

лизированные планы системы управления, планы использования ресурсов и методы проверки систем и продуктов проекта.

Третья и последняя модель – сервисная, основанная на управлении знаниями, в которых накоплен опыт и информация, увеличивающие ценность системы управления, используются для открытия новых бизнес-направлений.

Таким образом, можно отметить, что вместе с изучением и внедрением методологии P2M в систему управления развитием энергопотребления коммунальной сферы, Украина автоматически получит инвестиционно привлекательную отрасль хозяйствования, способную гибко реагировать на изменения внешней и внутренней среды и производить продукцию с использованием инновационной составляющей, а следовательно, такую, которая в состоянии приносить высокую полезность обществу и быть конкурентоспособной на мировом рынке аналогичных товаров.

1.Бушуев С.Д., Бушуева Н.С. Проактивное управление программами организационного развития // Управление проектами – 2007. – №4. – С.37-50.

2.Кишира Юджи. Совершенствование механизмов управления строительством в общественном секторе Японии с помощью методологии P2M // Управление проектами. – 2007. – №4. – С.50-60.

3.Руководство по управлению инновационными проектами и программы: Т.1, версия 1.2: Пер. на рус. язык под ред. С.Д.Бушуева. – К.: Наук. Світ, 2009. – 173 с.

4.Стандарт Project Management Institute по управлению программами и портфелями. - URL: <http://pmi.ru/articles/presentations/12>. Дата обращения: 15.01.2010.

5.Шигенобу Охара, Юджи Кишира. Применение методологии P2M в гражданском строительстве и анализ результатов // Управление проектами. – 2005. – №3. – С.2-11.

*Получено 15.01.2010*

УДК 625.03

В.П.ШПАЧУК, д-р техн. наук, А.В.КОВАЛЕНКО, канд. техн. наук,  
Г.О.НІКІТІНА

*Харківська національна академія міського господарства*

### **УДАРНА ВЗАЄМОДІЯ ВАГОНУ ТРАМВАЯ З РЕЙКОВОЮ КОЛІСЮ В ЗОНІ СТИКОВОЇ НЕРІВНОСТІ ТИПУ «ЗАЗОР» ПРИ ПАРАМЕТРИЧНІЙ НЕРЕГУЛЯРНОСТІ ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ**

Досліджено і встановлено параметри ударної взаємодії вагону трамвая з рейковою колією з урахуванням експлуатаційних, механічних і геометричних характеристик транспортного засобу, а також варіантів завантаження вагона. Розглядаються найбільш типові стики трамвайної рейкової колії типу "ззор".

Исследованы и установлены параметры ударного взаимодействия вагона трамвая с рельсовым путем с учетом эксплуатационных, механических и геометрических характеристик транспортного средства, а также вариантов загрузки вагона. Рассматриваются наиболее типичные стыки трамвайного рельсового пути типа "ззор".

Probed and set parameters of shock co-operation of carriage of streetcar with a rail a way taking into account operating, mechanical and geometrical descriptions of transport vehicle, and also variants of load of carriage. The most typical joints of streetcar rail way of type are examined "gap".

*Ключові слова:* рейкова колія, трамвай, вагон, стик, взаємодія, удар.

Вплив зовнішніх нестационарних кліматичних факторів, а також ударних механічних впливів, що повторюються відповідно до стикових нерівностей колій, призводить до погіршення ресурсно-динамічних параметрів вагону, що накопичуються за часом, а також поступовому порушенню стикових з'єднань рейкової колії. Дана особливість більш характерна рейковим коліям, що розташовані в межах проїзної частини вулиць, коли дорожнє покриття ускладнює технічне обслуговування накладок з метою відновлення їхньої жорсткості. При цьому часові характеристики, що визначають працездатність і надійність стикового з'єднання, в істотній мірі виявляються залежними від параметрів ударної динамічної взаємодії колеса з приймаючою рейкою в місці стикової нерівності.

В роботах [1-5] взаємодія вагона з рейковою колією розглядається в обсязі механічної системи «колесо – рейка» як маси на пружній рейковій основі. Запропоновано враховувати, що сила ударної взаємодії при проходженні колесом стикової нерівності збільшується при підвищенні швидкості, однак, як показують результати досліджень [6-8], не враховуються швидкість руху транспортного засобу, швидкості центра мас колеса до і після удару, а також кутовий параметр зазору стику, геометричні характеристики колеса і зазору стику, геометричні і механічні характеристики стикових накладок, самих рейок, жорсткісні характеристики віддаючої і приймаючої рейок на кінці.

