

Аналітичний метод визначення часу розгону в комп'ютерному моделюванні динамічної системи «автомобіль-дорога»

Ігор Грицук¹, Юрій Грицук², Микита Савенков³

¹ - Кафедра «Автомобілі та автомобільне господарство», ² - Кафедра вищої і прикладної математики та інформатики, ³ - студент, Донбаська національна академія будівництва і архітектури, УКРАЇНА, м.Макіївка, вул.Державіна, 2, E-mail: yuri_gorlovka@ua.fm

Abstract – The article is devoted to the actual problem of using of information technologies in the motor transport design. Application of analytical and graphic method of time determination of vehicle acceleration and its realization in Microsoft Excel is considered. A calculation complex for the analysis of the system «car-road» is represented in the article.

Ключові слова – design, information technologies, analysis, vehicle.

I. Вступ

На сьогоднішній день при постійному розвитку комп'ютерних та інформаційних технологій, стає можливим за допомогою персонального комп'ютера створювати і у лічені секунди вирішувати достатньо трудомісткі програми (програмні комплекси) та розрахункові модулі, маючи при цьому високий ступінь точності одержуваних результатів і малу ймовірність помилки.

Перед автомобілебудуванням, як складовою частиною транспортної системи країни, на сьогоднішній день постають актуальні питання підвищення тягового зусилля, вантажопідйомності, рівня комфорту і безпеки, зменшення осьового навантаження і витрати палива, а також поліпшення екологічних показників автомобілів.

II. Основна частина

Ґрунтуючись на стандартному методі розрахунку автомобіля [1] було створено розрахунковий модуль у табличному процесорі Microsoft Excel, що дозволяє всебічно розглядати динамічну систему «автомобіль-дорога». Модуль складається з восьми блоків:

1. тяговий баланс і швидкість руху,
2. аналіз сил опору руху (Рис. 1),
3. динамічний паспорт,
4. прохідність,
5. гальмування,
6. стійкість,
7. продуктивність,
8. витрата палива.

Крім того, виконується аналіз динаміки розгону автомобіля, методом аналітичного визначення часу і шляху розгону в заданому інтервалі швидкості, згідно описаної в літературі [2] методики. На підставі створеної моделі «автомобіль-дорога» визначається диференціальна залежність оптимального режиму роботи двигуна від умов, в яких експлуатується транспортний засіб, забезпечуючи оптимальне сполучення екологічного ефекту, необхідної потужності і моторесурса.

Розрахунковий модуль є універсальним і може бути повною мірою орієнтований на розрахунок харак-

теристик транспортних засобів починаючи від магістральних автопотягів і закінчуючи легковими автомобілями. Для проведення комплексного аналізу необхідно мати достатню кількість даних щодо виду транспортного засобу, який підлягає розрахунку, серед яких докладні відомості про геометрію двигуна, паливо, процеси горіння у циліндрах, потужність, моменти на валу двигуна, передатні відносини і моменти інерції трансмісії, тип прохідності, геометрію і тип гальмівної системи, закони розподілу маси автомобіля, геометрію кузова, дорожні умови і т.і. [3].

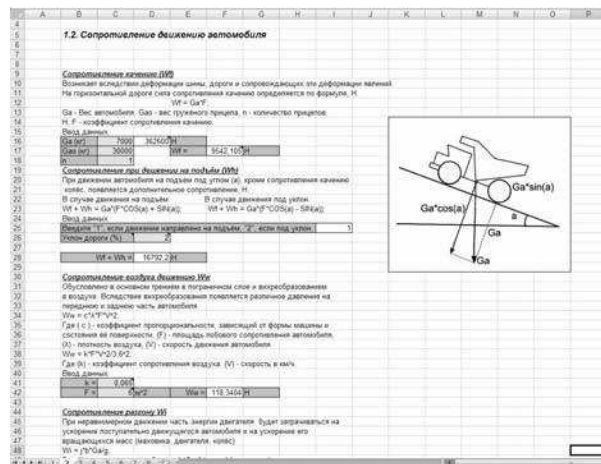


Рис. 1. Фрагмент розрахункового модуля (блок «Опір руху автомобіля»).

