

УДК 630\*36

**ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЛЕСНОМ  
КОМПЛЕКСЕ МАШИН С ПОЛУГУСЕНИЧНЫМ ДВИЖИТЕЛЕМ****Добрецов Роман Юрьевич**

*Доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: dr-idpo@yandex.ru*

**Дмитриев Александр Сергеевич**

*Инженер авторского надзора АО «Гипростроймост-Санкт-Петербург»,  
г. Санкт-Петербург, Россия, e-mail: dmitriev.nauka@mail.ru*

**Григорьев Игорь Владиславович**

*Доктор технических наук, профессор, Арктический государственный агротехнологический университет, г. Якутск, Россия, e-mail: silver73@inbox.ru*

**Аннотация.** Проблема повышения эффективности отечественного лесного машиностроения стоит в России достаточно остро. Одним из вариантов решения этой проблемы является использование машин с полугусеничным двигателем, которые имеют как определенные достоинства, так и определенные недостатки. В статье представлен краткий анализ перспектив внедрения лесных машин с полугусеничным двигателем, а также перспективы их дальнейшего совершенствования. Работа выполнена в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» Арктического государственного агротехнологического университета. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-26-00009, <https://rscf.ru/project/22-26-00009/>.

**Ключевые слова:** лесные машины, лесное машиностроение, полугусеничный двигатель, лесозаготовки, лесное хозяйство.

**PROBLEMS AND PROSPECTS OF USING SEMI-TRACKED VEHICLES  
IN THE FOREST COMPLEX****Dobretsov Roman Yurievich**

*Doctor of technical sciences, professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia, e-mail: dr-idpo@yandex.ru*

**Dmitriev Alexander Sergeevich**

*Engineer of author supervision of JSC "Giprostroykost-St. Petersburg", St. Petersburg, Russia, e-mail: dmitriev.nauka@mail.ru*

**Grigoryev Igor Vladislavovich**

*Doctor of technical sciences, professor, Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia, e-mail: silver73@inbox.ru*

**Abstract.** The problem of increasing the efficiency of domestic forestry engineering is quite acute in Russia. One of the solutions to this problem is the use of machines with a semi-tracked engine, which have both certain advantages and certain disadvantages. The article presents a brief analysis of the prospects for the introduction of forest machines with a semi-tracked propulsion, as well as the prospects for their further improvement. The work was performed within the framework of the scientific school "Innovative developments in the field of logging industry and forestry" of the Arctic State Agrotechnological University. The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 22-26-00009, <https://rscf.ru/project/22-26-00009/>.

**Keywords:** forestry machines, forestry engineering, semi-tracked propulsion, logging, forestry.

**Введение.** Одной из основных проблем современного лесного комплекса Российской Федерации является лесное машиностроение. Санкции и контрсанкции привели к уходу с российского рынка части ведущих компаний-производителей лесных машин и оборудования. Это сильнее заострило необходимость скорейшей разработки и внедрения в производство отечественных лесных машин.

Природно-производственные условия лесозаготовок и лесного хозяйства в Российской Федерации варьируются в очень широких пределах, определяя необходимость разработки и производства широкой линейки машин по мощностным характеристикам, массогабаритным параметрам, проходимости, способности работать на пересеченной местности, и т.д.

У лесохозяйственных организаций варьируются масштабы, перечень и условия проведения лесохозяйственных работ. У лесозаготовительных предприятий в широких пределах варьируются таксационные характеристики осваиваемых насаждений, почвенно-грунтовые и рельефные условия работы, объемы лесозаготовок, расстояния перемещения первичного транспорта леса, и т.д.

**Материалы и методы исследования.** Материалы данной статьи получены путем анализа литературных источников, данных сайтов компаний-производителей, интервью со специалистами отрасли.

**Результаты.** Варианты машин различного назначения на полугусеничном ходу (колесно-гусеничном ходу) известны достаточно давно. Такие варианты движителей применялись на тракторах, транспортерах, даже мотоциклах (рисунки 1-3). Их преимуществом, по сравнению с чисто колесным вариантом, является увеличение проходимости и силы тяги, а к общим недостаткам можно отнести худшую управляемость и меньшую среднюю скорость движения. В работе [1] в качестве примера представлен обзор шасси, выпускавшихся в Германии и использованных в период Великой Отечественной Войны (ВОВ).