Дана робота присвячена дослідженню і встановленню параметрів зазначеної взаємодії з урахуванням експлуатаційних, механічних і геометричних характеристик транспортного засобу, колеса і стику рейкової колії, а також варіантів завантаження вагона. Розглядаються найбільш типові стики трамвайної рейкової колії типу "зазор".

Схема проходження стику типа "зазор" наведена на рис.1. Вона не суперечить даним робіт [1, 5, 7, 8] з дослідження ударної взаємодії в механічній системі «колесо – рейка». Тут  $m_1$  ( $P_1$ ),  $m_2$  ( $P_2$ ) – зведені маси (сили ваги) колеса (бандажа з центром) радіуса  $r$ , вагона і маточини з віссю;  $c$ ,  $\delta$  – коефіцієнти жорсткості і демпфірування підвіски вагона;  $q_1, q_2$  – узагальнені координати вертикального руху мас  $m_1, m_2$ ;  $A_p$ ,  $D$  – ребра контакту віддаючої і приймаючої рейок з колесом;  $\alpha_0$ ,  $\beta$ ,  $h_1$ ,  $L_1$ ,  $A$  – кутові й лінійні координати схеми;  $\Delta$  – ширина стику;  $T_{c1}$ ,  $T_{c2}$ ,  $\bar{V}_x$ ,

$\bar{V}_1$ ,  $\bar{V}_2$  – траєкторії центра мас колеса і швидкості руху вагона, а також колеса на фазах доударної, післяударної і динамічної взаємодії.

В дослідженні механізм ударно-динамічної взаємодії колеса з рейковою колією в місті стику складається з наступних фаз.

На фазі 1 доударної взаємодії колеса і приймаючої рейки прийнято, що колесо опускається на приймаючу рейку не відриваючись від ребра віддаючої рейки, а центр мас його рухається по траєкторії  $T_{c1}$  (дуга  $C_1C_2$ ), здобуваючи в точці  $C_2$  швидкість  $\bar{V}_1$ .

На фазі 2 ударної взаємодії колеса з приймаючою рейкою в точці Д колесо випробує удар, а рух колеса миттєво змінюється з плоско-паралельного на обертальний навколо ребра Д приймаючої рейки. Одноразово швидкість центра мас колеса змінюється з доударної швидкості  $\bar{V}_1$  на післяударну швидкість  $\bar{V}_2$ , яка завжди спрямована під кутом до горизонту.

На фазі 3 силової взаємодії колесо піднімається на голівку (поверхню катання) рейки. Це визначається траєкторією  $T_{c2}$  центра мас колеса (дуга  $C_2C_3$ ).

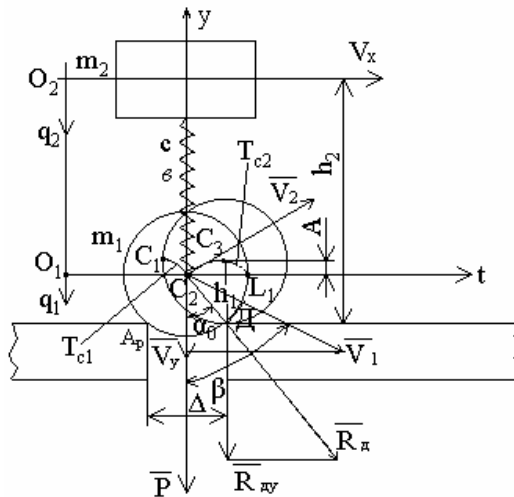


Рис.1 – Схема проходження колесом рейкового стику

Також при ударі колеса об ребро Д приймаючої рейки не відбувається відриву колеса від рейки, а також його ковзання по рейці, що забезпечується абсолютною шорсткістю контактуючих поверхонь бандажа колеса і приймаючої рейки. Враховується, що тіла взаємодіючої

механічної системи за час удару (час дії ударного імпульсу) не переміщуються [1, 5, 8, 9, 11].

