

УДК 681.51.013 + 629.114.2:51

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ВОЕННОЙ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ С КОМБИНИРОВАННОЙ ЭНЕРГОСИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ.

Захаров В.В.

Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии
А.В. Хрулева, г. Санкт-Петербург.

Аннотация. Статья посвящена исследованиям процесса движения военной гусеничной машины с комбинированной энергосиловой установкой. Предлагаемая математическая модель позволяет исследовать криволинейное, управляемое движение военной гусеничной машины и ее элементов: двигателя внутреннего сгорания, генератора, тяговых электродвигателей. Реализация предложенной математической модели, позволяет наиболее точно определять основные параметры комбинированной энергосиловой установки военной гусеничной машины.

Ключевые слова: военная гусеничная машина, подвижность, накопитель энергии, тяговые электродвигатели.

Введение

Как известно, одним из основных боевых свойств является подвижность. В современных условиях значение подвижности все больше увеличивается, так как, боевые действия приобретают преимущественно маневренный характер и роль передвижений войск, в том числе маршей на большие расстояния, непрерывно возрастает [1]. Подвижность характеризуется такими основными свойствами как быстроходность, автономность и проходимость. Основную роль в обеспечении данных свойств подвижности играет силовая установка и трансмиссия. На сегодняшний день, разработка новых технологий в области моторно-трансмиссионных установок (МТУ) концентрируется, прежде всего, на работах по созданию комбинированных силовых установок с электротрансмиссией и накопителями электрической энергии. [2] Именно такие МТУ позволяют существенно улучшить основные эксплуатационные характеристики и показатели подвижности. Однако, несмотря на этот факт, в данной области остается много нерешенных вопросов, одним из которых является отсутствие устоявшейся методики обоснования и расчета параметров комбинированной энергосиловой установки (КЭСУ) для военных гусеничных машин (ВГМ). Применяемые при исследованиях математические модели, как правило, направлены на детальную проработку одного из элементов КЭСУ, при этом значения остальных ключевых составляющих упрощаются.

КЭСУ представляет сложную систему устройств, находящихся в тесной взаимосвя-

зи и функционирующих как единое целое. Подход к вопросу обоснования мощностных параметров основных элементов КЭСУ (ДВС, ТЭД, Г и НЭ), а так же, в обеспечении оптимальности режимов их совместной работы, требует большого объема расчетных исследований в процессе проектирования. Поэтому актуален вопрос разработки математических моделей, описывающих движение ВГМ с КЭСУ в различных режимах.

Математическая модель движения военной гусеничной машины с комбинированной энергосиловой установкой

В движении гусеничная машина как динамическая система находится под действием внешних и внутренних возмущений, которые условно делятся на две группы: внешние условия, характеризующиеся состоянием поверхности участка пути; внутренние условия характеризуются воздействием водителя на органы управления. Моделирование движения ВГМ с КЭСУ предполагает наличие значений крутящих моментов и сил, действующих гусеничную машину. Определение внешних сопротивлений движению гусеничной машины связано с рассмотрением сил и моментов, действующих на нее, определяют по формулам классической теории движения гусеничной машины. Для более точного учета сил, действующих на машину, необходимо определить силовые факторы, которые возникают в контакте гусеницы с грунтом при повороте.

При решении дифференциальных уравнений, описывающих неустановившееся движение гусеничной машины на повороте, силы

и моменты в правых частях этих уравнений определены на основании расчетной схемы взаимодействия гусениц с грунтом по рисунку 1.

Согласно расчетной схеме положение машины на плоскости задано двумя линей-

ными координатами центра тяжести x_C , y_C и курсовым углом φ , показывающим отклонение продольной оси машины от оси координат Y . [3, 4]

