

УДК 656.052.44+519.245+ 629.076

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СЕРЕДНЬОЇ ТЕХНІЧНОЇ ШВИДКОСТІ ПІД ЧАС РУХУ АВТОМОБІЛЯ НА ПРЯМІЙ ДІЛЯНКІ ДОРОГИ

С.І. Кривошапов, к.т.н., доцент

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

В процесі експлуатації по дорозі відбувається постійна зміна режиму руху автомобіля, що впливає на основні паливно-економічні та екологічні показники. Керування автомобілем на прямолінійній ділянці дороги зводиться тільки до зміни швидкості руху. Використовувати миттєві значення швидкості не зручно, зважаючи на їх випадковість характеру, тому в розрахунках визначають середні значення швидкості.

Основні швидкісні показники можна отримати експериментальними, розрахунковими та імітаційними методами. Оцінку швидкісних властивостей автомобіля на дорозі проводиться за методикою [1]. Розрахункові методи базуються на законах динаміки [2] або кінематики [3] для автомобіля. Імітаційне моделювання виконується на комп'ютері з використанням спеціалізованого програмного забезпечення, наприклад: Cube Voyager, TransModeler, VisSim, Arena Simulation и др.

Складнощі процесу моделювання полягає в тому, що на швидкість впливає велика кількість чинників: конструкція автомобіля, стан дороги, наявність інших учасників дорожнього руху, обмеження швидкості і ін. У методиці [4] розраховується середня технічна швидкість руху автомобіля в залежності від дорожніх, транспортних і атмосферно-кліматичних умов.

Рух автомобіля в межах великого міста має певну особливість: циклічну зміну швидкості в потоці, часті повні зупинки перед перехрестям, рух на низьких передачах, обмеження максимальної швидкості до 50 км/год. [5].

Прискорення і уповільнення автомобіля може відбуватися з різною інтенсивністю, що залежить від об'єктивних та суб'єктивних факторів. Відстань між зупинками транспортного засобу носить випадковий характер. Розрахункова модель швидкості автомобіля повинна включати детерміновану і стохастичну складову.

Сутність методу Монте-Карло полягає у проведенні багаторазового чисельного експерименту за математичної моделлю при зміні початкових умов, які вибираються випадковим чином в межах встановлених границь, з подальшою статистичною обробкою результатів розрахунку і отримання невідповідних параметрів.

Розглянемо кінематику руху одиночного автомобіля по рівній прямолінійній дорозі. Можна виділити 3 режиму: прискорення, рух з постійною швидкістю і уповільнення. Випадки вільного вибігу і екстреного гальмування не розглядаємо, хоча вони представляють чесний випадок уповільнення.

Цілі математичного моделювання - визначити середню технічну швидкість руху автомобіля в залежності від довжини ділянки дороги.

Прийнято наступні припущення. Розглядається один швидкісний цикл: «прискорення - уповільнення». Автомобіль є матеріальною точкою без маси. Сили взаємодії автомобіля з навколишнім середовищем і втрати енергії не враховуються. Поздовжні і поперечні нахили дороги відсутні. Початкова і кінцева швидкості автомобіля дорівнює нулю. Прискорення або уповільнення автомобіля відбувається з однаковою інтенсивністю по прямій. Інші учасники дорожнього руху і обмеження відсутні.

Рівняння зміни шляху від часу при прискоренні автомобіля наступне:

$$x = x_0 + V_0 \cdot t + \frac{a_1 \cdot t^2}{2}, \quad (1)$$

де x_0 = початкове положення автомобіля, м; V_0 - початкова швидкість автомобіля, м/с; a_1 - прискорення автомобіля. м/с²; t - час, с.

У початковий момент часу: $x_0 = 0$ та $V_0 = 0$. Час проходження першої ділянки - t_1 .

За цей час автомобіль переміститься від $x_0=0$ до $x_1 = \frac{a_1 \cdot t_1^2}{2}$.

Зміна шляху від часу при рівномірному русі:

$$x = x_0 + V_0 \cdot t, \quad (2)$$

Для другого режиму: $x_0 = x_1$, а $V_0 = V$. В кінці другої ділянки автомобіль витратить

час: $t_1 + t_2$, а загальний шлях складе: $x_2 = \frac{a_1 \cdot t_1^2}{2} + V \cdot t_2$.