Для визначення величини ударного імпульсу  $\bar{S}_d = S_{dx} \bar{i} + S_{dy} \bar{j}$  застосуємо теорему про зміну моменту кількості руху (МКР) механічної системи при ударі в напрямку нерухомої горизонтальної осі, що проходить уздовж ребра Д приймаючої рейки:

$$K_{d1} - K_{d2} = \sum_{i=1}^n M_d(\bar{S}_i^E). \quad (1)$$

Відповідно до рис.1 в рівнянні (1) сума моментів зовнішніх ударних імпульсів, прикладених до колеса, щодо осі Д дорівнює  $\sum_{i=1}^n M_d(\bar{S}_i^E) = 0$ , оскільки ударний імпульс  $\bar{S}_d$  перетинає центр мас (точку  $C_2$ ) колеса. В результаті отримаємо

$$K_{d2} - K_{d1} = 0. \quad (2)$$

Для механічної системи, що розглядається, враховуючи плоско-паралельний рух колеса, маємо:

$$K_{d1} = m_1 \cdot V_1 \cdot h_1 + J_c \cdot \frac{V_x}{r} + m_2 V_x h_2,$$

де  $h_1 = r \cdot \sin(\beta - \alpha_0)$ ;  $\beta = \arccos(V_y/V_1)$ ;  $\alpha_0 = \arcsin((D/2)/r)$ ;  $J_c = m_1 r^2/2$  – момент інерції колеса щодо осі, що проходить через його центр мас  $C$ ;

$K_{d2} = J_d \cdot V_2/r + m_2 \cdot V_x \cdot h_2$ ;  $J_d = \frac{3}{2} m_1 r^2$  – момент інерції колеса щодо осі, що проходить через точку Д.

З виразу (2) післяударна швидкість колеса буде:

$$V_2 = (2V_1 \cdot \sin(\beta - \alpha_0) + V_x)/3 = (2\sqrt{V_x^2 + V_y^2} \cdot \sin(\beta - \alpha_0) + V_x)/3,$$

$$\text{де } V_y = \frac{\Delta \cdot V_x}{2r\sqrt{1 - \frac{\Delta^2}{4r^2}}}; \quad V_1 = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}.$$

Знайдемо далі величину ударного імпульсу  $S_{dy}$ , що отримує коло з боку приймаючої рейки і відповідно, що діє на приймаючу рейку в місці її взаємодії з колесом. Величина отриманого ударного імпульсу є в подальшому базовим параметром при розрахунку прогину приймаючої рейки на фазі його зростання.

Для цього складемо рівняння теорему про зміну кількості руху механічної системи “підресорена маса – рейка” (рис.1) при ударі в проекціях на вертикальну вісь Оу:

$$m_1 V_{2y} + m_1 V_{1y} = S_{\text{дy}}$$

або

$$m_1 V_2 \sin \alpha_0 + m_1 V_1 \cos \beta = S_{\text{дy}},$$

або

$$S_{\text{дy}} = m_1 V_2 \sin \alpha_0 + m_1 V_1 \cos \beta. \quad (3)$$

З виразу (3) ударний імпульс, отриманий приймаючою рейкою з боку колеса, що проходить стик, буде функцією швидкості вагона  $V_x$  і величини зазору  $\Delta$  стику. Ця залежність  $S_{\text{дy}} = S_{\text{дy}}(V_x, \Delta)$  розрахована при  $m_1 = 1100$  кг,  $r = 0,35$  м і наведена на рис.2.

Для швидкості вагона  $V_x = 7$  м/с і середніх значень зазору  $\Delta = 30$  мм одержимо  $S_{\text{дy}} = 376,9$  Н·с.

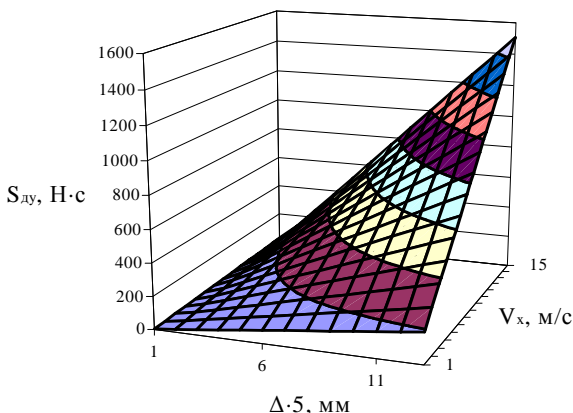


Рис.2 – Залежність для ударного імпульсу  $S_{\text{дy}}$

Аналіз залежності показує, що при швидкості вагона  $V_x = 7$  м/с і зазорі стику  $\Delta = [1 \div 60]$  мм ударний імпульс здобуває зміни відповідно в діапазоні  $S_{\text{дy}} = (3,14 \div 1504,98)$  Н·с.

