

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ПОВОРОТА ШАРНИРНО СОЧЛЕНЕННОЙ МАШИНЫ С ТРЕМЯ ОСЯМИ

Гурвич Ю. А., Третинников Д. Л., Петровский А. Л.

Белорусский национальный технический университет, Минск

In the article have been considered a unsteady turn of hinged machine. The research is topical because the up-to-date state of open-cut method progress of mineral product on majority of operating enterprise is characterized by open cast mine deepening, by load distance increasing and by angle of ascent of track rising.

Современный этап развития открытого способа разработки полезных ископаемых на большинстве действующих предприятий характеризуется интенсивным углублением карьеров, увеличением расстояний транспортирования и повышением углов подъема дорог. Проектные глубины карьеров достигают 600—800 м. При значительном углублении карьеров и увеличении затрат на добычу открытым способом интенсивными темпами ведутся работы по переводу некоторых карьеров на подземную добычу. Поэтому повысились требования к маневренности в сочетании с габаритными размерами машин и их грузоподъемностью, что предопределило появление новых конструкций машин, в том числе и шарнирно-сочлененных транспортных средств. Исследований, посвященных изучению силовых характеристик неустановившегося поворота шарнирно-сочлененных машин, в литературе проведено недостаточно [1-6]. Данная работа посвящена исследованию характеристик поворота трехосной шарнирно-сочлененной машины на примере подземного самосвала БелАЗ-75281. Работа является актуальной, так как в настоящее время резко увеличивается спрос на подземные машины.

Рассмотрим поворот машины в движении по горизонтальной поверхности с однородным фоном.

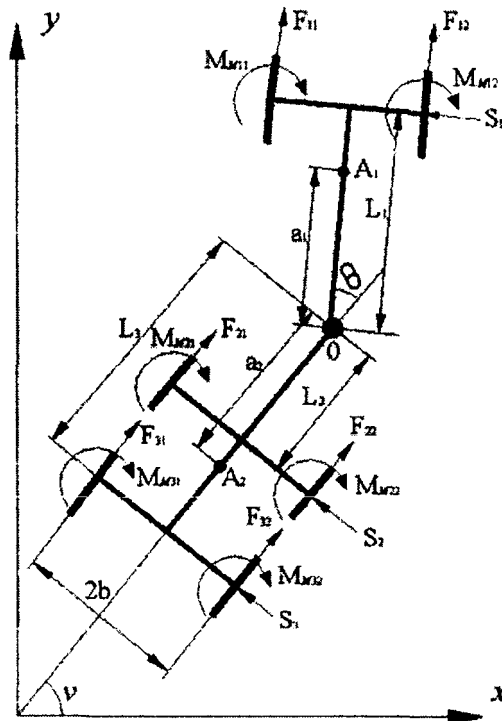


Рис. 1. Расчетная схема шарнирно сочлененной машины

Расчетная схема машины в общем виде приведена на рис. 1, где O – вертикальный шарнир, A_1 и A_2 – центры тяжести передней и задней секций, F_{ij} – продольная реакция ij -го колеса, S_i – поперечная реакция i -й секции, $M_{\mu ij}$ – момент сопротивления повороту ij -го колеса, $M\theta$ – момент, необходимый для складывания секций машины, цифрами в индексах 11, 12, 21, 22, 31, 32 обозначены колеса, первая цифра – номер секции, а вторая – номер колеса (1 – левое, 2 – правое).

Положение машины определяется десятью обобщенными координатами $x_0, y_0, \nu, \theta, \psi_{ij}$, где x_0, y_0 – координаты вертикального шарнира O , ψ_{ij} – угол поворота ij -го колеса. Остальные координаты показаны на рис. 1.

На рис. 2 представлены основные размеры самосвала БелАЗ-75281.