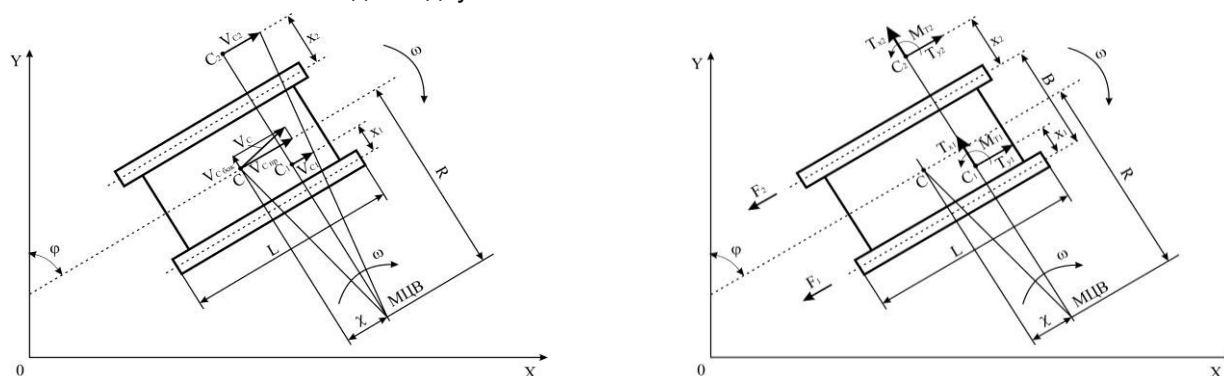


Рис. 1. Расчетная схема

Где: X, Y – декартовы координаты, φ – курсовой угол, МЦВ – мгновенный центр вращения, F_1, F_2 – силы сопротивления на отстающем и забегающем борту, V_C – линейная скорость центра тяжести, χ – продольное смещение полюса поворота, L – продольная база машины, B – поперечная база машины, x_1 – поперечное смещение полюса поворота отстающей гусеницы, x_2 – поперечное смещение полюса поворота забегающей гусеницы, $V_{C\text{бок}}$ – составляющая V_C , направленная перпендикулярно оси корпуса машины, $V_{C\text{пр}}$ – составляющая V_C , направленная вдоль оси корпуса машины, T_{x1} , T_{y1} – составляющие результирующей силы трения отстающей гусеницы о грунт, T_{x2} , T_{y2} – составляющие результирующей силы трения забегающей гусеницы о грунт, M_{T1} , M_{T2} – результирующие моменты трения отстающей и забегающей гусениц относительно полюсов поворота C_1 и C_2 соответственно, $\omega = d\varphi/dt$ – угловая скорость поворота корпуса, V_{C1} , V_{C2} – скорости полюсов поворота отстающей и забегающей гусениц соответственно.

Основные уравнения связей, характеризующие взаимодействие гусениц с грунтом, перераспределение веса машины при повороте по бортам, формирование тяговых усилий на гусеницах, сопротивление прямолинейному движению и повороту ВГМ взяты из работ [5, 6].

1. Коэффициенты буксования σ_1 и σ_2 определяются выражениям [3]:

$$\sigma_1 = \frac{\omega_1 \cdot r_{\text{вк}} - \dot{x}_C \sin \varphi - \dot{y}_C \cos \varphi - \varphi \cdot \left(\frac{B}{2}\right)}{\omega_1 \cdot r_{\text{вк}}}, \quad (1)$$

$$\sigma_2 = \frac{\omega_2 \cdot r_{\text{вк}} - \dot{x}_C \sin \varphi - \dot{y}_C \cos \varphi + \varphi \cdot \left(\frac{B}{2}\right)}{\omega_2 \cdot r_{\text{вк}}}, \quad (2)$$

где $\omega_{1,2} = \frac{1}{(\kappa + 1)i_{\partial n}} \left(\frac{\kappa}{i_3 i_k} \omega_T \mp \frac{1}{i_5} \omega_M \right)$ – угловые скорости вращения ведущих колес машины.

2. Зависимости $T_{y1}(x_1, y)$, $T_{y2}(x_2, y)$ взяты из работы [5].

3. Силы тяги на гусеницах заданы равными продольным составляющим сил трения гусеницы с грунтом $P_1 = T_{y1}(x_1, y)$; $P_2 = T_{y2}(x_2, y)$.

Важным этапом исследования, является выбор базовой структурной схемы и схемы замещения КЭСУ. Разрабатываемая КЭСУ состоит из двигателя внутреннего сгорания (ДВС), общего генератора (Г), накопителя энергии (НИ) и двух бортовых тяговых вентиляльных электродвигателей (ТЭД), соединенных через редукторы с ведущими колесами. Все электрические машины имеют силовые преобразователи тока и напряжения. Структурная схема представлена на рисунке 2.

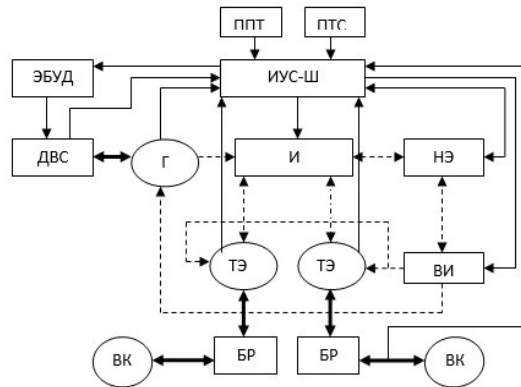


Рис. 2. Базовая структурная схема:

где: ВК – ведущие колеса; ДВС – двигатель внутреннего сгорания; ЭБУД – электронный блок управления двигателем; ИУС-Ш – информационно-управляющая система шасси; ППТ – педаль подачи топлива; ПТС – педаль тормозной системы; Г – генератор; И – инвертор с коммутатором цепей обмоток возбуждения; ВИ – вспомогательный инвертор; НЭ – накопитель энергии (тяговая аккумуляторная батарея или накопитель конденсаторного типа); ТЭД – тяговый электродвигатель; БР – бортовой редуктор.