Зміна шляху від часу при уповільненні автомобіля:

$$x = x_0 + V_0 \cdot t - \frac{a_2 \cdot t^2}{2}, \quad (3)$$

Початкові умови для уповільнення: $x_0 = x_2$, а $V_0 = V$. На проходження третього

ділянки витрачається час t_3 . Загальний шлях складе $x_3 = \frac{a_1 \cdot t_1^2}{2} + V(t_2 + t_3) - \frac{a_2 \cdot t_3^2}{2}$.

На рис. 1 наведено графік поточного часу на кожній ділянці маршруту від пересування автомобіля. При складанні графіка були прийняті наступні показники: $a_1 = 2 \text{ м/с}^2$; $a_2 = 1 \text{ м/с}^2$; $V = 13.9 \text{ м/с}$ (50 км/год.). За результатами розрахунку: $t_1 = 6.95 \text{ с}$, $t_2 = 25.58 \text{ с}$, $t_3 = 13.89 \text{ с}$. Загальний шлях складе $x_3 = 500 \text{ м}$.

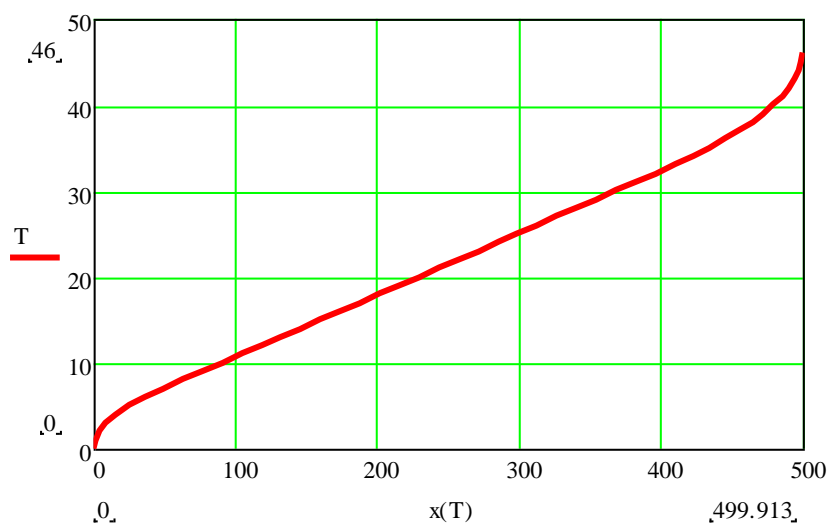


Рисунок 1 – Зміна часу на маршруті

Середня швидкість руху автомобіля складатиме: $V_{cp} = \frac{S}{T}$.

Для прикладу, що розраховували, середня швидкість $V_{cp} = 10.8 \text{ м/с}$ (38.8 км/год.).

Загальний шлях - це сума відстаней на кожному із ділянок, тобто $S = S_1 + S_2 + S_3$. Для нашої задачі S є аргументом, а від його значення залежить шлях другої ділянки:

$$S_2 = S - S_1 - S_3. \text{ При цьому } S_1 = \frac{V^2}{2 \cdot a_1} \text{ та } S_3 = \frac{V^2}{2 \cdot a_2}.$$

Загальний час проходження всього маршруту: $T = t_1 + t_2 + t_3$.

Розрахуємо середню технічну швидкість автомобіля при декількох значеннях вихідних показників. Прискорення і уповільнення автомобіля змінюється у межах від 1 м/с^2 до 5 м/с^2 . Довжина мірної ділянки - від 200 м до 800 м. При моделюванні випадковим чином

згенеровано значення показників в цьому діапазоні у кількості 1000 од. Закон генерації випадкового числа - рівномірний.

