

І.А. Вікович, О.М. Дубневич, М.М. Остапчук  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра транспортних технологій

## ДИНАМІКА РУХУ ТРАНСПОРТНОГО АГРЕГАТУ БІТУМІЗАТОРА З УРАХУВАННЯМ ЙОГО ТЯГОВО-ШВИДКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

© Вікович І.А., Дубневич О.М., Остапчук М.М., 2008

**Розроблено нову конструкцію бітумізатора і побудовано математичну модель транспортного агрегату бітумізатора. Одержано закон руху транспортного агрегату бітумізатора залежно від його швидкості руху.**

**The new construction of bitumizator is developed and the mathematical model of a transport aggregate of bitumizator is built. The law of motion of a transport aggregate of bitumizator is got depending on his rate of movement.**

**Вступ.** Агрегати бітумізаторів застосовують для розігрівання, перевезення й укладання гарячого бітуму на шосейних дорогах.

Відомі дорогі та складні за конструкцією дорожні машини для укладання чистого асфальту на дорогах. Для укладання одночасно щебеня і бітуму також застосовують складні за конструкцією дорожні машини, у яких передбачено попереднє розігрівання бітуму з подальшим перемішуванням його із щебенем і подачі приготовленої суміші за допомогою шнекового транспортера до місця укладання. У цих обох типах машин розігрівання бітуму і сам технологічний процес укладання асфальту здійснюються на доволі великих ділянках дороги і, як правило, не виникає потреба у перевезенні гарячого бітуму на значні відстані.

Нами розроблено принципову нову конструкцію бітумізатора (причіпної машини для укладання асфальту).

Бітумізатор сконструйований у вигляді чотириколісного причепа, на рамі якого у центральній частині розміщена ємкість для бітуму, а з обох боків – бункери для щебеню. Бітумізатор має торсійну підвіску, що дає змогу досить швидко і плавно рухатись на нерівній дорозі та зберігати необхідну стійкість під час транспортування.

Бітум розігрівають за допомогою дизельного пальника, який розміщено в середині ємкості, причому розігрівання бітуму можна здійснювати у транспортному режимі.

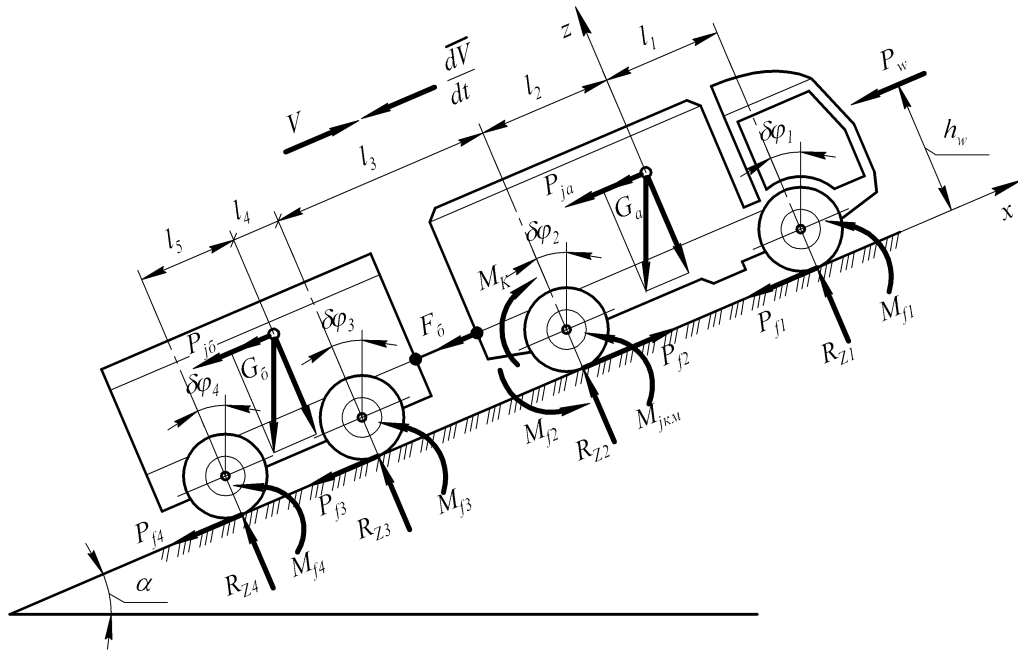
Розігрітий бітум під час укладання на обмежених ділянках дороги подають за допомогою шестеренчастого насоса до бітумного шлангу, а відтак – до бітумного пістолета. Щебінь, який вручну зсувають до склізів, зсипається у необхідних дозах на лотки, а відтак, для заощадження щебеня робітники лопатами укладають його в потрібній кількості в ямки на дорогах.