Розглянемо далі фазу 3 проходження колесом стикової нерівності. При цьому центр мас колеса рухається по траєкторії  $T_{c2}$ , тобто по дузі  $C_2C_3$ .

На рис.1 зусилля  $R_{\text{дy}} = R_d \cdot \cos \alpha(t) = P \cdot \cos^2 \alpha(t)$ ,  $\alpha_0 = \arcsin((\Delta/2)/r)$ .

Силу взаємодію колеса з приймаючою рейкою визначимо як:

$$R_{\text{дy}} = (c(q_2 - q_1) + P_1 + P_2) \cdot \cos^2 \alpha(t), \quad (4)$$

де  $t = [0 \div \pi/\omega_b] = [0 \div L_1/V_x]$ ;  $L_1 = \Delta$ ;  $\alpha(t) = [\alpha_0 \div 0]$ ;  $\omega_b$  – кругова частота кінематичного збудження з боку приймаючої рейки на зведену підресорену масу вагона ( $\omega_b = \pi V_x/L_1$ );  $q_1 = A \cdot \sin \omega_b t$ ,  $A = r - (r^2 - \Delta^2/4)^{1/2}$ .

Вертикальні переміщення  $q_2$  підресореної маси  $m_2$  визначимо з диференціального рівняння, що описує її коливання при

кінематичному збудженні типу  $A \sin \omega_b t$ :

$$m_2 \ddot{q}_2 + b \dot{q}_2 + c q_2 = c \cdot A \cdot \sin \omega_b t. \quad (5)$$

Розв'язанням рівняння (5) буде:

$$q_2 = \left[ q_{20} - \frac{A \cdot c}{\sqrt{(c - m_2 \omega_b^2)^2 + b^2 \omega_b^2}} \sin \varphi_0 \right] e^{-h t} \cdot \cos \omega_1 t + \\ + \left[ \frac{q_{20} + q_{20} \cdot h}{\omega_1} - \frac{h \cdot \sin \varphi_0 + \omega_b \cdot \cos \varphi_0}{\omega_1} \cdot \frac{A \cdot c}{\sqrt{(c - m_2 \omega_b^2)^2 + b^2 \omega_b^2}} \right] e^{-h t} \cdot \sin \omega_1 t + \\ + \frac{A \cdot c}{\sqrt{(c - m_2 \omega_b^2)^2 + b^2 \omega_b^2}} \sin(\omega_b t + \varphi_0),$$

де  $\varphi_0 = -\arctg \frac{b \cdot \omega_b}{c - m_2 \omega_b^2}$  – початкова фаза коливального руху маси

$$m_2; h=b/2m_2; \omega_1 = \sqrt{\omega_0^2 - h^2}; \omega_0 = \sqrt{c/m_2}; q_{20}=0; q_{20} = V_2 \cdot \sin \alpha_0.$$

Часові залежності  $R_{\text{дв}}(t)$  при  $\Delta = \text{Var}$  наведено на рис.3. При цьому прийнято, що:  $V_x = [1 \div 15 \text{ м/с}]$ ,  $m_1 = 1100 \text{ кг}$ ;  $m_2 = [17000/4 \text{ (порожній вагон Т-3) (рис.3, а); } 25050/4 \text{ (середнє завантаження вагона при 115 пасажирів (5 чол./м}^2\text{) (рис.3, б); } 30510/4 \text{ (максимальне завантаження вагона при 193 пасажирів (10 чол./м}^2\text{) (рис.3, в); }]$  коефіцієнти жорсткості й опору  $c=8,45 \cdot 10^5 \text{ кг/с}^2$ ;  $b=24 \cdot 10^3 \text{ кг/с}$ ;  $r=0,35 \text{ м}$ ,

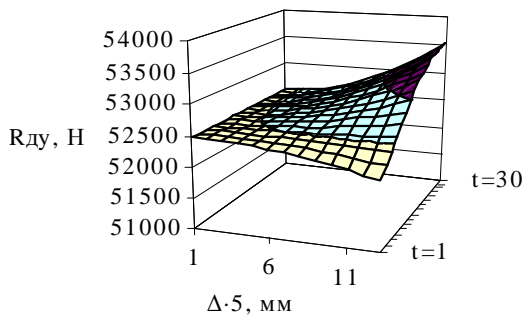
$$\Delta=[1,5, \dots, 60] \text{ мм}; t=2 \cdot t_t \cdot \kappa_2^{-1}, t_t = (L_1/2V_x)/30 \text{ і } \kappa_2 = (1,16).$$