Таким чином, змінивши необхідні параметри автомобіля в його математичній моделі, ми миттєво одержимо відомості про наслідки такої модифікації. Також можливе і розв'язання зворотного завдання – вибір обраних характеристик автомобіля при заданих умовах експлуатації.

Однією з особливостей розрахункового модуля є те, що в ньому може використовуватися аналітичний метод визначення часу розгону автотransпортного засобу.

Відомо, що певну складність при виконанні тягово-експлуатаційного розрахунку автомобіля викликає розрахунок часу розгону автотransпортного засобу, при цьому необхідно побудувати графік зворотних прискорень, що зв'яже величину зворотних прискорень зі швидкістю руху. Залежність являє собою сукупність кривих, число яких відповідає кількості передатних варіантів трансмісії (Приклад залежності для 5-ти східчастої КПП на рис. 2). Площа під цими графіками (Т на графіку) і буде часом розгону по передачі, отже, сума всіх Т – загальний час.

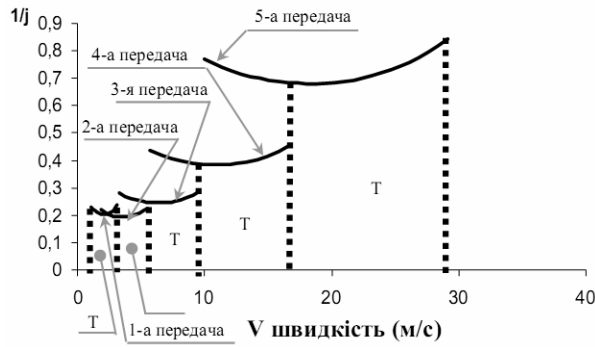


Рис. 2. Зворотні прискорення автотранспортного засобу

Для оцінки динаміки розгону автотранспортного засобу (АТЗ) разом з величинами прискорень використовують наступну залежність:

$V = f(t)$; - швидкості руху АТЗ при розгоні від часу.

Далі задача полягає в тому, щоб знайти площу під кожною кривою на рис. 2, а потім, підсумувавши їх, визначити загальний час розгону АТЗ.

Як відомо, прискорення АТЗ визначає залежність [4]:

$$j = \frac{dV}{dt} = g \left(\frac{D - \psi}{\delta} \right); \quad (1)$$

Для рис.2 залежність буде наступною:

$$\frac{1}{j} = \frac{dt}{dV} = \frac{\delta}{g(D - \psi)}; \quad (2)$$

Кожна крива визначається даним рівнянням із точністю до передавального числа $i_k \times 0$. Отже, якщо проінтегрувати цю функцію, ми одержимо площу криволінійної трапеції, яку зверху обмежує задана крива, знизу вісь швидкості, а зліва і справа – нижня (V_{min}) і верхня (V_{max}), відповідно, межі швидкостей по кожній передачі КПП (рис. 3).

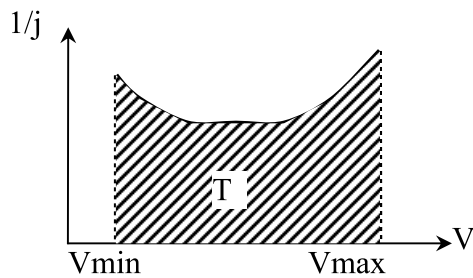


Рис. 3. Довільна крива зворотного прискорення

На рис. 3 чітко видно межі інтегрування – швидкості початку і кінця розгону по n-му передавальному співвідношенню трансмісії. Т – шуканий час, за яке розженеться АТЗ від V_{min} до V_{max} . Виходячи з графіка [4]:

$$T_N = \int_{V_{min}}^{V_{max}} \frac{dV}{j}; \quad (3),$$

$$T_{заг} = \sum_{I=1}^N \int_{V_{min}}^{V_{max}} \frac{dV}{j}; \quad (4)$$

Але, як видно з формули (2), V там немає. Перетворюємо (3) в пряму залежність від V.

