

УДК 629.113-585.862

Рыбалко И.Ф.<sup>1</sup>

## КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ СИСТЕМИ «ТРАНСПОРТНИЙ ЗАСІБ-ДОРОГА»

**АНОТАЦІЯ.** Розглянутий модуль є модифікованим і є основою для 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.

**АННОТАЦИЯ.** Рассмотренный модуль постоянно модифицируется и следующим шагом будет включение в математическую модель транспортного средства коэффициентов сопротивления качению и сопротивления потоку воздуха, как функций от параметров, характеризующихся динамикой движения автомобиля, что позволит в большей степени анализировать влияние на реальный автомобиль факторов со стороны среды эксплуатации.

**SUMMARY.** Considered module is modified and is the basis for inclusion in the mathematical model of the vehicle rolling resistance coefficient of resistance and air flow as functions of the parameters that characterized the dynamics of the vehicle, allowing a greater extent analyze the impact on the real vehicle factors of the environment of operation.

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 (програми 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.

Очевидним є те, що практичні рішення поставлених завдань втілюються в життя на основі теоретичних досліджень і розрахунків.

Грунтуючись 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: тяговий баланс і швидкість руху, аналіз сил опору руху (рис. 1), динамічний паспорт, прохідність, гальмування, стійкість, продуктивність, 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] методиці. 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 характеристик транспортних засобів починаючи від магістральних автопотягів і закінчуючи легковими автомо-

білями. 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].

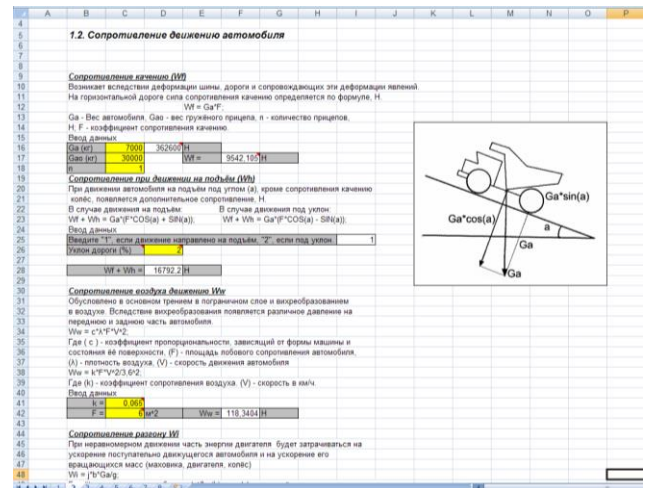


Рисунок 1. Фрагмент розрахункового модуля (блок «Опір руху автомобіля»).

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 автотранспортного засобу.

Відомо, що певну складність викликає розрахунок при виконанні тягово-експлуатаційного розрахунку автомобіля часу розгону автотранспортного засобу, при цьому необхідно побудувати графік зворотних прискорень, що пов'язує їх величину зі швидкістю руху. Залежність представляє собою сукупність кривих, число яких відповідає кількості передаточних варіантів трансмісії (Приклад залежності для 5-ти ступінчастої КПП на рисунку 2). Площа під цими графіками (Т на графіку) і буде являтися часом розгону по передачі, як наслідок, сума усіх Т – загальний час.

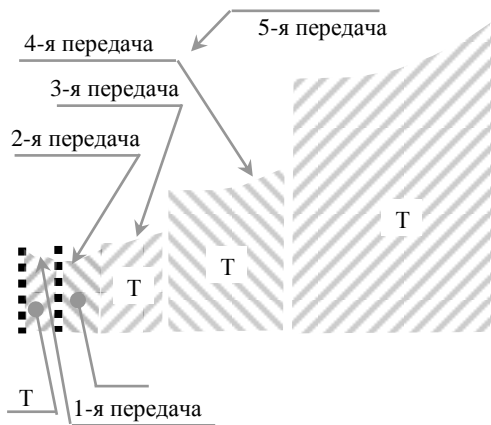


Рисунок 2. Графік зворотних прискорень АТЗ

Для оцінки динаміки розгону АТС наряду з величинами прискорень використовують наступну залежність:  $V = f(t)$ ; - швидкості руху АТЗ при розгоні від часу. Надалі задача полягає в тому, щоб знайти площу під кожною кривою (рисунок 2), а потім, просумувавши їх, визначити загальний час розгону АТЗ.

Як відомо, прискорення АТЗ визначає залежність [1]:

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

Для рисунку 2 залежність буде наступною:

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

Кожна крива визначається даним рівнянням з точністю до передавального числа  $i_k$ . Як наслідок, якщо про інтегрувати цю функцію, отримаємо площу криволінійної трапеції, яку зверху обмежує задана крива, знизу вісь швидкості, а зліва й справа – нижній (Vmin) і верхній (Vmax), відповідно, межі швидкостей по кожній передачі КПП (рисунок 3).

