

С.Сейфуллиннің 125 жылдығына арналған «Сейфуллин оқулары – 15: Жастар, ғылым, технологиялар: жаңа идеялар мен перспективалар» атты халықаралық ғылыми-теориялық конференциясының материалдары = Материалы Международной научно-теоретической конференции «Сейфуллинские чтения – 15: Молодежь, наука, технологии – новые идеи и перспективы», приуроченной к 125-летию С.Сейфуллина. - 2019. - Т.II, Ч.1 - С.146-149

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ШАХТНОГО САМОХОДНОГО ВАГОНА

Марат Б.

В течение многих лет непрерывно совершенствовалась конструкция шахтных самоходных вагонов (ШСВ) и улучшалось качество их изготовления. Основные направления этих работ были следующими:

- увеличение скорости движения вагонов;
- повышение надежности основных узлов;
- улучшение управляемости;
- совершенствование тормозной системы.

Повышение скорости движения шахтных самоходных вагонов увеличило экономически целесообразные расстояния транспортирования горной массы, сократило количество одновременно работающих вагонов в забое и позволило существенно повысить производительность труда.

В данной научной работе проводится исследование получения системы дифференциальных уравнений движения шахтных самоходных вагонов по различным траекториям и рассматривается решение дифференциального уравнения движения шахтных самоходных вагонов для различных зависимостей крутящего момента электродвигателя от количества оборотов. Полученные результаты могут быть приняты к сведению на предварительном этапе проектирования шахтных самоходных вагонов, а также при выемке угля из шахты.

Решение дифференциальных уравнений движения ШСВ

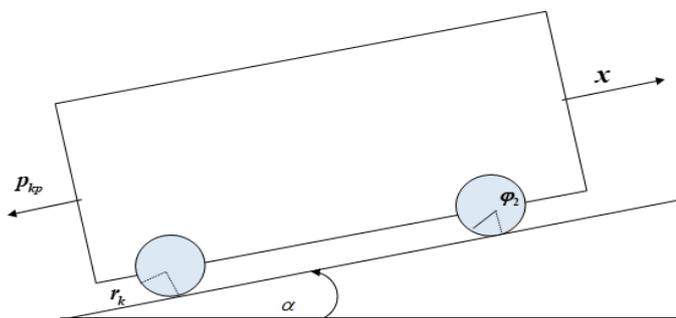


Рисунок 1. Общая схема шахтного самоходного вагона

где:

x - продольное перемещение машины; φ - угол поворота колеса; α - угол наклона трассы; P_{kp} - сила на крюке от прицепа; r_k - радиус качения колеса.

Рассмотрим уравнение движения вагона:

$$\left(\frac{I_k + I_{gb} \cdot i^2}{r_k} + M_0 r_k \right) \cdot \ddot{\varphi} = \frac{M_{gb}}{r_k} i \eta - mg \cdot (\sin \alpha + f \cdot \cos \alpha) - P_{kp} \quad (1)$$

В уравнении (1) важную роль имеет эффективное описание зависимости крутящего момента $M_{gb} = M_{gb}(n_{gb})$ от частоты n_{gb} вращения вала электродвигателя. Для применяемого типа электродвигателя ВАМП-72 мы видим эту характеристику на рисунке 2.

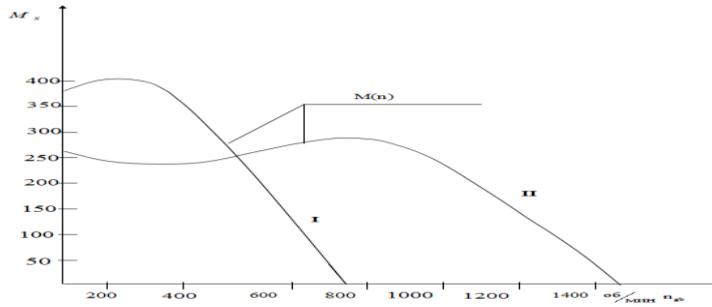


Рисунок 2. Зависимость моментов электродвигателя ВАМП - 72 от количества оборотов для первой и второй скоростей

В численных расчетах такая зависимость аппроксимировалась для каждой скорости в виде кусочно - параболической и линейной функции.

