

Гурвич Юрий Абрамович (Gurvich Yuri Abramovich), Республика Беларусь, г. Минск, Белорусский Национальный Технический Университет, кандидат технических наук, доцент кафедры «Теоретическая механика», доцент.

Третинников Денис Леонидович (Tretinikov Denis Leonidovich), Республика Беларусь, Белорусский Национальный Технический Университет, кафедра «Теоретическая механика».

Механико-математическая модель поворота в движении шарнирно-сочлененной машины с тремя осями

_chester@mail.ru

УДК 269.114:621.828

При значительном углублении карьеров и увеличении затрат на добычу открытым способом интенсивными темпами ведутся работы по переводу некоторых карьеров на подземную добычу. Соответственно увеличивается спрос на подземное технологическое оборудование, в том числе и на специальные транспортные средства. Повышение требований к маневренности в сочетании с ростом габаритных размеров и грузоподъемности этих машин явилось причиной создания новых схем поворота, реализованных в самосвалах БелАЗ. Однако исследований, посвященных изучению этого вопроса, в литературе приведено недостаточно [1-3].

Данная работа посвящена исследованию поворота самосвала БелАЗ-75281, основные размеры которого представлены на рис. 1.

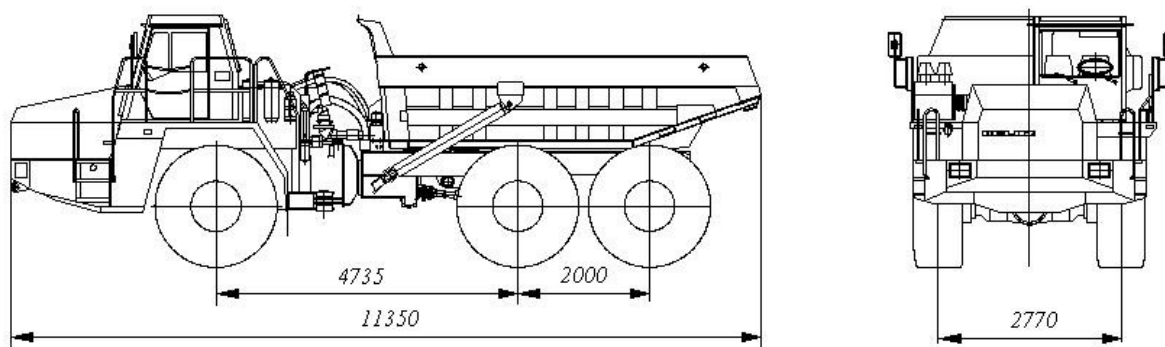


Рис.1. Основные размеры самосвала БелАЗ-75281

Рассмотрим поворот самосвала в движении по горизонтальной поверхности с однородным твердым фоном.

Расчетная схема машины приведена на рис. 2, где O – вертикальный шарнир; A_1 и A_2 – центры масс передней и задней секций; F_{ij} – продольная реакция ij -го колеса; S_i – поперечная реакция i -й оси самосвала; $M_{\mu ij}$ – момент сопротивления повороту ij -го колеса; M_θ – момент, необходимый для складывания секций самосвала; индексы ij ($i=1,3, j=1,2$) обозначают номера колес, первая цифра – номер секции, а вторая – номер колеса (1 – левое, 2 – правое).