Розглянемо формулу 1:

$$D = \frac{P_k - W_w}{G_a}; \quad (5)$$

$$n = \frac{i_k i_o V}{r 0.377}; \quad (6)$$

$$\delta = 1 + 0.04 + 0.06 \times i_k^2; \quad (7)$$

$$P_k = M_e i_k i_o \eta; \quad (8)$$

$$W_w = \frac{k F V^2}{3.6^2}; \quad (9)$$

$$M_e = 9554 \frac{N_e}{n}; \quad (10)$$

$$N_e = N_{e_{max}} \left(a \frac{n}{N} + b \left(\frac{n}{N} \right)^2 - c \left(\frac{n}{N} \right)^3 \right); \quad (11)$$

де D – динамічний фактор, Ψ – коефіцієнт дорожнього опору, δ – коефіцієнт обліку обертових мас. P_k – тягове зусилля, W_w – опір повітряного середовища, G_a – маса АТЗ (const), i_k – поточне передаточне число КПП, M_e – крутний момент, що розвиває двигун, i_o – передаточне число редуктора головної передачі, η – ККД трансмісії АТЗ, k – коефіцієнт обтічності, F – лобова площа АТЗ, N_e – ефективна потужність двигуна, n – число обертів двигуна при N_e , $N_{e_{max}}$ – максимальна ефективна потужність, (a, b, c) – коефіцієнти, що залежать від типу двигуна, N – номінальна частота обертання колінчатого вала, r – динамічний радіус ведучого колеса. Величини G_a , δ , g , i_k , i_o , η , $N_{e_{max}}$, N , r , Ψ , k , F є константами, тому що вони в процесі руху не змінюються.

Внаслідок перетворень, отримано пряму функцію часу від швидкості:

$$T = \int \frac{dV G_a \delta g^{-1}}{\frac{3601.9 r \eta}{V N_{e_{max}}^{-1}} \left(\frac{a i_k i_o V}{r 0.377 N} + b \left(\frac{i_k i_o N^{-1}}{r 0.377} \right)^2 V^2 - c \left(\frac{i_k i_o N^{-1}}{r 0.377} \right)^3 V^3 \right) - \frac{k F V^2}{13} - \psi G_a}; \quad (12)$$

Приступимо до інтеграції, заздалегідь згрупувавши постійні:

$$Q = \frac{N_{e_{max}} a i_k i_o \eta 3601.9}{N 0.377}; \quad (13)$$

$$S = \frac{k F}{13}; \quad (14)$$

$$P = \frac{N_{e_{max}} c i_k^3 i_o^3 \eta 3601.9}{N^3 0.377^3 r^2}; \quad (15)$$

$$Z = \frac{N_{e\max} b i_k^2 i_o^2 \eta 3601.9}{N^2 0.377^2 r}; \quad (16)$$

$$E = \frac{G_a \delta}{g}; \quad (17)$$

$$H = \psi G_a; \quad (18)$$

Перепишемо функцію з урахуванням перетворень:

$$T = E \int \frac{dV}{Q + ZV - PV^2 - SV^2 - H}; \quad (19)$$

пряма залежність T від V.

Приступимо до інтеграції [5]:

$$\begin{aligned} E \int \frac{dV}{Q + ZV + V^2(-P-S) - H} &= \left| \frac{\alpha = -S - P}{\beta = Q - H} \right| = E \int \frac{dV}{\alpha V^2 + ZV + \beta} = \left| D = \left(\frac{Z}{\alpha} \right)^2 - 4 \frac{\beta}{\alpha} \right| = \\ &= \left| \frac{V_1 = \frac{1}{2} \left(-\frac{Z}{\alpha} - \sqrt{D} \right)}{V_2 = \frac{1}{2} \left(-\frac{Z}{\alpha} + \sqrt{D} \right)} \right| = \frac{E}{\alpha} \int \frac{dV}{(V - V_1)(V - V_2)} = \frac{E}{\alpha} \int \left(\frac{A}{(V - V_1)} + \frac{B}{(V - V_2)} \right) dV = \\ &= \frac{E}{\alpha} \int \left(\frac{A(V - V_2) + B(V - V_1)}{(V - V_1)(V - V_2)} \right) dV = \left| \frac{A = \left(\frac{1}{V_1 - V_2} \right)}{B = \left(\frac{1}{V_2 - V_1} \right)} \right| = \frac{E}{\alpha} \int \left(\frac{1}{(V_1 - V_2)(V - V_1)} \right) dV + \\ &+ \frac{E}{\alpha} \int \left(\frac{1}{(V_2 - V_1)(V - V_2)} \right) dV = \frac{E}{\alpha(V_1 - V_2)} \int \frac{dV}{(V - V_1)} + \frac{E}{\alpha(V_2 - V_1)} \int \frac{dV}{(V - V_2)} = \\ &= \frac{E}{\alpha(V_1 - V_2)} \ln |V - V_1| \Big|_{V_{\min}}^{V_{\max}} + \frac{E}{\alpha(V_2 - V_1)} \ln |V - V_2| \Big|_{V_{\min}}^{V_{\max}}; \end{aligned}$$