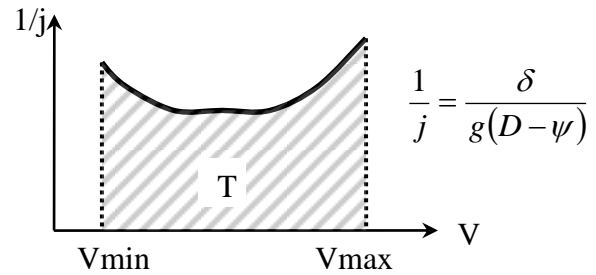
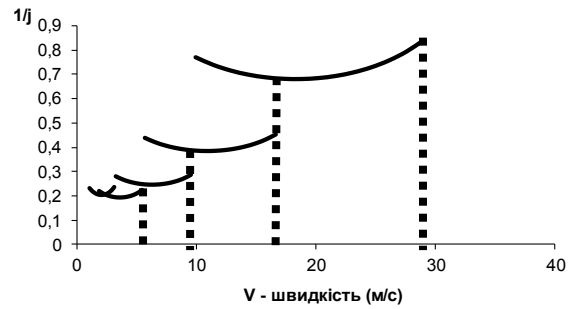


Рисунок 3. Довільна крива зворотнього прискорення.

На рисунку 3 чітко видно межі інтегрування – швидкості початку і кінця розгону по n-му передавальному співвідношенню трансмісії. Т – іскомий час, за який розженеться АТЗ від Vmin до Vmax. Виходячи з графіку [1]:

$$T_N = \int_{V_{min}}^{V_{max}} \frac{dV}{j}; \quad (2)$$

$$T_{ОБЩЕЕ} = \sum_{I=1}^N \int_{V_{min}}^{V_{max}} \frac{dV}{j}; \quad (3)$$

Але, як видно з формули 1, V там немає. Перетворимо 2 в пряму залежність від V.

Розглянемо формулу 1:

$$D = \frac{P_k - W_w}{G_a};$$

$$n = \frac{i_k i_o V}{r 0.377}; \quad \delta = 1 + 0.04 + 0.06 \times i_k^2$$

$$P_k = M_e i_k i_o \eta;$$

$$W_w = \frac{k F V^2}{3.6^2}; \quad M_e = 9554 \frac{N_e}{n};$$

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

де D - динамічний фактор,  $\psi$  – коефіцієнт дорожнього опору,  $\delta$  – коефіцієнт урахування мас, що обертаються,  $P_k$  – тягове зусилля,  $W_w$  – опір повітряного середовища,  $G_a$  – маса АТЗ (const),  $i_k$  – передавальне число КПП,  $M_e$  – крутний момент, що

розвивається двигуном,  $i_o$  – передавальне число редуктора головної передачі,  $\eta$  – ККД трансмісії АТЗ,  $k$  – коефіцієнт обтікання,  $F$  – 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 колінчастого валу,  $r$  – динамічний радіус ведучого колеса. Величини  $G_a, \delta, g, i_k, i_o, \eta, N_{e\max}, N, r, \Psi, k, F$  є константами, оскільки вони в процесі руху не змінюються.

В результаті перетворень отримали пряму функцію часу від швидкості:

$$T = \int \frac{dVG_a \delta g^{-1}}{\frac{3601.9r\eta}{VN_{e\max}^{-1}} \left( \frac{ai_k i_o V}{r0.377N} + b \left( \frac{i_k i_o N^{-1}}{r0.377} \right)^2 V^2 - c \left( \frac{i_k i_o N^{-1}}{r0.377} \right)^3 V^3 \right) - \frac{kFV^2}{13} - \psi G_a}; \quad (4)$$

Проінтегруємо, попередньо згрупувавши постійні:

$$Q = \frac{N_{e\max} ai_k i_o \eta 3601.9}{N0.377}; \quad S = \frac{kF}{13};$$

$$P = \frac{N_{e\max} ci_k^3 i_o^3 \eta 3601.9}{N^3 0.377^3 r^2};$$

$$Z = \frac{N_{e\max} bi_k^2 i_o^2 \eta 3601.9}{N^2 0.377^2 r};$$

$$E = \frac{G_a \delta}{g}; \quad H = \psi G_a;$$

Перепишемо функцію з урахуванням перетворень:

$$T = E \int \frac{dV}{Q + ZV - PV^2 - SV^2 - H}; \quad \text{- пряма залежність } T \text{ от } V.$$

Приступимо до інтегрування:

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

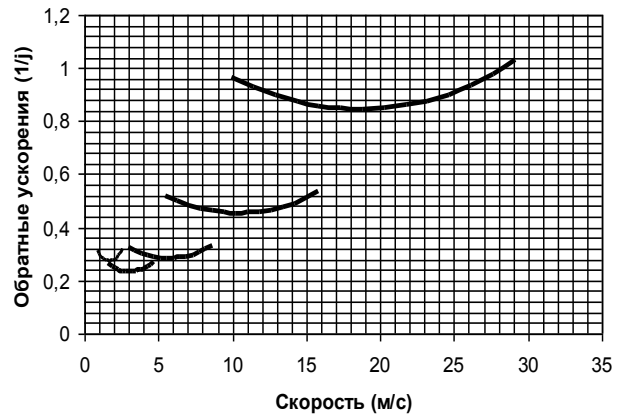
Виконаємо заміну констант:

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

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

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

Запишемо формулу розрахунку часу розгону АТЗ по всіх передачах КПШ:



$$T_{\text{ПОЛНОЕ}} = \sum_{l=1}^N \left( l \ln \left| \frac{V - V_1}{V - V_2} \right| \Big|_{V_{\min}}^{V_{\max}} \right); \quad (5)$$

Рисунок 4. Зворотні прискорення тягача із тягачем МАЗ-504.