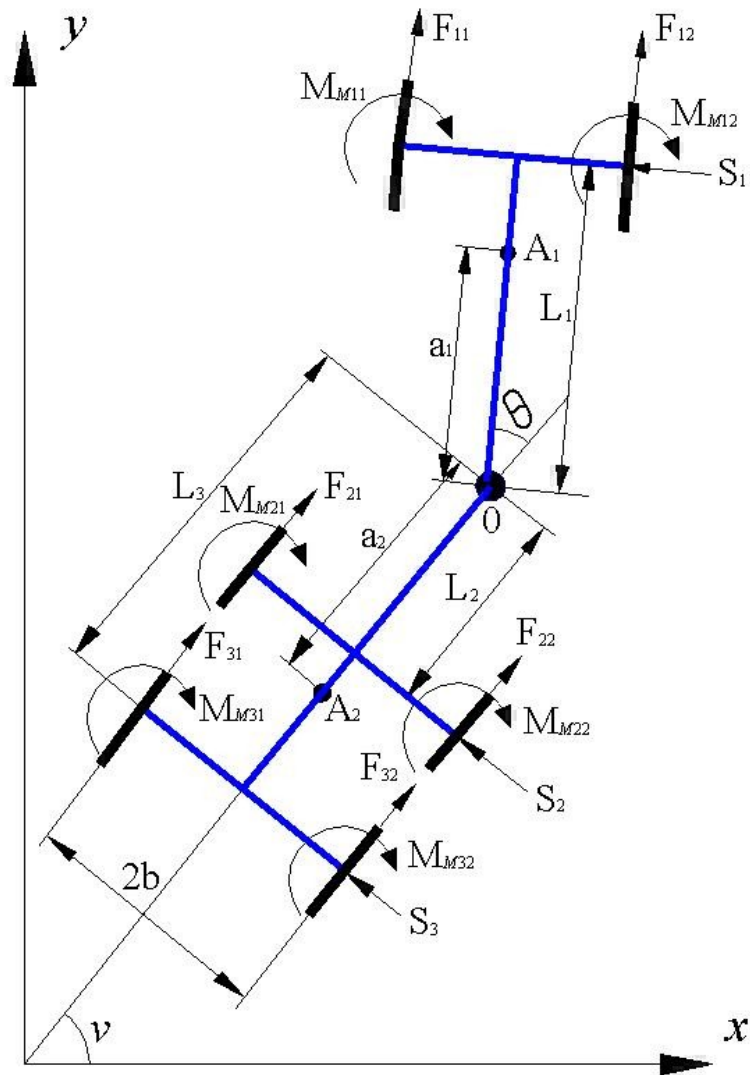


Рис.2. Расчетная схема самосвала БелАЗ-75281

Положение машины определяется десятью обобщенными координатами $x_0, y_0, \nu, \theta, \psi_{ij}$ ($i=1,3; j=1,2$), где x_0, y_0 –

координаты вертикального шарнира, ψ_{ij} - угол поворота ij -го колеса. Остальные координаты ясны из рис. 1.

Составим уравнение движения самосвала по горизонтальной плоскости, используя уравнения Лагранжа второго рода:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_k} = Q_k + R_k, \quad (1)$$

где T – кинетическая энергия системы; q_k - обобщенная координата; Q_k - обобщенная сила, соответствующая k -той координате; R_k - обобщенная сила реакций неголономных или кинематико-силовых связей, соответствующая k -той координате.

В результате получим следующую систему дифференциальных уравнений второго порядка:

$$\begin{cases} (v+\theta) - m_1 a_1 \dot{v}^2 \sin v + \dot{v} \\ (m_1 + m_2) \dot{x}_0 + [m_1 a_1 \sin v - m_2 a_2 \sin(v+\theta)] \dot{v} = m_2 a_2 \dot{\theta} \sin v + m_2 a_2 (\dot{v} + \dot{\theta})^2 \sin(v+\theta) + R_x; \\ (v+\theta) - m_1 a_1 \dot{v}^2 \sin v + \dot{v} \\ (m_1 + m_2) \dot{y}_0 - [m_1 a_1 \cos v - m_2 a_2 \cos(v+\theta)] \dot{v} = m_2 a_2 \dot{\theta} \cos v + m_2 a_2 (\dot{v} + \dot{\theta})^2 \sin(v+\theta) + R_y; \\ [m_1 a_1 \sin v - m_2 a_2 \sin(v+\theta)] \dot{x}_0 - [m_1 a_1 \cos v - m_2 a_2 \cos(v+\theta)] \dot{y}_0 + \dot{v} + (J_1 + J_2 + m_1 a_1^2 + m_2 a_2^2) \dot{v} = (J_2 + m_2 a_2^2) \dot{\theta} \\ J_{ij} \dot{\psi}_{ij} + J_{\partial} \frac{c_{ij}}{c_{\partial}} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^2 c_{ij} \dot{\psi}_{ij} = \text{sign} \dot{\psi}_{ij} M_{\mu ij} + M_{\partial} \frac{c_{ij}}{c_{\partial}} - F_{ij} r_i, \end{cases} \quad (2)$$

где c_{ij} - коэффициенты, определяющие кинематическую связь вала двигателя с ij -м колесом; M_{fij} - момент сопротивления перекачиванию ij -го колеса; M_{∂} - момент двигателя; m_1 , m_2 , J_1 , J_2 - массы и моменты инерции передней и задней секций; J_{ij} - момент инерции ij -того колеса и связанных с ним вращающихся деталей; J_{∂} - момент инерции двигателя.

