DOI: 10.58168/MTST2026_196-199
УДК 623.437.3.093; 629.03; 629.36

ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ШАССИ КОЛЕСНЫХ МАШИН ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МОДУЛЬНОГО ГУСЕНИЧНОГО ДВИЖИТЕЛЯ

Р.Ю. Добрецов[1], С.Б. Добрецова[1], С.А. Войнаш[2], В.А. Соколова[3]
[1] Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург, Россия, dr-idpo@yandex.ru
[2] Рубцовский индустриальный институт (филиал) «Алтайский государственныйтехнический университет им. И.И. Ползунова»,
г.Рубцовск, Россия, sergeyvoinash@yandex.ru
[3] Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, г. Санкт-Петербург, Россия, sokolova_vika@inbox.ru

Аннотация. Приведены основные результаты расчетной оценки энергоэффективности шарнирно-сочлененного шасси с треугольными гусеничными модулями. Расчеты проведены в сравнении с серийными гусеничными машинами. Указаны конструктивные особенности, обеспечивающие преимущества четырехгсеничному шасси.

Ключевые слова: резиноармированная гусеница, принцип управления поворотом, сопротивление движению, затраты мощности, рекуперация энергии.

EVALUATION OF THE ENERGY EFFICIENCY OF WHEELED VEHICLE CHASSIS WITH A MODULAR CRAWLER PROPULSION

R.Yu. Dobretsov[1], S.B. Dobretsova[1], S.A. Voinash[2], V.A. Sokolova[3]
[1] Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russia, dr-idpo@yandex.ru
[2] Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of Polzunov Altai State Technical University,
Rubtsovsk, Russia, sergeyvoinash@yandex.ru
[3] Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Saint-Petersburg, Russia, sokolova_vika@inbox.ru

Abstract. The main results of the calculated evaluation of the energy efficiency of an articulated chassis with triangular track modules are presented. The calculations were carried out in comparison with serial tracked vehicles. An analysis of the results was also carried out.

Keywords: rubber-reinforced track, steering principle, resistance to movement, power consumption, energy recovery.

Треугольный гусеничный обвод применяется на серийно выпускаемых шасси. При этом может использоваться как стальная звенчатая гусеница, так и резиноармированая гусеница (РАГ).

Съемный модульный гусеничный движитель (МГД) устанавливается на место ведущих колес трактора (см., например, источники [1, 2], а также рис. 1). Разработаны и модули для легковых автомобилей, не требующие даже снятия ведущего колеса (например, система «*Track N Go*»). Во всех этих случаях цель – увеличение площади контакта движителя с грунтом. Для сельскохозяйственных тракторов это обеспечивает снижение воздействия на почву и увеличение тягово-сцепных свойств. Для легкового автомобиля – повышает проходимость по снегу и сыпучим грунтам.

© Добрецов Р. Ю., Добрецова С. Б., Войнаш С. А., Соколова В. А., 2026

Современной четырехгусеничной машиной с несъемными гусеничными обводами является транспортер *LuWa* (см. публикацию [3]). Однако, при проектировании подобных машин является увеличение живучести и подвижности.

МГД увеличивает неподрессоренную массу транспортного средства. Например, масса одного МГД для трактора высокого тягового класса составляет около 2000 кг (см. источник [2]). МГД имеет сложную конструкцию, иногда не взаимозаменяем с колесом. Сопротивление качению МГД выше, чем для пневматического колеса низкого давления. В этой связи возникает потребность комплексной оценке энергоэффективности четырехгусеничного трактора с МГД.

Транспортное (транспортно-тяговое) средство обладает некоторой совокупностью свойств, каждое из которых отдельно оценивается с помощью определенного критерия. Такая оценка показывает достигнутый уровень совершенства рассматриваемой конструкции в сравнении с другими образцами. Построение обобщенного показателя, количественно характеризующего совокупность свойств транспортного средства – неформализованная задача, решаемая различными методами в зависимости от цели, материально-технического обеспечения и др. ограничений.

Актуальной проблемой является развитие мелодики объективной количественной оценки эффективности работы агрегатов шасси гусеничной машины, базирующейся на основе анализа энергозатрат при передвижении и учитывающий экологические аспекты эксплуатации. Применение такой методики позволит объективно оценить эффективность мер по снижению энергозатрат в шасси и уровень воздействия шасси на экосистему. В частности, представляет интерес вариант адаптации разработанной для двухгусеничной машины [4, 5] для случая четырехгусеничной машины с МГД.