Жирными линиями обозначена механическая связь, пунктирными линиями обозначена электрическая связь, тонкими – сигналы системы управления.

В результате соединения в систему перечисленных выше зависимостей сформулирована математическая модель, движения ВГМ с КЭСУ, в виде шести дифференциальных уравнений второго порядка, описывающие движение корпуса машины, вращение валов ДВС, генератора и тяговых электродвигателей:

$$\frac{d^2 X_c}{dT^2} = [(P_2 + P_1 - Pf_1 - Pf_2) \sin \varphi + R_6 \cos \varphi] \frac{g}{G}; \quad (3)$$

$$\frac{d^2 Y_c}{dT^2} = [(P_2 + P_1 - Pf_1 - Pf_2) \cos \varphi - R_6 \sin \varphi] \frac{g}{G}; \quad (4)$$

$$\frac{d^2 \varphi}{dT^2} = \left[(P_2 - P_1 + Pf_1 - Pf_2) \frac{B}{2} - \text{sign} \frac{d\varphi}{dT} M_c \right] \frac{1}{J_c}; \quad (5)$$

$$\frac{d\omega_n}{dT} = [M_{\partial 1} i_1 - M_{\partial 2} i_2] \frac{1}{J_1}; \quad (6)$$

$$\frac{d\omega_{\partial 1}}{dT} = \left[M_{\partial 1} - \frac{P_1 R_{\partial 1}}{i_{\partial 1}} \right] \frac{1}{J_2}; \quad (7)$$

$$\frac{d\omega_{\partial 2}}{dT} = \left[M_{\partial 2} - \frac{P_2 R_{\partial 2}}{i_{\partial 2}} \right] \frac{1}{J_3}. \quad (8)$$

В системе уравнений (3) – (8) использованы следующие обозначения: T – текущее время, с; X_c, Y_c – координаты центра тяжести машины, м; φ – курсовой угол, рад; $\omega_e, \omega_{\partial 1}, \omega_{\partial 2}$ – частоты вращения генератора и тяговых электродвигателей, рад/с; G – вес машины, Н; g – ускорение силы тяжести, м/с²; P_1, P_2 – силы тяги на ведущих колесах, Н; $Pf_1,$

Pf_2 – сопротивление передвижению колес, Н; R_6 – сила сопротивления боковому перемещению всех колес, определяемая как сумма поперечных составляющих сил трения колес о грунт; J_c, J_1, J_2, J_3 – момент инерции корпуса относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести, моменты инерции двигателя и генератора, бортовых электродвигателей с присоединенными к ним массами, кг·м²; $M_c, M_d, M_{\partial 1}, M_{\partial 2}$ – моменты сопротивления, двигателя, генератора, электродвигателей соответственно, Н·м; $R_{\partial 1}$ – радиус ведущего колеса, м; $i_1, i_2, i_{\partial 1}, i_{\partial 2}$ – передаточные числа в трансмиссии.

Известны следующие уравнения связей для электрических машин [7, 8]:

– для генератора:

$$U_{\partial 1} = E_{\partial 1} - r_{\partial 1} I_{\partial 1}, \quad (9)$$

где $r_{\partial 1}$ – сопротивление в обмотке последовательного возбуждения генератора, Ом; $U_{\partial 1}$ – напряжение, выдаваемое генератором в сеть, В; $E_{\partial 1}$ – ЭДС генератора, В;

$$M_{\partial 1} = \sqrt{3} k_{01} p w_1 \Phi \frac{U_r}{2 R_1} = C_e \Phi_{\partial 1} I_{\partial 1}, \quad (10)$$

где $M_{\partial 1}$ – момент на валу генератора, Н·м, C_e – постоянная для данной машины

величина, $\Phi_{гн}$ – магнитный поток, Вб, $I_{гн}$ – ток, А, k_{01} – обмоточный коэффициент фазы, p – число пар полюсов ротора, w_1 – число витков одной фазы;

$$E_{гн} = \sqrt{3} k_{01} p w_1 \Phi_{гн} \omega_{гн} = \Phi_{гн} C_e \omega_{гн}, \quad (11)$$

где $\omega_{гн}$ – угловая скорость вращения вала генератора;

В соответствии со структурной схемой, определены уравнения равновесия в электрической системе на основании схемы замещения, представленной на рисунке 3.

