

В.И. Филатов¹, П.О. Береснев¹, Д.В. Зезюлин¹, А.А. Куркин¹,
Ю.В. Шапкина¹, В.В. Беляков¹, С.Е. Манянин²

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ДВИЖЕНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ И ТОПЛИВНУЮ ЭКОНОМИЧНОСТЬ

¹Нижегородский государственный технический университет им Р.Е.Алексеева(НГТУ)
ООО «ТрансМаш»

В статье рассматривается многофункциональное вездеходное транспортное средство. Приведены формулы для расчета динамической характеристики выбранной машины. Проанализированы различные законы управления гидрообъемной трансмиссией. Приведены примеры характерных условий эксплуатации. Проанализирована эффективность и топливная экономичность транспортного средства с колесной формулой 8x8. Даны характеристики разрабатываемого транспортного средства.

Ключевые слова: многофункциональное вездеходное транспортное средство, моделирование движения, законы управления.

Особенность географического положения России заключается в том, что две трети ее площади составляют неосвоенные и малоосвоенные территории, расположенные в труднодоступных местах.

Результаты проведенных маркетинговых исследований показали, что ежегодно организациями и частными лицами в Российской Федерации приобретается в среднем 700 – 750 единиц новой техники, произведенной в России. Наибольшее количество существующих моделей вездеходов имеет колесную формулу 4x4 (47%), вездеходы 6x6 (30%), и всего около 20% - модели 8x8. Средние и тяжелые вездеходы 8x8 по своей сути являются потенциальными конкурентами гусеничным транспортным средствам, так как оказывают существенно меньшее вредное воздействие на почвенный покров.

В настоящее время на многоосных колесных машинах применяются гидрообъемные и электромеханические трансмиссии. Наиболее известным российским автомобилем с гидрообъемной трансмиссией является разработанный Центральным научно-исследовательским автомобильным и автомоторным институтом «НАМИ» 3-хосный автомобиль «Гидроход-49061». Анализ спроса на машины с колесной формулой 8x8 показывает, что конкурентоспособная машина должна быть меньшей массы и габаритов, иметь гидрообъемную трансмиссию, независимую подвеску, систему управления поворотом всех колес и шины сверхнизкого давления.

Для выбора параметров ГОТ необходимо провести тягово-скоростной расчет. Динамический фактор определяется по следующей зависимости [1]:

$$D_{\max} = \frac{\sum M}{G_a r_{kc}} = \frac{i_{pm} \eta_{pm} [(p_n^{\max} - p_n - \Delta p_{nom}) q_m^{\max} \eta_{mm}] z_m}{2\pi 10^2 G_a r_{kc}}, \quad (1)$$

скорость движения по выражению [1]:

$$V_{k\max} = 0.377 \frac{\omega_e \max z_n q_n^{\max} \eta_{Vn}^{P_{w\max}} r_{kc}}{i_{pn} i_{pm} (2 - \eta_{Vn}^{P_{w\max}}) z_m q_n^{\min}}, \quad (2)$$

где V – скорость машины; Z_n ; Z_m – количество насосов, моторов; ω_e – угловая скорость двигателя; q_n ; q_m – объем насоса, объем мотора; r_{kc} – радиус качения; p_n – давление насоса; Δp_{nom} – потери давления в гидроконтуре; p_n – давление подпитки; G_a – вес автомобиля; i_{pn} ,

$i_{рм}$ – передаточные числа редукторов насоса, мотора, $\eta_{рн}$; $\eta_{н}$, $\eta_{м}$, $\eta_{рм}$ – КПД редуктора насоса, насоса, мотора, редуктора мотора.

Пример динамической характеристики показан на рис. 1.