Вибір діапазону прискорення і уповільнення обумовлене наступною логікою. Мимовільна зміна швидкості, яке зазначено як «шум прискорення», відбувається до 1 м/с^2 , тоді як прискорення більш 1 м/с^2 вважається маневром. Мінімальне уповільнення автомобіля, при якому гальмівна система зберігає свою ефективність, становить 5 м/с^2 . Максимальна швидкість автомобіля 50 км/год. , відповідає вимогам [5].

На рис. 2 представлені результати розрахунку середньої швидкості автомобіля від довжини ділянки. На 1000 випробувань математичне очікування середньої швидкості склало 42.1 км/год. , а середнє квадратичне відхилення – 3.5 км/год.

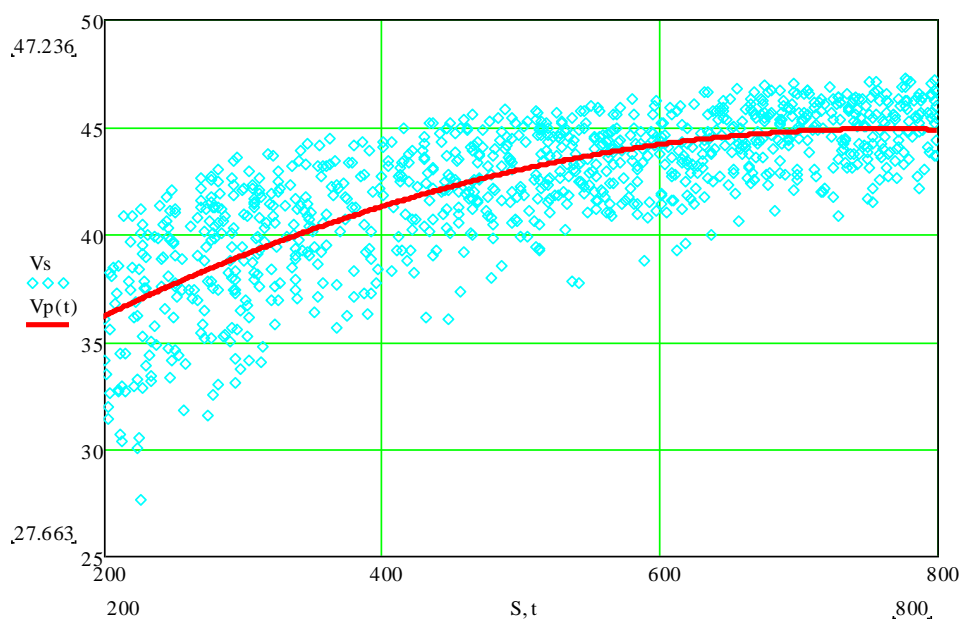


Рисунок 2 – Результат моделювання середньої швидкості руху автомобіля

На рис. 2. суцільною лінією вказано результат апроксимації поліномом другого ступеня виду: $V_{cp} = -2.76 \cdot 10^{-5} \cdot S^2 + 0.042 \cdot S + 28.8$. Зі збільшенням довжини ділянки S середня швидкість також збільшується.

Проведене математичне моделювання дозволяє з деякою точністю встановити середню технічну швидкість автомобіля на дорозі. Безперешкодний проїзд перехресть дозволяє підтримувати середню швидкість на 5 км/год. нижче максимального значення. Частота зупинок 200 м знижує середню технічну швидкість руху до 35 км/год. , а зупинки кожні 100 м - до 25 км/год. Середня експлуатаційна швидкість, яка враховує також час простою, в цих умовах буде ще нижче.

Література:

- ГОСТ 22576-90. Автотранспортные средства. Скоростные свойства. Методы испытаний. М.: Из-во стандартов, 1991. 15 с.
- Волков Е.В. Теория движения автомобиля : монография. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2018. 204 с.
- Безборожова Г.Б., Галушко В.Г. Моделирование движения автомобиля. Киев: Вища школа, 1978. 168 с.
- Говорущенко Н.Я., Туренко А.Н. Системотехника транспорта (на примере автомобильного транспорта). Х.: РИО ХГАДТУ, 1998. 474 с.
- Постанова Кабінетна Міністрів України № 1306 від 10 жовт. 2001 р. Про Правила дорожнього руху. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1306-2001-п#Text> (дата звернення: 09.11.2020).