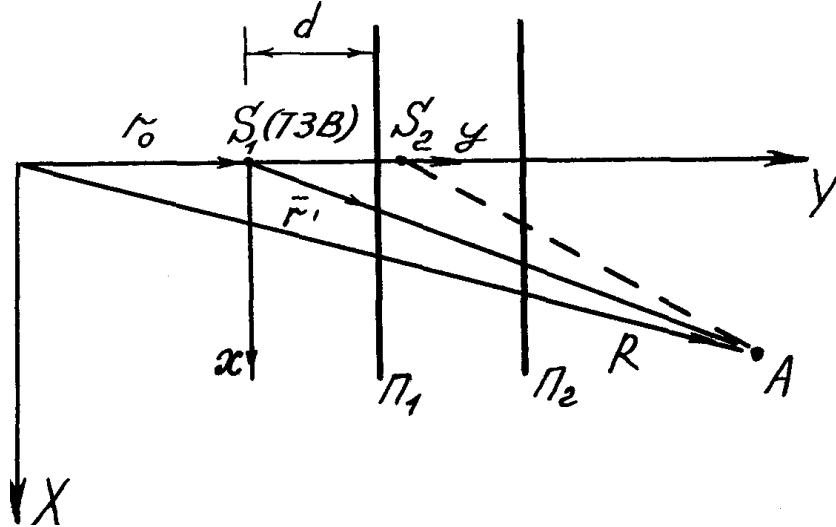


Рис. 2. Визначення розташування ДТЗУВ на картинній площині для випадку, коли вісь OY нерухомої системи координат збігається з віссю oy рухомої системи координат

Для випадку, коли вісь OY нерухомої системи координат збігається з віссю oy рухомої системи координат, можна записати:

$$\bar{r}'_0 = vt\bar{e}_2 + o\bar{e}_1 + o\bar{e}_3 \quad (48)$$

$$\bar{R} = X_p\bar{e}_1 + Y_p\bar{e}_2 \quad (49)$$

$$\bar{R} - \bar{r}' = X_p\bar{e}_1 + Y_p\bar{e}_2 = X_p\bar{e}_1 + (Y_p - vt)\bar{e}_2 \quad (50)$$

$$|\bar{R} - \bar{r}'_0| = \sqrt{X_p^2 + (Y_p - vt)^2} \quad (51)$$

$$\bar{r}' = \frac{X_p\bar{e}_1 + (Y_p - vt)\bar{e}_2}{\sqrt{X_p^2 + (Y_p - vt)^2}} * d \quad (52)$$

Висновки. Для цілей отримання закономірностей переміщення погляду водія в просторі (при зборі їм зорової інформації про дорожньо-транспортне середовище) представлена математична модель, що дозволяє описати кінематику руху ДТЗУВ. Модель, що отримана дозволяє кількісно оцінити відмінності в процесі отримання зорової інформації водіями-новачками та «еталонним» водієм (з досвідом професійної безаварійної роботи) і на цій основі, розробити практичні рекомендації з навчання водіїв безпечному керуванню транспортним засобом. На підставі отриманої моделі може бути обґрунтовано впровадження високотехнологічних технічних пристроїв контролю і забезпечення безпеки водія (наприклад, [3]).

Література

1. Гусєв О.В. Ефективність сприйняття водієм зорової інформації. - Автошляховик України, №2, 1998, с.19-20.
2. Гусєв О.В. Аналіз процесу збору водієм зорової інформації. - Вісник ТАУ, УТУ. -№3.- 1999, с. 112-114.
3. Гусєв О.В. Нові технології забезпечення безпеки руху в темний час доби (підсумки 4-х років досліджень) /доповідь, 59 наукова конф. професорсько–викладацького складу і студентів УТУ, Київ, 2001.

УДК 621.3: 502.2

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА МОДЕЛЬ РОЗПОДІЛУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ У ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ МІСТА

*Данчук В.Д., доктор фізико-математичних наук
Кривенко В.І, кандидат технічних наук
Олійник Р.В., кандидат фізико-математичних наук
Тарабан С.М.*

Вступ. Останнім часом відмічається різке погіршення умов дорожнього руху, особливо в мегаполісах [1,2]. Транспортні проблеми зростають високими темпами пропорційно росту рівня автомобілізації. Параметри існуючої вулично-дорожньої мережі вже не відповідають кількості автотранспорту, що експлуатується в місті. Більшість магістралей міста знаходяться на межі пропускної здатності. Знижується швидкість переміщення, зростає рівень дорожньої перевантаженості, що призводить до високого рівня аварійності, заторів і негативного впливу на навколишнє середовище. Ключовим питанням в розв'язанні проблеми являється впровадження сучасних технологій організації і управління дорожнім рухом. Складність розв'язку даної задачі обумовлена багатофункціональним і багаторівневим характером транспортної системи, динамічним та імовірнісним характером процесів, що вивчаються. Все це висуває транспортну проблему великого міста в один ряд з найважливішими проблемами управління міським господарством. Стійке функціонування транспортної системи міста залежить від швидкості отримання інформації необхідної і достатньої для успішного управління процесом забезпечення попиту населення міста на транспортне обслуговування.

Основна частина. Для управління транспортними потоками міста запропонована аналогова електротехнічна модель [3]. Розглядається модель зв'язаних кварталів (центрального району м.Києва) на основі розгалужених електричних мереж (Рис.1). Опори гілок вулично-дорожньої мережі, являють собою однорідні ділянки розташовані між вузлами – перехрестями автомобільних доріг, величина їх розраховувалися виходячи з максимально можливих значень пропускної здатності автомобільних доріг. Проведений кореляційно-регресійний аналіз статистичних показників вулично-дорожньої мережі зв'язаних кварталів, дозволив встановити кореляційні зв'язки між їх електротехнічними характеристиками, та побудувати регресійну модель опору руху (відгук) в залежності від протяжності ділянки дороги та кількості смуг (предиктори), параметри якої наведені в таблиці 1.