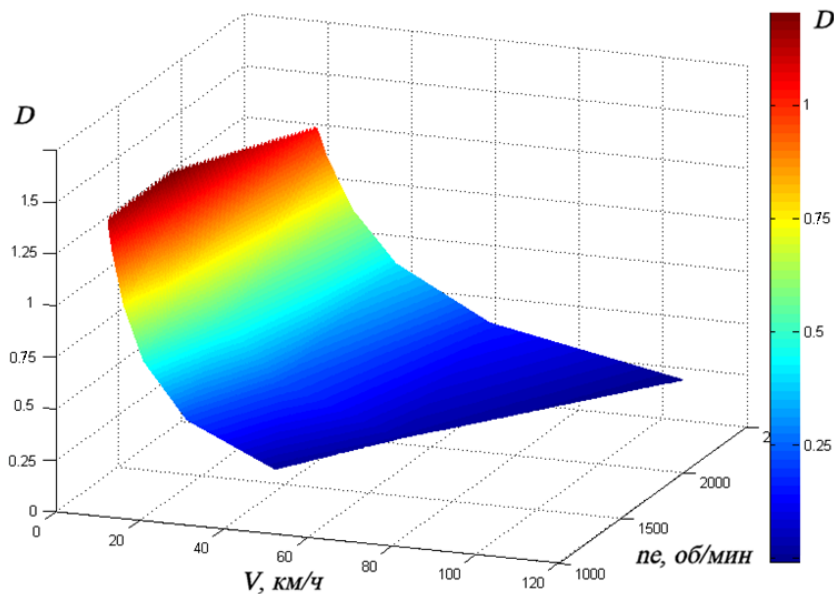


Рис. 1. Динамическая характеристика МВТС

Для первоначальной настройки и регулировки ГОТ была разработана модель в программном комплексе Matlab/Simulink. Основные уравнения взаимосвязи параметров работы гидроагрегатов представлены далее.

Для насоса:

$$- \text{момент } T_H = p_w q_H (2\pi\eta_H)^{-1}, \quad (3)$$

$$- \text{подача } Q_H = q_H \omega_H \eta_{V_H}. \quad (4)$$

Для мотора:

$$- \text{момент } T_M = p_w q_M \eta_M (2\pi)^{-1}, \quad (5)$$

$$- \text{подача } Q_M = q_M \omega_M \eta_{V_M}^{-1}. \quad (6)$$

p_w – перепад давлений рабочей жидкости в нагнетательной и сливной магистралях гидромашин, η_{V_H} , η_{V_M} – объемный КПД соответственно насоса и гидромотора. Соотношение моментов на валах моторов рассчитывается из следующего соотношения:

$$T_{M1} : T_{M2} : T_{M3} : \dots \approx q_{M1} : q_{M2} : q_{M3} : \dots$$

Угловые скорости гидромоторов вычисляются по зависимости:

$$Q_H \approx q_{M1} \omega_{M1} + q_{M2} \omega_{M2} + q_{M3} \omega_{M3} + \dots$$

Более подробно модель работы ГОТ при движении МВТС описана в [5-7].

Для выбора рациональных настроек системы управления ГОТ была проанализирована работа при различных законах управления:

- алгоритм регулирования буксования колес борта по известной линейной скорости движения центра масс шасси МВТС;
- алгоритм «высокопорогового» (по «сильному» колесу) регулирования колес борта шасси МВТС (с ограничением углового ускорения колес);
- алгоритм регулирования буксования колес по средней скорости вращения колес борта шасси МВТС.

При моделировании МВТС двигалось по разным характерным опорным основаниям, например, движение по поверхности с высоким и переездом на участок с низким сцеплением, движение по поверхности с высокими сцепными свойствами с чередованием участков с низким сцеплением. Наиболее сложной для работы системы управления ГОТ является поверхность типа «микст» со случайным заданием параметров. При моделировании задавалось сочетание поверхностей типа снег и грунт с характеристиками, распределенными по нормальному закону распределения. Графическая наглядная картина участка движения показана на рис. 2.