Виконаємо заміну констант:

$$l = \frac{E}{\alpha(V_1 - V_2)}; \quad (20)$$

Запишемо готову формулу для розрахунку часу розгону по n-й передачі:

$$T_N = l \ln |V - V_1| \Big|_{V_{\min}}^{V_{\max}} - l \ln |V - V_2| \Big|_{V_{\min}}^{V_{\max}}; \quad (21)$$

Запишемо формулу розрахунку часу розгону АТЗ по всіх передачах КПП:

$$T_{заг} = \sum_{l=1}^N \left(l \ln \left| \frac{V - V_1}{V - V_2} \right| \Big|_{V_{\min}}^{V_{\max}} \right); \quad (22)$$

Висновок: одержана формула (22) дозволяє аналітично визначати теоретичний час розгону АТЗ по n передачах його трансмісії, навіть не вдаючись до побудови графіка зворотних прискорень.

Даний метод наочно представлятиме свою перевагу, якщо його реалізувати в табличному процесорі Microsoft Excel. (Окремої уваги і розрахунку як в графічній, так і в аналітичному, методах вимагає розстановка меж Vmin і V max).

ВИСНОВОК

Як приклад розраховували МАЗ 504 з напівприцепом повною масою 38 тонн з двигуном ЯМЗ 238 потужністю 240 к.с.

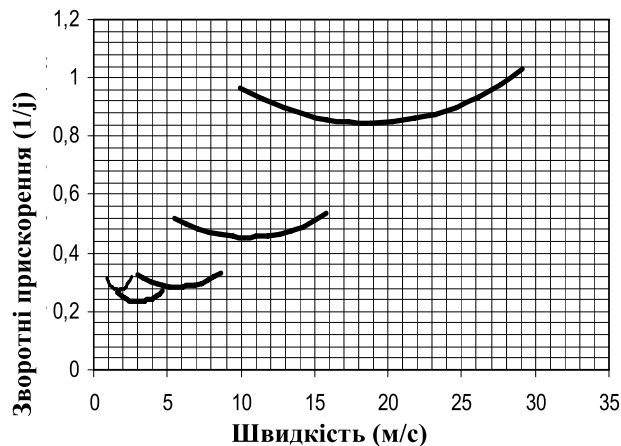


Рис. 4. Зворотні прискорення складу з тягачем МАЗ-504

В результаті графічного методу розрахунку набули значення, що дорівнює 27 с., а при аналітичному 23,333 с.

Розглянутий модуль постійно модифікується і наступним кроком буде включення в математичну модель транспортного засобу коефіцієнтів опору коченню і опору потоку повітря, як функцій від параметрів, що характеризуються динамікою руху автомобіля, що дозволить у більшій мірі аналізувати вплив на реальний автомобіль факторів з боку середовища експлуатації.

- [1] Гришкевич А.І. Автомобілі: Теорія. – Мн.: Віш. шк., 1986. – 208 с.
- [2] Литвинов А.С., Фаробин Я.Е. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств. – М.: Машиностроение, 1989. – 240с.
- [3] Лукин П.П., Гаспарянц Г.А., Родионов В.Ф. Конструирование и расчёт автомобиля. – М.: Машиностроение, 1984. – 376 с.
- [4] Методические указания для выполнения контрольной работы на тему: «Тяговый расчёт автотранспортного средства» по дисциплине "Автотракторный транспорт" / Сост.: Комов А.Б., Комов П.Б., Грицук И.В., Яценко А.Г., Бумага А.Д. – Методические указания для студентов специальности 7.090214 «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование»: Учебное издание.-Макеевка: ДонНАСА, 2005.- 74с
- [5] Шипачёв В.С. «Высшая математика». М.: Высшая школа, 1985. – 140 с.