R_x, R_y, R_v определяются из уравнений:

$$\begin{cases} R_x = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^2 F_{ij} \cos[v+\theta(i-2)] - \sum_{i=1}^3 S_i \sin[v+\theta(i-2)] \\ R_y = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^2 F_{ij} \sin[v+\theta(i-2)] + \sum_{i=1}^3 S_i \cos[v+\theta(i-2)] \\ R_v = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^2 (-1)^j b_j F_{ij} + \sum_{i=1}^3 (-1)^i S_i l_i \end{cases} \quad (3)$$

Выразим буксование ij -го колеса трактора, а также увод колес i -той секции через обобщенные координаты и через их первые производные – скорости:

$$\begin{aligned}
& \overset{-1}{\underset{\dot{\zeta}}{\delta_{ij}}} j b_i [\dot{v} - \dot{\theta}(i-2)] + \dot{x}_0 \cos[v - \theta(i-2)] + \dot{y}_0 \sin[v - \theta(i-2)] \\
& \delta_{ij} = 1 - \overset{-1}{\underset{\dot{\zeta}}{\zeta}} \\
& \overset{-1}{\underset{\dot{\zeta}}{\varepsilon_{ij}}} i + 1 l_i [\dot{v} - \dot{\theta}(i-2)] - \dot{x}_0 \sin[v - \theta(i-2)] + \dot{y}_0 \cos[v + \theta(i-2)] \\
& \varepsilon_{ij} = 1 - \overset{-1}{\underset{\dot{\zeta}}{\zeta}}
\end{aligned}$$

Присоединяя уравнения (3) и (4) к системе уравнений (2), получим 18 уравнений, которые полностью характеризуют поворот шарнирно-сочлененной трехосной машины. Решая их, определим 18 неизвестных:

$$v, x_0, y_0, \psi_{11}, \psi_{12}, \psi_{21}, \psi_{22}, \psi_{31}, \psi_{32}, F_{11}, F_{12}, F_{21}, F_{22}, F_{31}, F_{32}, S_1, S_2, S_3.$$

Момент, необходимый для поворота трактора, определяется по формуле:

$$\begin{aligned}
M_{\theta} = & m_1 a_1 [-\dot{x}_0 \sin(v + \theta) + \dot{y}_0 \cos(v + \theta)] + (J_2 + m_2 a_2^2) (\dot{v} + \dot{\theta}) + M_{\mu 11} + \overset{-1}{\underset{\dot{\zeta}}{\zeta}} \\
& + M_{\mu 22} + M_{\mu 33} + b_1 (F_{11} - F_{22} - F_{33}) - S_1 l_1. \quad (5)
\end{aligned}$$

Используя исходные данные, приведенные в таблице 1, решаем систему уравнений методом Рунге-Кутты 4-го порядка точности.

Исходные данные

Таблица 1

| Начальное время t_n , сек | Конечное время t_k , сек | Количество разбиения, n | Масса передней секции m_1 , кг | Масса задней секции m_2 , кг | Расстояние от центра до первого моста L_1 , м | Расстояние от центра до второго моста L_2 , м | Расстояние от центра до третьего моста L_3 , м | Ширина колеи b , м |
|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|--|--------------------------------------|--|--|---|-------------------------|
| 0 | 60 | 20 | 16968 | 21153 | 1640 | 2935 | 2000 | 2770 |

Результаты решения приведены на рис.(3-5):