### Висновок

Отримана формула 5 дозволяє аналітично визначати теоретичний час розгону АТЗ по n-передачам його трансмісії, навіть не звертаючись до побудови графіку зворотних прискорень. Даний метод наглядно буде представляти свою перевагу, якщо його реалізувати в табличному процесорі Microsoft Excel.

**Примітка:** окремої уваги і розрахунку як в графічному, так і в аналітичному методах потребує розставлення границь  $V_{\min}$  і  $V_{\max}$ . У якості прикладу розраховували МАЗ-504 з напівприцепом повною масою 38 т з двигуном ЯМЗ-238 потужністю 240 к.с. В результаті графічного методу розрахунку отримали значення, що дорівнює 27 с., а при аналітичному 23,333с.

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, які характеризуються динамікою руху автомобіля, що дозволить в більшому ступені аналізувати вплив на реальний автомобіль факторів з боку середовища експлуатації.

## Література

1. М.У. по дисциплине “Автотранспортные средства” / Сост.: Комов А.Б., Комов П.Б., Яценко А.Г., Бумага А.Д. – Макеевка: ДонГАСА, 2002.
2. Шипачёв В.С. «Высшая математика». М.:Высшая школа, Москва 1985-с.140
3. Гришкевич А.И. Автомобили: Теория. – Мн.: Виш. шк., 1986. – 208 с.
4. Литвинов А.С., Фаробин Я.Е. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств. – М.: Машиностроение, 1989. – 240с.
5. Лукин П.П., Гаспарянц Г.А., Родионов В.Ф. Конструирование и расчёт автомобиля. – М.: Машиностроение, 1984. – 376 с.

УДК 66.9.033

Косминський І.В.<sup>1</sup>

## МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ДІЇ ПОЗДОВЖНИХ ЗСУВІВ В БЕТОННІЙ СУМІШІ, ЯКІ ВИНИКАЮТЬ ВІД ВИМУШУЮЧИХ СИЛ ПРИВАНТАЖУВАЧА

*АННОТАЦІЯ.* В статті пропонується розрахунок привантажувача з врахуванням утворення поздовжніх зміщень, які виникають від дії змушуючих сил привантажувача розв'язаних задач запропонована схема установки та блок-схема визначення статичного моменту при врахуванні напруження зміщення.

*Ключові слова:* поздовжні зміщення, привантажувач, бетонна суміш.

*АННОТАЦИЯ.* В статье предлагается методика расчёта пригруза с учётом создания продольных смещений которые возникают от действия возмущающих сил пригруза.

Для решения поставленной задачи предложена схема установки и блок-схема определения статического момента при учёте напряжения смещения.

*Ключевые слова:* продольные смещения, пригруз, бетонная смесь.

*ANNOTATION.* In article the calculation procedure device for providing additional pressure taking into account creation of longitudinal offsets which arise from action of perturbing forces device for providing additional pressure is offered.

For the solution of an objective the installation diagram and the flowchart of determination of the static moment is offered in case of the accounting of bias voltage.

*Keywords:* longitudinal offsets, device for providing additional pressure, concrete mixture.

**Актуальність роботи.** При ущільненні із привантажувачем відбувається зріст величини  $\tau$  причиною цього явища є порушення структури бетонної суміші і в залежності від характеру тиску воно пов'язано зі зменшенням пор і збільшенням поверхні контакту зерен. Для кожного моменту ущільнення граничний опір зсуву від нормального тиску буде змінюватися. Мінімальне значення зсувне напруження має місце на початку процесу доущільнення, а максимальне – наприкінці його. При досягненні рівноваги між опором дотичного зміщення й зусиллям тиску настає сталий режим динамічної рівноваги [1,2]. Цей режим характеризується практично стабільними значеннями фізико-механічних властивостей суміші.

**Методика розрахунку.** Для вирішення задачі забезпечення поздовжніх зсувів в бетонній суміші, які виникають від вимушуючих сил привантажувача

була складена схема установки (рис. 1) та блок-схема визначення статичного моменту при врахуванні напруження зсуву (рис. 2).

Методика розрахунку розроблена на базі проведених теоретичних та експериментальних досліджень та врахування досвіду використання привантажувачів який описаний у багатьох роботах, зокрема, працях Назаренко І.І. та Шмигальського В.Н.

Методикою передбачено визначення необхідної амплітуди коливань та потужності вібраційного обладнання для створення дотичних зсувних напружень для завершення процесу ущільнення й урахування фізико-механічних властивостей середовища.

Це дає можливість прийняти таку методику при проектуванні віброплощадок із використанням привантажувачів для формування при різних режимах коливань та різних видах виробів.

<sup>1</sup> Косминський І.В., к.т.н., доцент КНУБА.