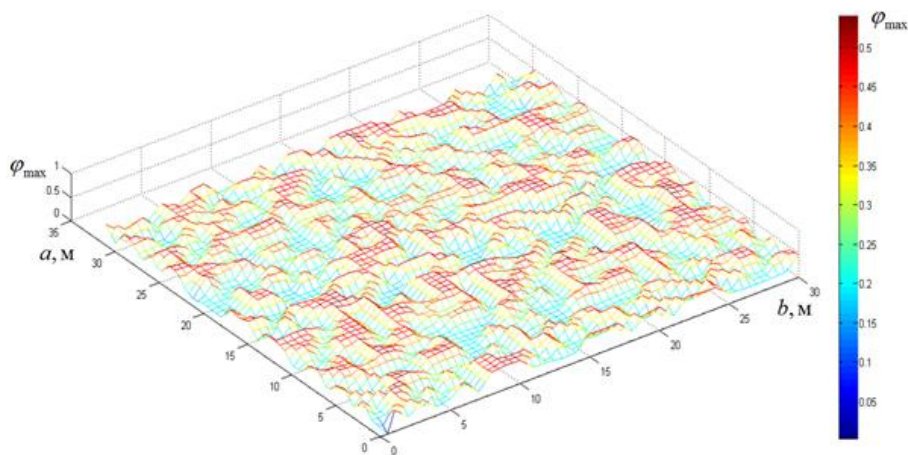


Рис. 2. Графическая интерпретация задания условий движения

По результатам численного моделирования сделаны выводы об эффективности использования разработанных алгоритмов управления гидрообъемным приводом колесных движителей МВТС.

Эффективность работы системы управления ГОТ тем выше, чем изменчивее характеристики опорных оснований, по которым едет машина. Так, для ступенчатого изменения параметров полотна пути, характерных для случая движения по поверхности с высоким и переездом на участок с низким сцеплением, повышение эффективности и снижение расхода топлива составляют десятые доли процента. Для случая движения по поверхности с высокими сцепными свойствами с чередованием участков с низким сцеплением приращение эффективности составляет 3-5 %, а расход топлива снижается на 8-14 % в зависимости от выбранной схемы регулирования. Для случая движения по поверхности типа «микст» приращение эффективности составляет 5-10 %, а расход топлива снижается на 11-18 % в зависимости от выбранной схемы регулирования.

Отметим, что с реальными условиями движения МВТС наиболее соотносится опорное основание типа «микст». Поэтому можно сделать вывод о том, что наряду с радикальным повышением подвижности разработанные алгоритмы управления позволят повысить эффективность работы ГОТ до 10% и снизить расход топлива до 18%.

Общий вид МВТС показан на рис. 3. Краткие технические характеристики приведены в табл. 1.

Представленные результаты получены в ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы» (соглашение № 14.574.21.0107 (уникальный идентификатор соглашения - RFMEFI57414X0107)).