Рисунок 1 – Треугольный гусеничный модуль [2] и трактор К-744 с МГД
Figure 1 – Triangular tracked module [2] and K-744 tractor

Известные на настоящий момент методы комплексной оценки эффективности транспортных средств, а также отдельных сложных систем шасси, не являются целесообразными к применению в случае оценки энергоэффективности шасси гусеничной машины. Методика оценки эффективности шасси должна строиться на основе анализа энергозатрат в шасси на характерных режимах работы.

В качестве математического аппарата для построения обобщенного показателя энергоэффективности шасси гусеничной машины целесообразен к использованию метод построения обобщенного отклика сложной системы с применением функции желательности (функции предпочтительности Харрингтона). Методика более подробно изложена в публикациях [4, 5].

Для проведения сравнительных расчетов при оценке энергоэффективности шасси гусеничных машин выбраны следующие характерные условия движения.

Прямолинейное движение:

• тяговый режим: коэффициент сопротивления движению трелевочной системы ξ =0,25, скорость движения V =1,5 м/с;

• транспортный режим: коэффициент сопротивления качению f =0,08, скорость движения V =6,5 м/с.

Режим поворота:

• режим маневров: коэффициент сопротивления повороту μ_{max} =0,8, относительный радиус поворота ρ =0,5, скорость движения V =1,0 м/с;

• транспортный режим: коэффициент сопротивления повороту μ_{max} =0,7, относительный радиус поворота ρ =10, скорость V =7 м/с; тест на положительное смещение траков проводится на бетонной плите.

Для проведения сравнительной оценки отобраны шасси, имеющие движитель с гусеницей на основе открытого металлического шарнира (ОМШ) последовательного типа, а также рассмотрен вариант установки на машину РАГ. Шасси трактора «Кировец» К-8 взято в модификации с МГД на основе гусениц с ОМШ и РАГ.

Шасси МТ-ЛБ относится к транспортно-тяговым машинам, предназначено в основном для буксировки прицепов и техники в тяжелых грунтовых условиях. Шасси БТР-Д (десантируемая модификация БМД) является транспортной гусеничной машиной. Все объекты имеют трансмиссию на базе вальных коробок передач, представляют собой машины, конструкция которых адаптирована к серийному выпуску на отечественных предприятиях.

Расчеты носят прогностический характер, поскольку некоторые параметры приходится принимать на основе известных аналогов. Однако, результаты укладываются в ожидаемую тенденцию.

На рис. 2 представлены результаты расчета комплексного показателя эффективности работы систем шасси.

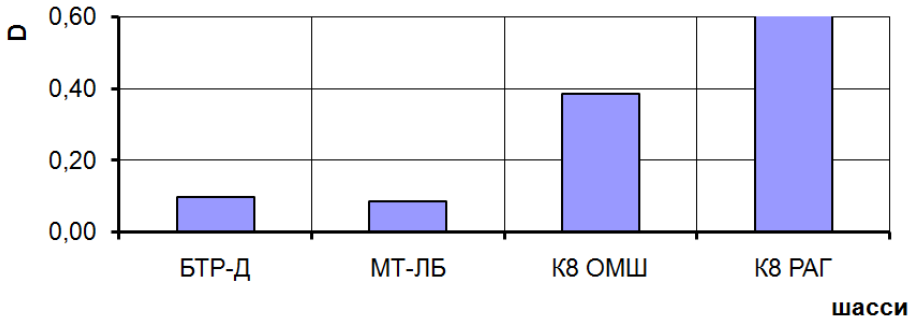

Рисунок 2 – Комплексный показатель эффективности работы систем шасси

Figure 2 – Comprehensive performance indicator of chassis systems

Анализ результатов расчетов по номенклатуре частных показателей позволил указать на ключевые технические решения, позволяющие объяснить преимущества разрабатываемого шасси в сравнении выбранными серийными машинами.

1. Использование РАГ исключает потери силы натяжения, связанные с колебаниями траков. Сила натяжения расходуется «полезно» на преодоление внешних сопротивлений. Снижаются и вибрации, передаваемые на корпус машины.