У даній роботі дослідження для  $R_{\text{дв}}(t)$  виконано при допущенні, що дуга  $C_2C_3$  на рис.1 траєкторії  $T_{c2}$  є частиною напівхвилі  $C_2L_1$  синусоїди з періодом  $2L_1$  і амплітудою  $A$  в напрямку осей  $t$  і  $y$  відповідно. Дане припущення є прийнятним, оскільки величини отриманих відповідно до (6) власних частот  $\omega_1$  при різному завантаженні вагона (таблиця), не суперечать отриманим у роботах [11, 12] експериментальним даним для трамвайного вагона Т-3.

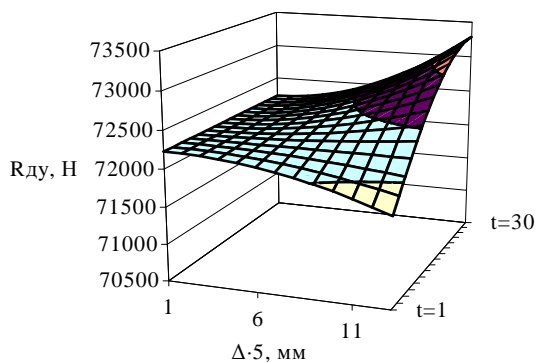
Величини власних частот  $\omega_1$  при  $m_2 = \text{Var}$

| Частота,<br>рад/с | Тип завантаження |                      |                          |
|-------------------|------------------|----------------------|--------------------------|
|                   | порожній вагон   | середнє завантаження | максимальне завантаження |
| $\omega_1$        | 13,81            | 11,4                 | 10,4                     |

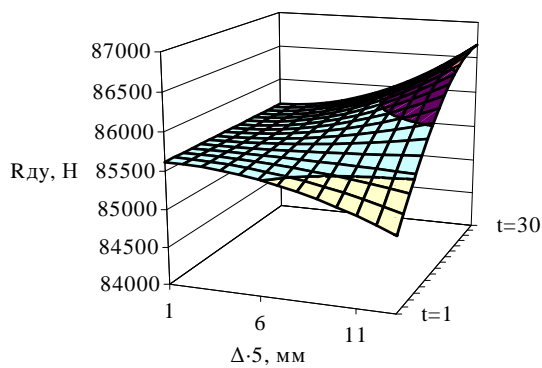
Порівняльний аналіз даних з таблиці показує, що для власних частот  $\omega_1$  і частот збудження  $\omega_b$  незалежно від швидкості руху  $V_x$  вагона, також величин  $\Delta$  і  $h$  стику, виконується співвідношення



a



б



в

Рис.3 – Залежності зусиль динамічної взаємодії  $R_{dy}$

$\omega_1 < \omega_b / \sqrt{2}$ . У цьому випадку, з огляду на [9, 10], досягається практично повна фільтрація високочастотних складових сигналу динамічного кінематичного впливу на підресорену масу вагона через амортизатор, що обумовлені неточностями апроксимації реальної траєкторії  $C_2C_3$  напівхвилею синусоїди.

Наведені на рис.3 залежності ударного імпульсу показують, що вони носять при  $V_x = \text{var}$ ,  $\Delta = \text{var}$ ,  $h = \text{var}$  параболічну форму, при цьому встановлено наступне:

– для стику типу "зазор" при  $V_x = 15$  м/с амплітуда ударного імпульсу  $S_{\text{ду}}(\Delta, V_x)$  при  $\Delta = [1 \div 60]$  мм змінюється в діапазоні  $[24, 14 \div 1504, 98]$  Н·с, тобто в 59,86 рази.