Необхідно зазначити, що розроблена конструкція транспортного агрегату бітумізатора призначена для ремонту доріг і значно підвищує ефективність ремонтних робіт.

Сьогодні практично відсутні наукові публікації з дослідження і аналізу динамічних процесів в транспортних агрегатах бітумізаторів під час перевезення ними гарячого бітуму.

### **Виклад основного матеріалу досліджень**

Розглянемо рух агрегату бітумізатора з урахуванням швидкісної характеристики двигуна внутрішнього згоряння (рисунок).



Розрахункова схема сил і моментів, які діють на транспортний агрегат бітумізатора під час руху

Надамо транспортному агрегату бітумізатора можливе переміщення  $\delta x_i$ . Колеса транспортного агрегату бітумізатора, за умови відсутності проковзування, одержать одинакове можливе кутове переміщення  $\delta \varphi_i$  для усіх коліс (рисунок).

Відповідно до розрахункової схеми запишемо загальне рівняння динаміки, причому роботу від усіх сил і моментів на прийнятих можливих переміщеннях визначимо з урахуванням напрямів векторів сил і моментів з відповідними їм векторами переміщень:

$$\sum_{i=1}^m M_{k_i} \delta \varphi_i - \sum_{i=1}^n M_{f_i} \delta \varphi_i - P_{\alpha} \delta x_i - P_w \delta x_i - P_{ja} \delta x_i - \sum_{i=1}^n M_{jk_i} \delta_i = 0, \quad (1)$$

де  $\sum_{i=1}^m M_{k_i} = (M_{\partial} - M_{j\partial}) U_{mp} \eta_{mp}$  – сумарний крутний момент на ведучих колесах транспортного засобу;  $m$  – число ведучих коліс транспортного засобу;  $u_{mp}$  і  $\eta_{mp}$  – передатне число і коефіцієнт корисної дії трансмісії транспортного засобу;  $M_{\partial} = M_e$  – момент двигуна, який дорівнює

ефективному моменту двигуна внутрішнього згорання;  $M_{j\partial} = I_{\partial} \frac{d\omega_e}{dt}$  – інерційний момент

двигуна;  $I_{\partial}$  – момент інерції обертючих частин двигуна;  $\sum_{i=1}^n M_{f_i} = \sum_{i=1}^n f_i R_{zi} r_{\partial i}$  – сумарний момент

кочення усіх коліс транспортного агрегату бітумізатора;  $n$  – число усіх коліс;  $f_i$  – коефіцієнт опору кочення коліс транспортного агрегату бітумізатора;  $R_{zi} = G_{a\partial} \cos \alpha$  – вертикальні реакції дороги;  $G_{a\partial}$  – вага транспортного агрегату бітумізатора;  $\alpha$  – кут підйому дороги;  $r_{\partial i}$  – динамічний радіус коліс агрегату бітумізатора;  $P_{\alpha} = G_{a\partial} \sin \alpha$  – сила опору підйому;  $P_w = k_w F_w V^2$  – сила опору повітря транспортного агрегату бітумізатора;  $k_w$  – коефіцієнт опору повітря;  $F_w$  і  $V$  – лобова площа і швидкість руху транспортного агрегату бітумізатора з урахуванням швидкості вітру;  $V = V_{a\partial} + V_a \cos \alpha_a$ ;  $V_a$  – швидкість вітру,  $\alpha_a$  – кут між вектором швидкості повітря і

поздовжньою віссю руху транспортного агрегата бітумізатора;  $P_{ja\sigma} = m_{a\sigma} \frac{dV}{dt}$  – сила інерції транспортного агрегата бітумізатора;  $m_{a\sigma} = m_a + m_\sigma$  – маса транспортного агрегата бітумізатора;  $m_a$  – маса автомобіля-тягача,  $m_\sigma$  – маса бітумізатора;  $\sum_{i=1}^n M_{jk_i} = -\sum_{i=1}^n I_{k_i} \varepsilon_{k_i}$  – сумарний інерційний момент коліс транспортного агрегата бітумізатора;  $I_{k_i}$  та  $\varepsilon_{k_i}$  – момент інерції та кутове пришвидшення і-го колеса транспортного агрегата бітумізатора (кг м<sup>2</sup>);  $\varepsilon_{k_i} = \frac{d}{dt} \left( \frac{V}{r_i} \right)$ .