С точки зрения лесных машин, высокая проходимость и сила тяги значительно важнее высоких эксплуатационных скоростей. Но ухудшение управляемости является значительным негативным фактором, особенно при проведении рубок ухода за лесом, других выборочных рубок, работ на комбинированном лесовосстановлении.

Многократно отмечалось в различных публикациях и на совещаниях различных уровней, что после развала СССР отечественное лесное машиностроение практически перестало существовать, и в настоящее время находится в крайне печальном состоянии. Этого нельзя сказать о отечественном сельскохозяйственном машиностроении, которое благодаря мощной государственной поддержке, а главное, грамотному руководству, во многом может полностью решить задачу импортозамещения в этой важной отрасли, причем за счет достаточно широкой линейки машин.

В связи с тем, что в лесозаготовительном производстве Российской Федерации, по количеству, преобладают юридические лица, относимые по принятой классификации к мелким и малообъемным, в лесах России часто можно встретить сельскохозяйственные тракторы, приспособленные под нужды лесозаготовителей. Такие варианты далеко не всегда целесообразны и безопасны, как минимум из-за отсутствия у таких машин защиты кабин, но ряд технических решений мог бы позволить повысить эффективность работы такой техники в лесу.



**Рис. 1.** Полугусеничный ход мотоциклетной базы



**Рис. 2.** Полугусеничный ход автомобильной базы



**Рис. 3.** Полугусеничный ход тракторной базы

Наиболее распространенным у владельцев небольших фермерских хозяйств, лесозаготовителей с малыми объемами заготовки, являются тракторы МТЗ, как одни из самых оптимальных по соотношению цена/качество.

Именно на Минском тракторном заводе, на котором с 60-х годов прошлого века разрабатывалась машина на полугусеничном ходу (МТЗ-50). На этот трактор устанавливались резино-металлические гусеницы. Производственные испытания, проведенные в разных регионах СССР доказали эффективность такого конструктивного решения. Такой вариант трактора изготавливался на машиностроительном заводе в г. Бобруйске. Но эти тракторы не были предназначены для выполнения тяжелых работ.

Отечественная группа компаний «Тракторные системы» представила современную разработку трактора МТЗ на полугусеничном ходу. Качество представленной машины подтверждено сертификатом соответствия «О безопасности сельскохозяйственных и лесозаготовительных тракторов и прицепов к ним».

Благодаря установке колесно-гусеничного хода на трактор МТЗ-80, сила его тяги при мощности двигателя 60,3 кВт, как показали производственные испытания, сравнялась с силой тяги колесного трактора, с мощностью двигателя 103 кВт. И показывает экономию топлива до 30%, по сравнению с трактором более высокого тягового класса. Что немаловажно, и с точки зрения работы в лесу, у трактора на полугусеничном ходу значительно снижается давление на опорную поверхность.

Согласно данным производственных испытаний, представленных разработчиками машины, тяговое усилие переоборудованного на колесно-гусеничный ход трактора МТЗ-80.1, по сравнению с базовым колесным вариантом, возрастает на 50%. Существенно возрастает проходимость трактора, при этом нагрузки в трансмиссии благодаря тому, что ведущая звездочка гусеницы меньше по диаметру, чем штатное заднее колесо, не превышают номинальные значения для базового трактора, и даже снижаются. Пятно контакта движителя с поверхностью движения увеличивается почти в 7 раз, сцепной вес трактора увеличивается, примерно на 2 т, и используется значительно эффективнее. Существенно увеличивается коэффициент сцепления, и трактор работает практически без пробуксовок. Повышение тягового КПД, снижение затрат мощности на преодоление сопротивления движения по целине и пробуксовку позволяет поднять производительность на транспортных операциях и снизить расход топлива.

Поворот не приводит к нарушению почвенного горизонта, и не снижает тягового усилия. Гусеницы при повороте работают вместе. Управление трактором на полугусеничном ходу осуществляется при помощи штатных передних,

управляемых колес. При использовании тормозной системы радиус поворота составляет 6 м, без использования тормозной системы – 11 м. Особенности кинематики гусеничного движителя при повороте рассмотрены, например, в публикациях [2,3] и др. работах.