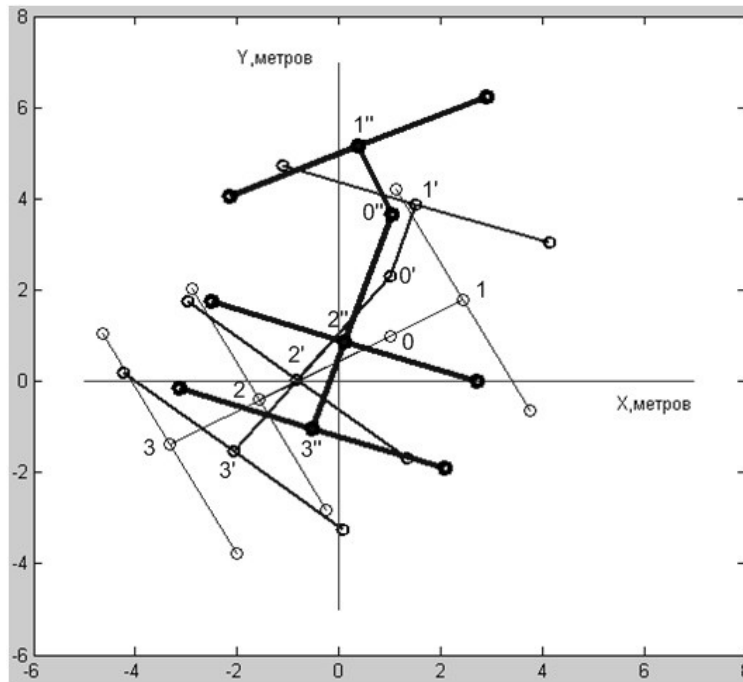


Рис.3. Траектории поворота машины: $1-1'-1''$ – траектория движения центра первого моста; $2-2'-2''$ – второго моста; $3-3'-3''$ – третьего моста

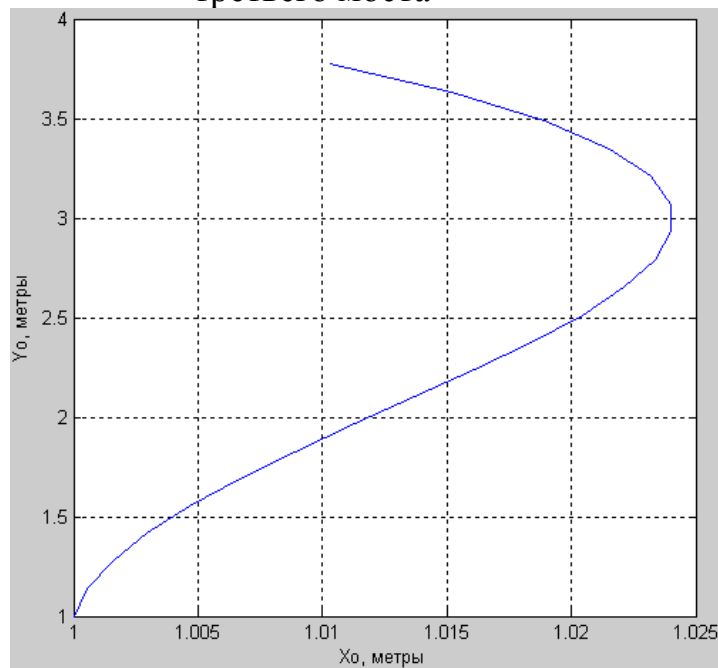


Рис.4. Траектория движения центра шарнира при повороте самосвала

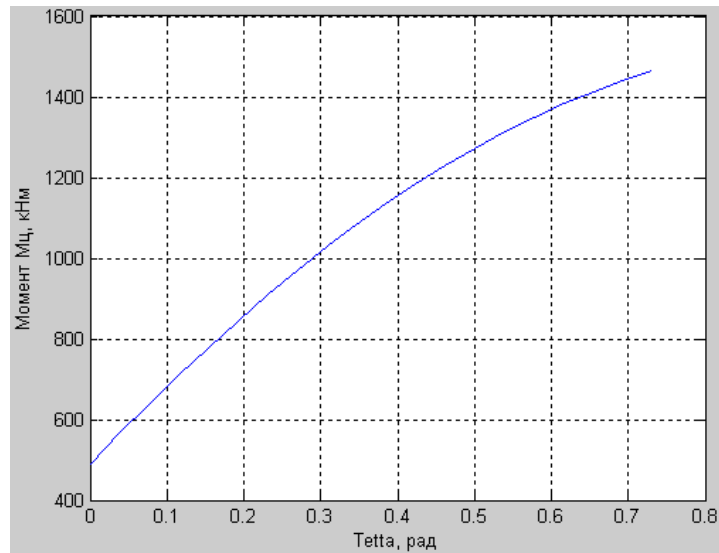


Рис.5. Зависимость момента сопротивления повороту от угла складывания секций при повороте самосвала

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов П.В. Многоосные автомобили. – М.: Машиностроение, 1989г.
2. Бойков. А.В. Теория и расчет трактора «Кировец».- М.: Машиностроение, 1980г.
3. Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин.- М.: Машиностроение, 1981г.
4. Фаробин. Я.Е. Теория поворота транспортных машин.- М.: Машиностроение, 1970г.