Враховуючи, що  $G_{a\sigma} = m_{a\sigma} g$  ( $g$  – пришвидшення земного тяжіння) та  $\frac{d\omega_e}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{V}{r_{\partial i}} \right) u_{mp} \eta_{mp}$ ;  $\delta\varphi_i = \frac{\delta x_i}{r_{\partial i}}$  і те, що радіуси усіх коліс однакові, рівняння руху транспортного агрегата бітумізатора (1) набуде вигляду:

$$\begin{aligned} & \frac{M_{\partial} u_{mp}}{r_{\partial}} \eta_{mp} - \frac{I_{\partial} u_{mp}^2}{r_{\partial}^2} \eta_{mp} \frac{dV}{dt} - m_{a\sigma} g (f \cos \alpha + \sin \alpha) - \\ & - k_w F_w V^2 - m_{a\sigma} \frac{dV}{dt} - \frac{I_k}{r_{\partial}^2} \frac{dV}{dt} = 0, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $I_k = \sum_{i=1}^n I_{k_i}$ .

Об'єднуючи у рівнянні (2) члени, які містять пришвидшення  $\frac{dV}{dt}$ , то рівняння (2) можна подати у вигляді

$$\delta_3 m_{a\sigma} \frac{dV}{dt} = \frac{M_{\partial} u_{mp}}{r_{\partial}} \eta_{mp} - m_{a\sigma} g (f \cos \alpha + \sin \alpha) - k_w F_w V^2, \quad (3)$$

де  $\delta_3 = \frac{1 + I_{\partial} u_{mp}^2 \eta_{mp} + I_k}{r_{\partial}^2 m_{a\sigma}}$  – коефіцієнт зведеної маси транспортного агрегата бітумізатора.

Виразимо ефективний момент двигуна  $M_{\partial}$  внутрішнього згорання відповідно до його зовнішньої швидкісної характеристики, яка з достатнім для практичних розрахунків ступенем точності описується параболою другого порядку за відомою формулою С.Р. Лейдермана [1]

$$M_{\partial} = M_e(V) = M_{eN} \left[ a + b \left( \frac{\omega_e}{\omega_{eN}} \right) + c \left( \frac{\omega_e}{\omega_{eN}} \right)^2 \right], \quad (4)$$

де  $M_{eN}$  – ефективний момент двигуна при максимальній потужності; емпіричні константи  $a$ ,  $b$ ,  $c$  дорівнюють:

$$a = \frac{k_M k_{\omega} (2 - k_{\omega}) - 1}{k_{\omega} (2 - k_{\omega}) - 1}; \quad b = \frac{-2k_{\omega} (k_M - 1)}{k_{\omega} (2 - k_{\omega}) - 1}; \quad c = \frac{k_{\omega}^2 (k_M - 1)}{k_{\omega} (2 - k_{\omega}) - 1},$$

$k_M$  і  $k_{\omega}$  – відповідно коефіцієнти пристосування двигуна до зміни опору і швидкості руху.

Підставляючи (4) у рівняння (3) з урахуванням того, що  $\omega_e = \frac{V}{r_\partial} u_{mp}$ , одержимо

$$\delta_3 m_{a\partial} \frac{dV}{dt} = \frac{M_{eN}}{r_\partial} u_{mp} \eta_{mp} \left( a + b \frac{u_{mp}}{r_\partial \omega_{eN}} V + c \frac{u_{mp}^2}{r_\partial^2 \omega_{eN}^2} V^2 \right) - m_{a\partial} g (f \cos \alpha + \sin \alpha) - k_w F_w V^2. \quad (5)$$

Рівняння (5) подамо у вигляді

$$\frac{dV}{dt} = A + A_1 V + A_2 V^2, \quad (6)$$

де

$$A = \frac{M_{eN}}{\delta_3 r_\partial m_{a\partial}} u_{mp} \eta_{mp} a - \frac{g}{\delta_3} (f \cos \alpha + \sin \alpha);$$

$$A_1 = \frac{M_{eN}}{\delta_3 m_{a\partial} r_\partial^2 \omega_{eN}} u_{mp}^2 \eta_{mp} b; \quad A_2 = \left( \frac{M_{eN}}{\omega_{eN}^2} u_{mp}^3 \eta_{mp} - k_w F_w \right) \frac{c}{\delta_3 m_{a\partial}}.$$