У устанавливаемых на рассматриваемый трактор гусеничных движителей высоко подняты передние катки, что позволяет гусеничным парам успешно преодолевать типичные лесные препятствия – поваленные стволы, пни, камни, кочки и т.д.

Конструкция трактора подразумевает возможность использования и чисто колесного хода, например, при перемещении по дороге. Для этого есть конструктивная возможность поднимать задние гусеничные тележки выше опорной поверхности, при установке на трактор задних колес. То есть в рассматриваемой конструкции трактора полугусеничный ход является опцией, которую можно подключать и отключать, в зависимости от природно-производственных условий. Следовательно, трактор на полугусеничном ходу полностью соответствует концепции универсальных машин, которые наиболее предпочтительны для малообъемных лесозаготовок, небольших объемов лесохозяйственных работ, многоцелевого лесопользования, а также в смежных, например, небольших фермерских хозяйствах.

Большим достоинством рассматриваемой конструкции является весьма небольшая цена, что очень важно для владельцев с небольшим финансовым оборотом.

До сих пор наиболее востребованным в лесозаготовительном производстве является шасси трактора 3-го тягового класса со звенчатыми металлическими гусеницами. Оно обладает достаточной массой, чтобы обеспечить возможность установки специального технологического оборудования (манипулятора с харвестерной головкой и др.), реализовать высокие тягово-динамические качества, нести двигатель достаточной мощности.

Гусеничный движитель обеспечивает высокую проходимость такой машины, но во многих случаях весь потенциал не реализуется. Результаты исследований режимов работы лесных гусеничных машин представлены в публикациях [4-6]. Около 60% рабочего времени машина выполняет маневры или трелюет груз, находясь под действием значительной продольной силы. Распределение нормальных реакций при этом таково, что передние опорные катки оказываются недогруженными, центр давлений смещается назад. Передняя часть опорной ветви движителя создает сопротивление движению, но основная полезная работа, заключенная в формировании тяговых сил, осуществляется примерно 2/3 задней части опорной ветви.

Соответственно, такой режим работы сопровождается дополнительными энергозатратами, что приводит к снижению топливной экономичности.

Добиться более равномерного распределения нормальных реакций по длине опорной поверхности можно балластированием. В этом случае дополнительные потери энергии, связанные с нерациональной работой движителя, будут наблюдаться в пределах оставшихся 40% рабочего времени.

В пределах времени холостого хода (при самопередвижении машины) при реализации малых сил тяги, за счет особенностей кинематики траков при прохождении опорного катка возникают колебательные процессы, которые также приводят к потерям энергии. Причем эти процессы могут захватывать почти всю длину опорной поверхности. Проблема исследовалась применительно к вопросам эксплуатации шарниров последовательного и параллельного типа, открытых металлических и резино-металлических [7-10].

Применение колесно-гусеничного движителя позволило бы в некоторой степени решить эти проблемы: длину опорной поверхности гусеницы можно при этом сократить, насколько возможно, ушив гусеницу для сохранения требуемого давления на грунт. При этом масса гусеничного движителя снизится, а эффективность формирования тяговых сил при трелевке и самопередвижении изменится, ожидается, несущественно. Вопрос влияния продольной внешней силы на эффективность использования опорной поверхности при формировании тяговой силы представлен, например, в работе [11].

Известной проблемой колесно-гусеничных машин является избыточная устойчивость прямолинейного движения и плохая управляемость. Направление движения машины в значительной степени определяется направлением вектора тяги, создаваемой гусеницами. Сцепных возможностей колес часто недостаточно для того, чтобы реализовать качественное управление поворотом. Это – одна из проблем, сдерживающее развитие колесно-гусеничных машин (хотя исторически известно достаточно много примеров таких конструкций – от мотонарт с движителем Кегресса и колесно-гусеничных грузовых автомобилей в СССР, до «полугусеничных» транспортеров (и даже мотоциклов) Германии, использованных во время ВОВ, и тракторов, бронетранспортеров и грузовых автомобилей США и Великобритании).