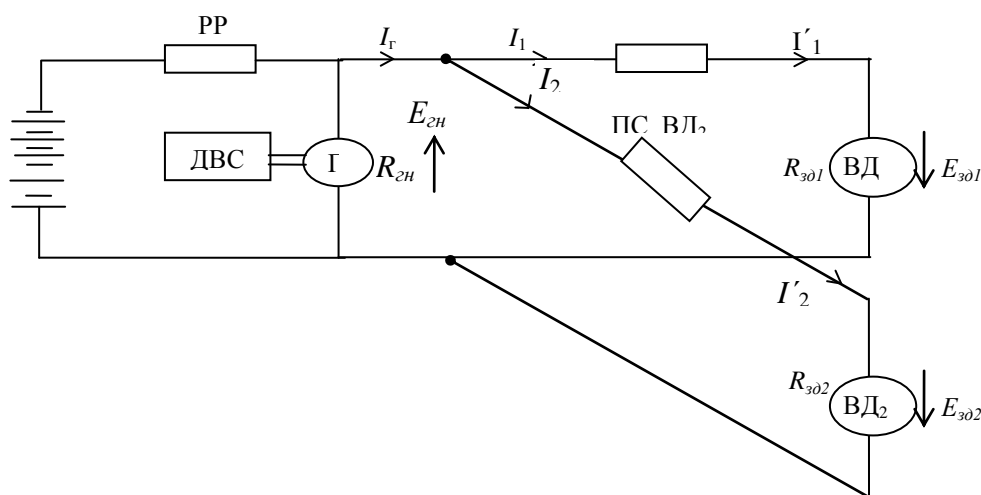


Рис.3. Схема замещения электропривода

Основные соотношения между токами в ветвях определены на основании метода Максвелла:

$$I_{гн} = I'_1 + I'_2 + I_{НЭ} + U_{гн} \frac{r_{гн} r_{э01} + r_{гн} r_{э02} + r_{э01} r_{э02}}{r_{гн} r_{э01} r_{э02}}, \quad (12)$$

$$U_{гн} = \frac{\frac{E_{гн}}{R_{гн}} + \frac{E_{э01}}{R_{э01}} + \frac{E_{э02}}{R_{э02}} + \frac{E_{НЭ}}{R_{НЭ}}}{\frac{r_{гн} r_{э01} + r_{гн} r_{э02} + r_{э01} r_{э02}}{r_{гн} r_{э01} r_{э02}} + \frac{1}{R_{гн}} + \frac{1}{R_{э01}} + \frac{1}{R_{э02}} + \frac{1}{R_{НЭ}}}, \quad (13)$$

где $r_{гн}, r_{э01}, r_{э02}$ – сопротивления обмоток параллельного возбуждения генератора и двух ТЭД, $R_{гн}, R_{э01}, R_{э02}$ – сопротивления статорных обмоток генератора и двух ТЭД, $R_{НЭ}$ – сопротивление НЭ.

Заключение

В результате проведенного исследования, определена структурная схема КЭСУ и схема замещения электропривода. Развита математическая модель движения ВГМ, состоящая из шести дифференциальных уравнений, описывающих движение машины в декартовых координатах, а также уравнений комбинированной энергосиловой установки,

полученных с использованием схемы замещения электропривода. Данная математическая модель позволит более точно проводить моделирование движения военной гусеничной машины с комбинированной энергосиловой установкой, для определения наиболее рациональных значений параметров основных элементов КЭСУ.

Библиографический список

1. Перспективы техники и вооружения / Ю.Ф. Алексаков военная мысль. // Военно-теоретический журнал -2011.- 3-1 - с. 31-35.
2. Лосик О.А. Имеют ли танки будущее? //Техника и вооружение. 2006-№ 1.
3. Сергеев, Л.В. Теория танка / Л.В. Сергеев. – М: Изд-во Академии бронетанковых войск, 1973. – 493 с.
4. Болдырев, Р.Н. Боковые нагрузки на опорные катки военной гусеничной машины в повороте / Р.Н. Болдырев, С.В. Кондаков // Вестник бронетанковой техники. – 1990. – № 12. – С. 29–32.
5. Кондаков, С.В. Имитационное моделирование движения быстроходной гусеничной машины с электрической трансмиссией С.В. Кондаков, Б.Н. Гомберг, С.В. Кондаков, Л.С. Носенко, О.О. Павловская // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2012. – Вып. 18. – № 37 – Челябинск: Изд. ЮУрГУ. – С. 26–31.
6. Кондаков, С.В. Повышение подвижности быстроходной гусеничной машины путем автоматизации системы управления криволинейным дви-

жением: монография. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2009. – 108 с.