2. Большое преимущество шасси трактора получает за счет выбранного способа управления поворотом. Для тракторов серии К-8 относительной мощности, рассеиваемой при буксовании элемента управления по смыслу эквивалентна, потребная мощность насоса системы гидропривода механизма поворота.

3. Экологические преимущества заключаются в существенно меньшем давлении на почву, а при использовании РАГ дополнительно ожидается исключение негативных эффектов, связанных с неустойчивостью звеньев традиционной гусеницы.

Использование РАГ также может позволить получить более равномерную эпюру давлений под гусеницей.

Следует отметить, что шасси К-8 существенно уступает другим сравниваемым машинам по показателям, характеризующим эффективность использования мощности двигателя и работы системы подрессоривания.

Выводы

Проведенные оценочные расчеты показывают, что применение на перспективном тракторе сери К-8 МГД на основе РАГ в сочетании с используемой системой управления поворотом определяет существенные преимущества перед двухгусеничными машинами. Дальнейшее увеличение качества управления поворотом представляется возможным за счет использования управляемых механизмов распределения мощности, позволяющих снизить нагрузки на гидроцилиндры механизма поворота за счет согласования радиусов кинематического и силового поворота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новинки Завода на агросезон 2016-2017 – 12.10.2016 // Кировец. – URL: https://kirovets-ptz.com/press/news/novinki-zavoda-na-agrosezon-2016-2017/? sphrase_id=741578 (дата обращения: 25.03.2026).

2. https://poluzzi-track.ru/gusenichnyj-hod-poluzzi-ctr036rx-v1-st-/-ctr030rx-v1-st-dlya-sharnirno-sochlenennyh-traktorov (Дата обращения: 24.03.2026).

3. Marco Klöckner und Ulrich Schael (2021). Gesamtsystem demonstrator für einen zukünftigen Luftbeweglichen Waffenträger. https://soldat-und-technik.de/2021/08/mobilitaet/ 28007/gesamt systemdemonstrator-fuer-einen-zukuenftigen-luftbeweglichen-waffentraeger/ (Дата обращения: 24.03.2026).

4. Добрецов, Р. Ю. Объективная оценка технических характеристик шасси транспортных гусеничных машин / Р. Ю. Добрецов // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 2. – С. 19-23.

5. Добрецова, С. Б. О выборе метода построения обобщенного отклика в задаче оценки энергоэффективности шасси транспортной гусеничной машины / С. Б. Добрецова, Р. Ю. Добрецов // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы международной научно-технической конференции, Тюмень, 16 апреля 2015 года / Ответственный редактор Н. С. Захаров. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2015. – С. 99-103.

REFERENCES

1. New products of the Plant for the agricultural season 2016-2017 – 12.10.2016 // Kirovets. – URL: https://kirovets-ptz.com/press/news/novinki-zavoda-na-agrosezon-2016-2017 / sphrase_id=741578 (accessed: 03/25/2026).

2. https://poluzzi-track.ru/gusenichnyj-hod-poluzzi-ctr036rx-v1-st-/-ctr030rx-v1-st-dlya-sharnirno-sochlenennyh-traktorov

3. Marco Klöckner und Ulrich Schael (2021). Gesamtsystem demonstrator für einen zukünftigen Luftbeweglichen Waffenträger. https://soldat-und-technik.de/2021/08/mobilitaet/ 28007/gesamt systemdemonstrator-fuer-einen-zukuenftigen-luftbeweglichen-waffentraeger/

4. Dobretsov, R. Y. Objective assessment of the technical characteristics of the chassis of transport tracked vehicles / R. Y. Dobretsov // Tractors and agricultural machinery. – 2011. – No. 2. – pp. 19-23.

5. Dobretsova, S. B. On the choice of a method for constructing a generalized response in the task of evaluating the energy efficiency of a transport tracked vehicle chassis / S. B. Dobretsova, R. Y. Dobretsov // Transport and transport technology systems: Proceedings of the International scientific and Technical conference, Tyumen, April 16, 2015 / The responsible editor is N. S. Zakharov. – Tyumen: Tyumen State Oil and Gas University, 2015. – pp. 99-103.