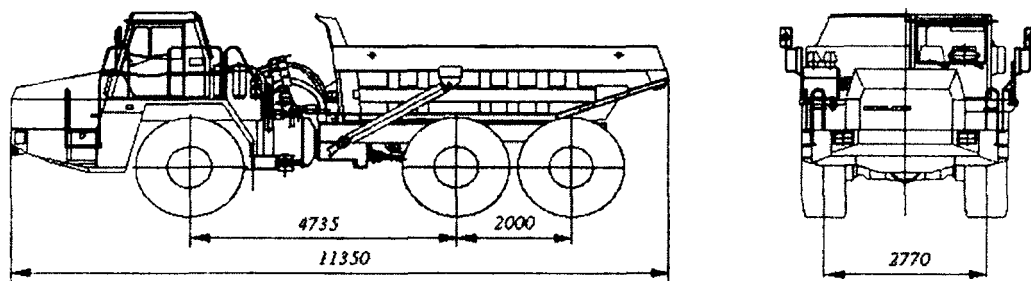


Рис. 2. Основные размеры самосвала БелАЗ-75281

Положения центров тяжести и массы секций самосвала БелАЗ-75281 показаны на рис. 3.

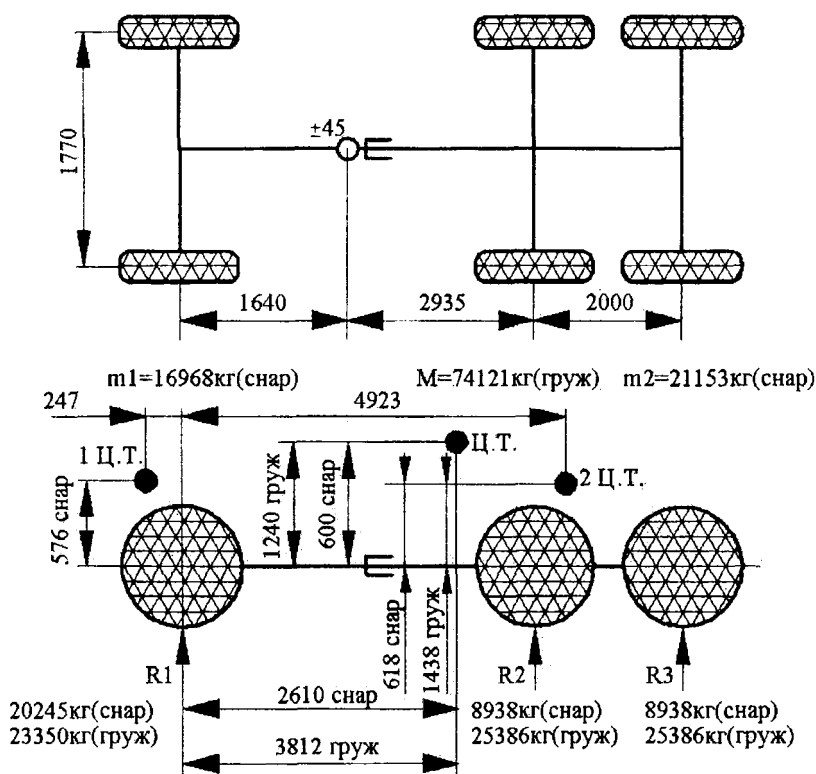


Рис. 3. Положение центров тяжести и массы секций самосвала БелАЗ-75281: снар – снаряженный; груз – груженный

Систему дифференциальных уравнений, описывающих поворот шарнирно-сочлененной машины при ее движении по горизонтальной плоскости, получим из уравнений Лагранжа второго рода (без вывода):

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

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 (которая в нашем случае принимает значения x, y, v).

В итоге система дифференциальных уравнений второго порядка имеет вид:

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

где R_x, R_y, R_v определяются из следующих уравнений:

$$\begin{aligned} R_x &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^2 F_{ij} \cos[v + \theta(i-2)] - \sum_{i=1}^3 S_i \sin[v + \theta(i-2)]; \\ R_y &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^2 F_{ij} \sin[v + \theta(i-2)] + \sum_{i=1}^3 S_i \cos[v + \theta(i-2)]; \\ R_v &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^2 (-1)^j b_i F_{ij} + \sum_{i=1}^3 (-1)^i S_i L_i, \end{aligned} \quad (3)$$

где c_{ij} – коэффициенты, определяющие кинематическую связь вала двигателя с ij -м колесом; M_{fij} – момент сопротивления перекачиванию ij -го колеса; M_D – 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_D – момент инерции двигателя.