Решить проблему управляемости можно, согласовав кинематическое управление поворотом, осуществляемое с помощью поворота управляемых колес переднего моста и силового управления поворотом за счет создания разности сил тяги на гусеницах бортов (возможен вариант и кинематического управления, когда контролируется разность угловых скоростей гусениц [12,13]; этот принцип обеспечивает более высокое качество управления поворотом, но требует применения более дорогих двухпоточных механизмов передачи и поворота). За

основу следует взять опыт, полученный при разработке управляемого механизма распределения мощности для колесного трактора [14-16] построения метода комплексной оценки энергоэффективности шасси гусеничной машины [17].

Как показывает опыт зарубежных лесопользователей, вариант колесного трактора, переоборудованного под полугусеничный ход, позволяет получить трелевочную технику, успешно работающую на сборе и трелевке лесоматериалов, как на волоках, так и на усах лесовозных дорог (рисунок 4). Благодаря высокой проходимости машин на полугусеничном ходу, а также низкому давлению на опорную поверхность эти машин можно использовать на рубках ухода за лесом, в условиях почвогрунтов с низкой несущей способностью [18-23]. Высокая сила тяги, в купе с низким давлением на почвогрунт делают такие машины предпочтительными для эксплуатации в условиях лесов криолитозоны [24-26]



**Рис. 4.** Форвардер на базе трактора на полугусеничном ходу

**Заключение.** Для Российской Федерации очень актуально развивать технологии производства широкой линейки лесных машин, особенно универсальных. Рассмотренная конструкция трактора МТЗ на полугусеничном ходу вполне может служить прототипом для разработки эффективной лесной машины. Однако для этого необходимо провести ряд теоретических и экспериментальных исследований, с целью увеличения энергоэффективности шасси трелевочного трактора и машин на его основе за счет применения колесно-гусеничного движителя с комбинированной системой управления поворотом. А именно:

Выполнить патентный поиск, анализ и обзор технических решений, анализ и обзор математических моделей работы движителя, анализ и обзор математических моделей оценки энергоэффективности шасси транспортных машин.

Обосновать принцип согласования радиусов кинематического и силового поворота (комбинированного управления поворотом). Определить внешние параметры механизма передачи и поворота.

Построить математическую модель работы колесно-гусеничного движителя с учетом комбинированного способа управления поворотом.

Разработать математическую модель комплексной оценки энергоэффективности для колесно-гусеничного движителя. Определить рациональные параметры движителя с применением данной модели.

### Список литературы

1. О типаже военной автомобильной техники вермахта / Ю.А. Заяц, Ю.А. Будорагин, Е.В. Медведев // Научный резерв.– 2020. – № 2 (10). –С. 25-31.
2. Забавников Н.А. Основы теории транспортных гусеничных машин. – М.: Машиностроение, 1975. – 448 с.
3. Шеломов В.Б. Теория движения многоцелевых гусеничных и колесных машин. Тяговый расчет криволинейного движения: учебное пособие для вузов по специальности «Автомобиле- и тракторостроение» / В.Б. Шеломов. – Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 90 с.
4. Кочнев А.М. Рабочие режимы отечественных колесных трелевочных тракторов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 520 с.
5. Кочнев А.М. Теория движения колесных трелевочных систем. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. – 612 с.
6. Основные направления повышения эксплуатационной эффективности гусеничных трелевочных тракторов / Г. М. Анисимов, А. М. Кочнев; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет.— СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007 .— 455 с.
7. Петров В.А., Выбор основных параметров ходовой части танка, обеспечивающих наименьшее сопротивление движению, Вестник танковой промышленности, N4, 1954 г. С. 13-23.
8. Акулов С.В., Дорогин С.В., Степанов В.Н. О сдвиге гусениц при прямолинейном движении танка. – Вестник бронетанковой техники, 1959 г., №2.
9. Мазур А.И., Крюков В.В., Фадеев И.Ф. Механизм взаимодействия гусениц с грунтом // ВБТ, 1983, №3.
10. Дорогин С.В., Карнаух В.П., Влияние размещения грунтозацепов на сопротивление движению ТГМ. Вестник бронетанковой техники, N11, 1989.