Аналіз залежностей  $R_{\text{ду}}(\Delta, t)$  дозволяє зробити наступні теоретично і практично значимі висновки:

– зусилля динамічної взаємодії колеса з приймаючою рейкою є функцією швидкості руху вагона  $V_x$ , зазору  $\Delta$  і висоти  $h$  стику, геометричних ( $r, A, L_1$ ) і механічних ( $c, b, m_1, m_2$ ) параметрів транспортного забору;

– за величиною воно змінюється при  $V_x = [1 \div 15]$  м/с у діапазонах:

$R_{\text{ду}} = (52483,8 \div 53571,7 \text{ Н})$  – порожній вагон (рис.3, а);

$R_{\text{ду}} = (72225,98 \div 73314,4 \text{ Н})$  – середнє завантаження вагона

(рис.3, б);

$R_{\text{ду}} = (85617 \div 86705,1 \text{ Н})$  – максимально завантажений вагон

(рис.3, в);

– для стику типу "зазор" при  $\Delta = m_\Delta = 30$  мм воно змінюється, наприклад, при  $V_x = [1 \div 15]$  м/с і варіюванні завантаження вагона в діапазоні  $[52387,0 \div 85888,51]$  Н, в 1,64 рази.

Отримані значення ударних імпульсів  $S_{\text{ду}}$  і параметри вертикального зусилля  $R_{\text{ду}}(t)$  на приймаючу рейку використовуються при чисельному аналізі й оптимізації експлуатаційних і конструктивних параметрів взаємодії вагона з рейковою колією у місці ізольованих стикових нерівностей.

1.Кудрявцев Н.Н. Исследование динамики необрессоренных масс вагонов. – М.: Транспорт, 1965. – 168 с.

2.Лазарян В.А. Динамика вагонов. Устойчивость движения и колебания. – М.: Транспорт, 1964. – 255 с.

3.Ушкалов В.Ф., Резников Л.М., Редько С.Ф. Статистическая динамика рельсовых экипажей. – К.: Наук. думка, 1982. – 359 с.

4.Годыцкий-Цвирко А.М. Взаимодействие пути и подвижного состава железных дорог. – М.: Огиз-Гострансиздат, 1931. – 215 с.

5.Вериго М.Ф., Коган А.Я. Взаимодействие пути и подвижного состава / Под ред. М.Ф.Вериго. – М.: Транспорт, 1986. – 559 с.



6.Шпачук В.П., Далека В.Х., Коваленко А.В. Стикова динаміка трамвая. – Харків: ХНАМГ, 2008. – 205 с.

7.Коваленко А.В. Ударное взаимодействие трамвая с принимающим рельсом в месте изолированной стыковой неровности // Східно-Європейський журнал передових технологій. Вып.2/2 (14). – 2005. – С.31-33.

8.Шпачук В.П., Коваленко А.В. Прогибы рельсового пути в месте изолированной стыковой неровности с учетом фаз доударного баллистического и послеударного безотрывного движений // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.63. – К.: Техніка, 2005. – С.216-225.

9.Павловський М.А. Теоретична механіка. – К.: Техніка, 2002. – 512 с.

10.Коловский М.З. Нелинейная теория виброзащитных систем. – М.: Наука, 1966. – 320 с.

11.Ефремов И.С., Гуцо-Малков Б.П. Теория и расчет механического оборудования подвижного состава городского электрического транспорта. – М.: Транспорт, 1970. – 480 с.

12.Исследование нагруженности балок подвески тяговых двигателей трамвайных вагонов Т-3 в режимах тяги и торможения. – М.: Транспорт, 1983. – 83 с.

*Отримано 11.01.2010*

УДК 656.13

О.О.ЛОБАШОВ, канд. техн. наук

*Харківська національна академія міського господарства*

## **ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ У МІСТАХ**

Наведено результати дослідження залежності «інтенсивність руху – швидкість транспортного потоку». Описуються математичні моделі, що дозволяють розрахувати швидкість транспортних потоків на різних категоріях міських вулиць.

Приведены результаты исследования зависимости «интенсивность движения – скорость транспортного потока». Описываются математические модели, позволяющие рассчитать скорость транспортных потоков на различных категориях городских улиц.

The results of the study according to «the traffic – speed of traffic». Mathematical models allow to calculate the speed of traffic on different categories of urban streets.

*Ключові слова:* транспортна мережа, транспортні потоки, моделювання транспортних потоків, швидкість транспортного потоку.

Управління транспортними потоками передбачає знання закономірностей зміни основних параметрів транспортних потоків [1, 2] і наявність методів, що дозволяють оперативно у реальному масштабі часу визначати основні параметри транспортних потоків. Для цього можуть використовуватись різноманітні методи автоматизованого обліку [1, 2]. Але ці методи не придатні для визначення параметрів транспортних потоків у перспективі, при проектуванні заходів щодо управління транспортними потоками. При вирішенні подібних завдань перевагу надають використанню різних моделей транспортних потоків [1-3].