Враховуючи, що

$$\frac{dV}{dt} = \frac{dV}{dS} \frac{dS}{dt} = \frac{dV}{dS} V. \quad (7)$$

Рівняння (6) з урахуванням (7) запишемо у вигляді

$$\frac{dV}{dS} V = A + A_1 V + A_2 V^2. \quad (8)$$

Відтак рівняння (8) представимо так:

$$\frac{V}{A + A_1 V + A_2 V^2} dV = dS. \quad (9)$$

Для інтегрування лівої частини рівняння (9) зробимо ряд перетворень:

$$\int \frac{V dV}{A + A_1 V + A_2 V^2} = \int \left[ \frac{\frac{1}{2A_2} (2A_2 V + A_1) - \frac{A_1}{2A_2}}{A + A_1 V + A_2 V^2} \right] dV =$$

$$= \frac{1}{2A_2} \ln |A + A_1 V + A_2 V^2| - \frac{A_1}{2A_2 \sqrt{A_1^2 - 4AA_2}} \ln \left| \frac{V + \frac{A_1}{2A_2} - \frac{1}{2A_2} \sqrt{A_1^2 - 4AA_2}}{V + \frac{A_1}{2A_2} + \frac{1}{2A_2} \sqrt{A_1^2 - 4AA_2}} \right| + c_1; \quad (10)$$

Сталу інтегрування  $c_1$  визначимо з початкових умов для конкретного режиму руху транспортного агрегату бітумізатора.

Сталі інтегрування під час розгону на  $i$ -й передачі можна визначити за умови:  $t=0$ ;  $V=V_{0i}$  ( $V_{0i}$  – відома початкова швидкість руху на  $i$ -й передачі).

Розглянемо режим рушання з місця і розгін. У цьому режимі початкові умови такі:

$$t = 0; \quad S = 0; \quad \frac{dS}{dt} = V = 0. \quad (11)$$

З рівняння (9) і (10) з урахуванням (11) визначимо  $c_1$ :

$$c_1 = \frac{1}{2A_2} \left[ \frac{A_1}{\sqrt{A_1 - 4AA_2}} \ln \left| \frac{\frac{1}{2A_2}(A_1 - \sqrt{A_1 - 4AA_2})}{\frac{1}{2A_2}(A_1 + \sqrt{A_1 - 4AA_2})} \right| - \ln|A| \right].$$

Отже, закон руху транспортного агрегата бітумізатора залежно від його швидкості з урахуванням швидкісної характеристики двигуна внутрішнього згоряння є такий:

$$S(V) = \frac{1}{2A_2} \left\{ \ln|A + A_1V + A_2V^2| - \frac{A_1}{\sqrt{A_1 - 4AA_2}} \left[ \ln \left| \frac{V + \frac{1}{2A_2}(A_1 - \sqrt{A_1 - 4AA_2})}{V + \frac{1}{2A_2}(A_1 + \sqrt{A_1 - 4AA_2})} \right| - \ln \left| \frac{\frac{1}{2A_2}(A_1 - \sqrt{A_1 - 4AA_2})}{\frac{1}{2A_2}(A_1 + \sqrt{A_1 - 4AA_2})} \right| \right] - \ln|A| \right\}. \quad (12)$$

Залежність  $t(V)$  можна одержати, інтегруючи рівняння (6).

Сталу інтегрування  $c_2$  за умови розгону на першій передачі знаходимо при нульових початкових умовах ( $t=0$ ;  $V=0$ ):

$$c_2 = -\frac{1}{\sqrt{A_1 - 4AA_2}} \ln \left| \frac{A_4}{A_5} \right|.$$

Залежність часу  $t$  від швидкості розгону транспортного агрегата бітумізатора має вигляд

$$t = \frac{1}{\sqrt{A_1 - 4AA_2}} \ln \left| \frac{V + A_4}{V + A_5} \right| - \frac{1}{\sqrt{A_1 - 4AA_2}} \ln \left| \frac{A_4}{A_5} \right|.$$

### **Аналіз результатів досліджень та перспективи подальших розвідок у цьому напрямі.**

За рівняннями (12), (13) та (15) можна побудувати швидкісні характеристики розгону транспортного агрегата бітумізатора.

Необхідно зазначити, що для побудови швидкісної характеристики рекомендовано брати значення швидкості від  $V=0$  до  $0,8 V_{i \max} [1-5]$ .

Важливим для аналізу динамічних процесів у транспортному агрегаті бітумізатора є врахування рухомості розігрітого в'язкого бітумізатора і його вплив на стійкість руху під час розгону чи гальмування та на поворотах.

Урахування впливу рухомості розігрітого в'язкого бітуму на динамічні процеси у транспортному агрегаті бітумізатора пов'язано із складною теорією в'язкої рідини і, отже, стане предметом наших подальших досліджень.

1. Бортницкий П.И., Задорожный В.И. Тягово-скоростные качества автомобилей: Справочник. – К.: Высшая школа, 1978. 2. Иларионов В.А., Морин М.М. и др. Теория и конструкция автомобиля. – М.: Машиностроение, 1999. – 368 с. 3. Кошарний М.Ф. Основи механіки та енергетики автомобіля. – К. Вища школа, 1992. – 200 с. 4. Литвинов А.С., Фаробин А.Е. Теория эксплуатационных свойств. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с. 5. Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.