Выразим буксование δ ij -го колеса самосвала, а также увод колес ϵ i -й секции через обобщенные координаты и через их первые производные:

$$\begin{aligned} \delta_{ij} &= 1 - \frac{(-1)^j b_i [\dot{v} - \dot{\theta}(i-2)] + \dot{x}_0 \cos[v - \theta(i-2)] + \dot{y}_0 \sin[v - \theta(i-2)]}{r_i \dot{\psi}_{ij}}, \\ \epsilon_i &= 1 - \frac{(-1)^{i+1} l_i [\dot{v} - \dot{\theta}(i-2)] - \dot{x}_0 \sin[v - \theta(i-2)] + \dot{y}_0 \cos[v + \theta(i-2)]}{\vartheta_i}. \end{aligned} \quad (4)$$

Присоединяя уравнения (3) и (4) к системе уравнений (2), получим 18 уравнений, с 18 неизвестными: $v, x_0, y_0, \psi_{ij}, F_{ij}, S_i$, которые полностью описывают неустановившийся поворот шарнирно сочлененной трехосной машины.

В результате решения системы 18 дифференциальных уравнений определяется момент M_θ , необходимый для поворота самосвала:

$$M_\theta = m_1 a_1 [-\ddot{x}_0 \sin(v + \theta) + \ddot{y}_0 \cos(v + \theta)] + (J_2 + m_2 a_2^2)(\ddot{v} + \ddot{\theta}) + M_{\mu 11} + M_{\mu 22} + b_1(F_{11} - F_{22}) - S_1 l_1. \quad (5)$$

Схема решения системы уравнений (2) представлена на рис.4:

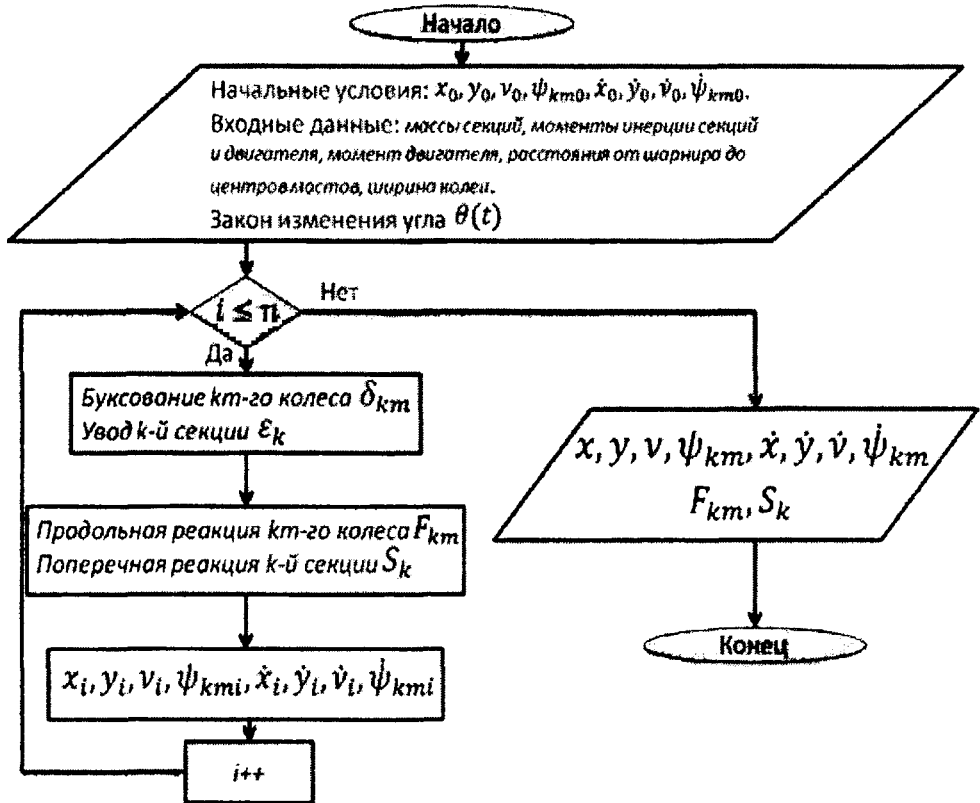


Рис. 4. Блок-схема решения системы дифференциальных уравнений

Таблица 1

Исходные данные

Начальное время t_n , с	0
Конечное время t_k , с	60
Количество разбиений, n	20
Масса передней секции m_1 , кг	16968
Масса задней секции m_2 , кг	21153
Расстояние от центра до первого моста L_1 , м	1640
Расстояние от центра до второго моста L_2 , м	2935
Расстояние от центра до третьего моста L_3 , м	2000
Ширина колеи b , м	2770
Линейный закон изменения угла складывания секций θ	$9 \cdot t$