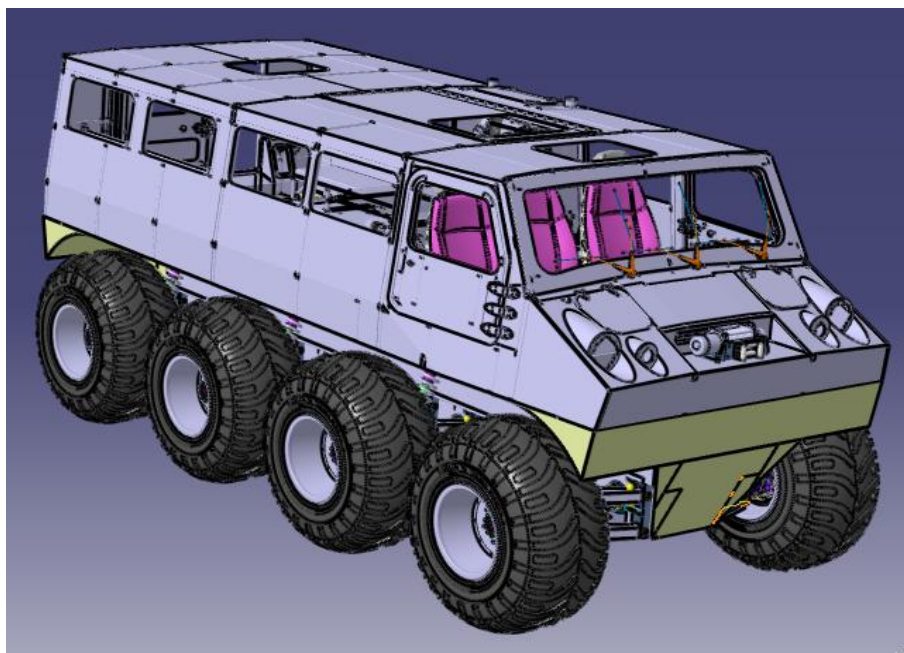


Рис. 3. Общий вид МВТС

Таблица 1

Основные характеристики МВТС

Параметры	Характеристики МВТС
Колесная формула	8x8
Число посадочных мест	13
Кузов	Цельнометаллический, водоизмещающий (лодка)
Снаряженная масса, кг	4500
Грузоподъемность, кг	3500
Габаритная длина/Ширина, мм	5650/2800
Габаритная высота, мм	2800
База, мм	4350
Колея, мм	2100
Дорожный просвет, мм	550
Мощность кВт (л.с.) при об/мин	110 (150) при 2400
Крутящий момент, Н·м при об/мин	490 при 1500-1700
Трансмиссия	Гидростатическая
Гидронасосы	2 насоса с регулируемым объемом. Рабочий объем 125 см ³
Гидромоторы	8 моторов с регулируемым объемом. Рабочий объем 107 см ³
Шины	1300x700
Диапазон рабочих давлений в шине, кПа (кг/см ²)	15-80(0,15-0,8)
Минимальное давление шины на грунт, кПа (кг/см ²)	12 (0,12)
Максимальная скорость на шоссе/на воде, км/ч	60 (5)

Библиографический список

1. **Беляков, В.В.** Концепция подвижности наземных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков, А.М.Беляев, М.Е.Бушуева, У.Ш.Вахидов, К.О.Гончаров, Д.В.Зезюлин, В.Е.Колотилин, К.Я.Лелиовский, В.С.Макаров, А.В.Папунин, А.В.Тумасов, А.В.Федоренко // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. № 3 (100). С. 145-174.
2. **Беляков, В.В.** Подвижность наземных транспортно-технологических машин / В.В.Беляков, Д.В.Зезюлин, В.Е.Колотилин, В.С.Макаров // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. № 4. С. 72-77.
3. Полотно пути транспортно-технологических машин. Под общей редакцией В.В. Белякова и А.А. Куркина. Нижний Новгород, 2014. 447 с.
4. **Барахтанов, Л.В.** Обоснование рациональной конструкции вездеходного транспортного средства с колесной формулой 8x8 / Л.В. Барахтанов, В.В. Беляков, Д.В. Зезюлин, В.С. Макаров, С.Е. Манянин, С.Л. Тропин// Вестник машиностроения. 2015. № 6. С. 3-5.
5. **Belyakov, V.** Multifunctional vehicle for coastal areas / V. Belyakov, A. Kurkin, V. Makarov, D. Zeziulin // Proceedings of the 12th International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST 2015, pp. 945-951.
6. **Барахтанов, Л.В.** Разработка многофункционального вездеходного транспортного средства, оборудованного интеллектуальными системами привода колесных движителей, обладающего повышенным уровнем энергоэффективности и улучшенной топливной экономичностью / Л.В.Барахтанов, В.В.Беляков, А.А.Куркин, В.С.Макаров, Д.В.Зезюлин // Сборник тезисов докладов «Научно-технической конференций и выставки инновационных проектов, выполненных вузами и научными организациями Приволжского федерального округа» 17- 18 декабря 2014 г.г. Нижний Новгород. С. 40-43.
7. **Zeziulin, D.** Development of multi-wheeled all-terrain vehicle with hydrostatic transmission driveline / D. Zeziulin, V. Makarov, A. Belyaev, V. Belyakov // 13th European Conference of the International Society for Terrain-Vehicle Systems, Rome, Italy, October 21-23, 2015. p. 517-523.

*Дата поступления
в редакцию 25.02.2016*

**V. Filatov¹, P. Beresnev¹, D. Zeziulin¹, A. Kurkin¹,
U. Shapkina¹, V. Belyakov¹, S. Manyanin²**

INVESTIGATION OF IMPACT OF MOVEMENT CONDITIONS OF MULTIFUNCTIONAL VEHICLE ON MOVEMENT EFFICIENCY AND FUEL ECONOMY

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev (NNSTU)
Ltd. «TransMash»

The article deals with a multifunctional all-terrain vehicle. Formulas for calculating the dynamic characteristics of the selected vehicle are given. The different control laws of working hydrostatic transmission are analyzed. Examples of typical operating conditions are given. Efficiency and fuel economy of the vehicle with wheel formula 8x8 are analyzed. The specifications of developed vehicle are given.

Key words: multifunctional all-terrain vehicle, motion simulation, control laws.