В результате вычислений будем иметь:

$$M = \begin{cases} A_1 \cdot n_{gd}^2 + C_1, & 0 \leq n \leq 600 \\ k_1 \cdot n_{gb1} + D_1, & n_{gb1} > 600 \end{cases} \quad (2)$$

- для первой скорости,

$$M = \begin{cases} 2,2 \cdot 10^{-4} (n_{gd} - 250)^2 + 232, & 0 \leq n_{gb} \leq 500 \\ -2,77 \cdot 10^{-4} (n_{gd} - 700)^2 + 260, & 500 \leq n_{gb} \leq 1330 \\ -0,75 \cdot n_{gb} + 1148 & n_{gb} > 1330 \end{cases} \quad (3)$$

- для второй скорости.

Исследуем случай, когда момент двигателя зависит от угла поворота колеса, для второй скорости, то есть меняется по следующему закону:

Теперь подставляем данные соотношения в уравнение (1), получаем:

$$\left(\frac{I_k + I_{gb} \cdot i^2}{r_k} + M_0 r_k \right) \cdot \ddot{\varphi} = \frac{2,2 \cdot 10^{-4} i^3 k^2 \eta}{r_k} \dot{\varphi}^2 - \frac{4,4 \cdot 10^{-4} i^2 k p \eta}{r_k} \dot{\varphi} - \frac{(2,2 \cdot 10^{-4} p^2 - 218,25) i \eta}{r_k} - mg \cdot (\sin \alpha + f \cdot \cos \alpha) - P_{kp} \quad (4)$$

- для первой параболической зависимости;

$$\left(\frac{I_k + I_{gb} \cdot i^2}{r_k} + M_0 r_k \right) \cdot \ddot{\varphi} = - \frac{2,77 \cdot 10^{-4} i^3 k^2 \eta}{r_k} \dot{\varphi}^2 + \frac{5,54 \cdot 10^{-4} i^2 k p \eta}{r_k} \dot{\varphi} - \frac{(2,77 \cdot 10^{-4} p^2 - 218,25) i \eta}{r_k} - mg \cdot (\sin \alpha + f \cdot \cos \alpha) - P_{kp} \quad (5)$$

Здесь для второй скорости перемещение,

$$x = r_k \frac{QE}{F^2} \left(-1 + e^{-\frac{F}{E}t} \right) + r_k \frac{Q}{F} t \quad (6)$$

а скорость

$$\dot{x} = r_k \dot{\varphi}_k = r_k \frac{Q}{F} \left(-1 + e^{-\frac{F}{E}t} \right)$$

Только для первой параболической зависимости замена будет:

$$\left. \begin{aligned} E_3 &= \left(\frac{I_k + I_{gb} \cdot i^2}{r_k} + M_0 \cdot r_k \right) \\ F_3 &= \frac{2,2 \cdot 10^{-4} k^2 i^3 \eta}{r_k} \\ Q_3 &= \frac{(2,2 \cdot 10^{-4} p^2 - 218,25) i \eta}{r_k} - mg \cdot (\sin \alpha + f \cdot \cos \alpha) - P_{kp} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Для второй параболической зависимости замена будет:

$$(8) \quad \left. \begin{aligned} E_4 &= \left(\frac{I_k + I_{gb} \cdot i^2}{r_k} + M_0 \cdot r_k \right) \\ F_4 &= \frac{2,77 \cdot 10^{-4} k^2 i^3 \eta}{r_k} \\ Q_4 &= \frac{(2,77 \cdot 10^{-4} p^2 - 395,73) i \eta}{r_k} - mg \cdot (\sin \alpha + f \cdot \cos \alpha) - P_{kp} \end{aligned} \right\}$$