Используя исходные данные и данные табл. 1, решаем систему уравнений методом Рунге-Кутты 4-го порядка точности. Результаты расчетов представлены на рис. 5–8.

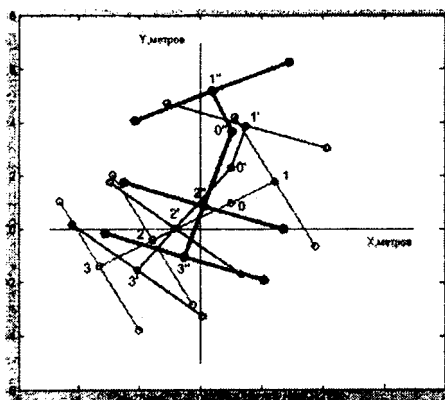


Рис. 5. Траектория поворота машины: 1-1'-1'' – траектория движения центра первого моста, 2-2'-2'', 3-3'-3'' – второго и третьего соответственно

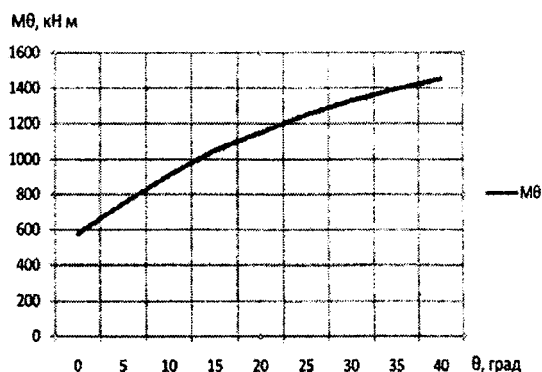


Рис. 6. Зависимость момента сопротивления повороту M_{θ} в движении от угла складывания секций θ

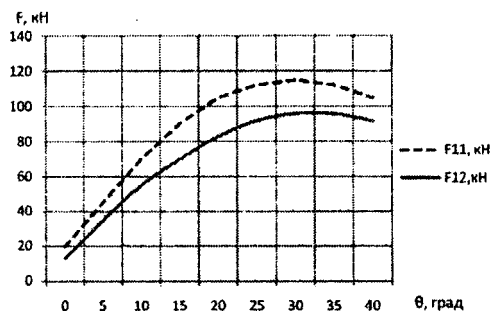


Рис. 7. Продольные силы колес передней секции: F_{11} – левого колеса; F_{12} – правого

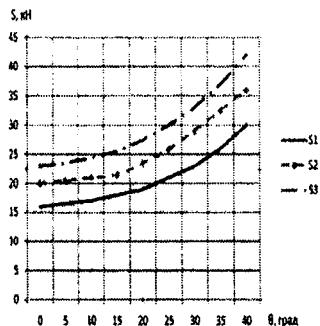


Рис. 8. Поперечные силы осей: S_1 – первой оси; S_2 – второй; S_3 – третьей

ЛИТЕРАТУРА

1. Бойков А.В. Теория и расчет трактора «Кировец». – М.: Машиностроение, 1980. – 276 с.
2. Фаробин Я.Е. Теория поворота транспортных машин. – М.: Машиностроение, 1970. – 324 с.
3. Скокан А.И. Исследование поворота шарнирно сочленённых колёсных машин. – М., 1973. – 89 с.
4. Ванцевич В.В. Динамика криволинейного движения колёсных машин. – М.: Машиностроение, 1981. – 396 с.
5. Смирнов Г.А. Теория движения колёсных машин. – М.: Машиностроение, 1981. – 271 с.
6. Гришкевич А.И. Автомобили: теория. – Минск: Выш. шк., 1986. – 208 с.