11. Эффективность использования опорной поверхности гусеничного движителя при передаче нормальных нагрузок / Ю.В. Галышев, Р.Ю. Добрецов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Сер.: Наука и образование. – 2013. – №3. – С. 272-278.
12. Замкнутые системы управления поворотом гусеничных машин = Closed-loop control system for tracked vehicle steering / Ю.В. Галышев [и др.] // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Сер. : Наука и образование / Министерство образования и науки РФ; Санкт-Петербургский гос. политехн. ун-т. – Санкт-Петербург, 2014. – № 3 (202). – С. 201-208.
13. Пути улучшения управляемости лесных и транспортных гусеничных машин / И.В. Григорьев, Р.Ю. Добрецов, А.М. Газизов // Системы. Методы. Технологии. – 2017. – №3(43) – С. 97-106.
14. Дидиков Р.А., Добрецов Р.Ю. К вопросу о выборе кинематических схем шестеренчатых МРМ // Автомобильная промышленность: ежемесячный научно-технический журнал / Министерство образования и науки РФ; ОАО "Автосельхозмаш-холдинг". – М., 2014. – № 9. – С. 12-14.
15. Didikov R A ect 2017 Power Distribution Control in Perspective Wheeled Tractor Transmission Procedia Engineering pp 1735–1740. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.706>
16. Didikov R.A. ect 2018 Power Distribution Control in the Transmission of the Perspective Wheeled Tractor with Automated Gearbox Advances in Intelligent Systems and Computing (Springer International Publishing AG). Pp. 192-200. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1>.
17. Добрецов Р.Ю. К вопросу теоретической оценки эксплуатационных свойств шасси транспортных гусеничных машин / Р.Ю. Добрецов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Сер.: Наука и образование. – 2011. №3. – С. 98–103.
18. Григорьева О.И. Эффективность транспортно-технологических систем для лесного хозяйства // Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы Международной научно-технической конференции. Отв. ред. Н. С. Захаров. 2018. С. 79-83.
19. Григорьева О.И. Новая машина для проведения рубок ухода за лесом // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 2-2 (13-2). С. 116-119.
20. Григорьева О.И., Давтян А.Б., Гринько О.И. Перспективы импортозамещения в производстве лесохозяйственных и лесопожарных машин в России // Лесоэксплуатация и комплексное использование древесины. Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск, 2020. С. 66-69.

21. Куницкая О.А., Степанова Д.И., Григорьев М.Ф. Перспективные направления развития транспортно-технологических систем лесного комплекса России // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе. Материалы международной научно-практической конференции. Под общей редакцией В.А. Гулевского. 2018. С. 109-114.
22. Куницкая О.А., Щетнева Я.А. Снижение экологического ущерба от работы лесных машин // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы третьей Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2017. С. 140-143.
23. Бурмистрова О.Н., Просужих А.А., Хитров Е.Г., Куницкая О.А., Лунова Е.Н. Теоретические исследования производительности форвардеров при ограничениях воздействия на почвогрунты // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2021. № 3 (381). С. 101-116.
24. Куницкая О.А., Никитина Е.И., Николаева Ф.В. Особенности лесозаготовки в Республике Саха Якутия // Управление земельными ресурсами, землеустройство, кадастр, геодезия и картография. Проблемы и перспективы развития. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 255-летию Землеустройству Якутии и Году науки и технологий. Якутск, 2021. С. 308-313.
25. Рудов С.Е., Куницкая О.А. Теоретические исследования экологической совместимости колесных лесных машин и мерзлотных почвогрунтов лесов криолитозоны // Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы Международной научно-технической конференции. Отв. редактор Н.С. Захаров. 2020. С. 323-326.
26. Никитина Е.И., Куницкая О.А., Николаева Ф.В. Проект организации лесозаготовок в условиях Алданского лесничества с применением многооперационных лесозаготовительных комплексов // Современные проблемы и достижения аграрной науки в Арктике. Сборник научных статей по материалам Всероссийской студенческой научно-практической конференции с международным участием в рамках «Северного форума – 2020» (29–30 сентября 2020 г., Якутск) и Международной научной онлайн летней школы – 2020 (6–20 июля 2020 г., Якутск). 2020. С. 138-148.