И третьей линейной зависимости замена будет:

$$(9) \quad \left. \begin{aligned} E_5 &= \left(\frac{I_k + I_{gb} \cdot i^2}{r_k} + M_0 \cdot r_k \right) \\ F_5 &= \frac{0,75 k i^2 \eta}{r_k} \\ Q_5 &= \frac{1148 i \eta}{r_k} - mg \cdot (\sin \alpha + f \cdot \cos \alpha) - P_{kp} \end{aligned} \right\}$$

Окончательно, для первой и второй скорости перемещение и скорость вагона будет:

$$(10) \quad x = r_k \varphi \quad \text{перемещение вагона}$$

$$(10') \quad \dot{x} = r_k \dot{\varphi} \quad \text{скорость вагона}$$

где:

$$\begin{aligned} \varphi = & -\frac{QE}{2F^2 \sqrt{\frac{Q}{F} + (ipk)^2}} \left(\frac{1}{-ipk - \sqrt{\frac{Q}{F} + (ipk)^2}} \ln \left| -ipk + \right. \right. \\ & \left. \left. + \sqrt{\frac{Q}{F} + (ipk)^2} + \left(-ipk + \sqrt{\frac{Q}{F} + (ipk)^2} \right) e^{-2\frac{F}{E} \sqrt{\frac{Q}{F} + (ipk)^2} t} \right| + \right. \\ & \left. + \frac{1}{ipk - \sqrt{\frac{Q}{F} + (ipk)^2}} \ln \left| -ipk + \sqrt{\frac{Q}{F} + (ipk)^2} - \right. \right. \\ & \left. \left. - \left(ipk - \sqrt{\frac{Q}{F} + (ipk)^2} \right) e^{2\frac{F}{E} \sqrt{\frac{Q}{F} + (ipk)^2} t} \right| + \frac{E}{F} \ln \left| 2\sqrt{\frac{Q}{F} + (ipk)^2} \right| \right) \end{aligned} \quad (11)$$

В результате численных вычислений будем иметь (таблица 1):

Таблица 1. Перемещение и скорость вагона для второй скорости

$t = 10c$	$\varphi(рад)$	$\dot{\varphi}(рад/с)$	$x(м)$	$\dot{x}(м/с)$
$\alpha = 0$ (теор.)	25,14	4,63	14,33	2,64
$\alpha = 0$ (эксп.)	-	-	-	2,77

$$v_{теор} = 2,64 \text{ м/с}, \quad v_{эксп} = 2,77 \text{ м/с}, \quad \frac{2,77 - 2,64}{2,64} \cdot 100\% \approx 5\%$$

Сравнивая $V_{теор}$ с $V_{эксп}$ можно заключить, что $V_{теор}$ приблизительно на 5 % ниже $V_{эксп}$.

Сравнивая полученные результаты данной работы с результатами экспериментов, полученных в институте «Гипроуглегормаш», можно заключить, что полученная скорость приблизительно на 5 % ниже экспериментальной.

Полученные результаты совпадают с теми, что получены при выполнении хоздоговорной работы М - 148 на кафедре дифференциальных и интегральных уравнений КарГУ по заказу института «Гипроуглегормаш». Полученные результаты могут быть приняты к сведению на предварительном этапе проектирования шахтного самоходного вагона, а также при выемке угля из шахты.

Список литературы

1. «Шахтные самоходные вагоны, конструкция, теория и расчет». Под редакцией Кушанова Г.К. М: Машиностроение. 1975 г.
2. Бреннер В.А., Бауман А.В., Кожаханов С.К., Шендерович Ю.М. «Шахтные самоходные вагоны». М.: Недра, 1972 г.
3. «Методика тягового расчета шахтных самоходных вагонов». Караганда, НИПК и ЭИ «Гипроуглегормаш», 1994 г.
4. Dreier, J. «Concept for the use of self-propelled single cars for wagonload services», Journal for Railway and Transport, Volume 120, Issue 3, March 1996, Pages 86-95.
5. Siegmann, J., Heidmeier, S. «Prospects to enter new markets by using self-propelled freight-wagons», 2003.

Научный руководитель старший преподаватель, магистр Дюсембаева Л.К.