7. Исаков, П.П. Электро-механические трансмиссии гусеничных тракторов / П.П. Исаков, П.Н. Иванченко, А.Д. Егоров. – Л.: Машиностроение, 1981. – 302 с.

8. Овчинников, И.Е. Вентильные электрические двигатели и приводы на их основе / Курс лекций. – СПб.: Корона-век, 2006. – 336 с.

MATHEMATICAL MODEL OF MOTION OF A MILITARY TRACKED VEHICLE WITH COMBINED POWER INSTALLATION

V.V. Zakharov

Abstract. The article investigates the process of military tracked vehicle movement with a combined power plant. The proposed mathematical model allows to study curved, controlled movement of military tracked vehicle and its components: an internal combustion engine, the generator, the traction motors. Implementation of the proposed model approach, the most accurate method to determine the main parameters of the combined power plant, military tracked vehicle.

Keywords: military tracked vehicle mobility, energy storage, traction motors.

References

1. Aleksakov Yu.F. Prospects of equipment and weapons / Yu.F. Aleksakov military thought. // Military-theoretical journal, 2011.- 3 -1- s. 31-35.

2. Losik O.A. Are tanks future? // Arms and equipment. 2006-№1.

3. Sergeev, L.V. Theory tank / L.V. Sergeev. - Moscow: Publishing House of the Academy of Armored Forces, 1973. - 493 p.

4. Boldyrev, R.N. Side loads on the bearing rollers military tracked vehicle in a turn / RNBoldyrev, S. Kondakov // Herald of armored vehicles. - 1990. - № 12. - s. 29-32.

5. Kondakov, S.V. Simulation of motion bystrohodoy tracked vehicle with electric transmission SV Kondakov, BN Gomberg, S.V. Kondakov, LS Nosenko, OO Pavlovskaya // Vestnik of SU-SU. "Engineering" series. - 2012. - Vol. 18. - number 37 - Chelyabinsk: Acad. SUSU. - s. 26-31.

6. Kondakov, S.V. Increasing the mobility of high-speed tracked vehicle by automating the curvilinear motion control system: a monograph. - Chelyabinsk: Acad. South Ural State University, 2009. - 108 p.

7. Isakov, P.P. Electro-mechanical transmission track tractors / PP Isakov, PN Ivanchenko, A.D. Egorov. - L.: Engineering, 1981. - 302 p.

8. Ovchinnikov, I.E. Valve electric motors and drives on their basis / Lecture Course. - SPb.: Crown-Century, 2006. - 336 p.

Захаров Виктор Викторович (Россия, г. Санкт-Петербург,) – адъюнкт, Военная академия МТО имени генерала армии А.В. Хрулева, (Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 8, e-mail: autovic81@rambler.ru.)

Zakharov Victor Yiktorovich (Russian Federation, Sankt-Peterburg) - an associate, Military Academy material and technical support named after General A.V.Hruleva Army. (Sankt-Peterburg, embankment Makarova 8, e-mail: autovic81@rambler.ru)

УДК 621.396.96(075.8)

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ДОРОЖНЫХ И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ НА ОСНОВЕ РАССТОЯНИЙ ДО ТРЕХ СПУТНИКОВ

М.С. Корытов¹, В.С. Щербаков¹, Р.Ю. Сухарев¹

¹Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия «СибАДИ», Омск, Россия

Аннотация. Приводится описание способа определения координат точки на поверхности земли на основе расстояний до трех спутников. Способ предназначен для определения координат дорожных и строительных машин на поверхности Земли при помощи системы глобального позиционирования Глонасс/GPS. Использован математический аппарат однородных координат. Применяется прием замены исходной постановки задачи решений системы из трех уравнений сфер в декартовых координатах на упрощенную при помощи дополнительных ограничений, накладываемых на направления осей координат. Решение упрощенной задачи выступает как этап решения исходной задачи. Выполнена вычислительная проверка разработанного способа, которая доказала его адекватность и работоспособность. Минимальное количество спутников Глонасс/GPS при использовании разработанного способа может быть снижено с четырех в известных методиках до трех.

Ключевые слова: спутниковая навигация, Глонасс, GPS, координаты, расстояние.