

Научная статья

УДК 623.437.3.093;629.1.032.001;629.36

DOI: 10.37482/0536-1036-2025-4-143-153

Распределение мощности в трансмиссиях лесных и транспортных колесных машин

Р.Ю. Добрецов¹, д-р техн. наук, доц.; *ResearcherID:* [H-2530-2019](https://orcid.org/0000-0002-3827-0220),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3827-0220>

С.Б. Добрецова¹, ст. преподаватель; *ResearcherID:* [AEF-4221-2022](https://orcid.org/0000-0002-8509-2105),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8509-2105>

С.А. Войнаш², мл. науч. сотр.; *ResearcherID:* [AAK-2987-2020](https://orcid.org/0000-0001-5239-9883),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5239-9883>

В.А. Соколова³, канд. техн. наук, доц.; *ResearcherID:* [AAK-6062-2020](https://orcid.org/0000-0001-6880-445X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6880-445X>

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ул. Политехническая, д. 29, Санкт-Петербург, Россия, 195251; dr-idpo@yandex.ru, sdobretsova@mail.ru

²Казанский федеральный университет, ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, Россия, 420008; sergeyvoynash@yandex.ru

³Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, ул. Большая Морская, д. 18, Санкт-Петербург, Россия, 191186; sokolova_vika@inbox.ru

Поступила в редакцию 04.02.25 / Одобрена после рецензирования 07.04.25 / Принята к печати 09.04.25

Аннотация. Приведены аргументы в пользу создания управляемых межосевых дифференциалов, адаптированных для эксплуатации в трансмиссиях лесных и транспортных колесных машин, принципы определения их параметров, подходы к проектированию. Предложен путь локализации производства таких механизмов в Российской Федерации. Цель работы – поиск способов повышения тяговых свойств и проходимости машин за счет управления распределением мощности между ведущими мостами. Использовались методы теории движения колесных машин, теории машин и механизмов, подходы к проектированию агрегатов трансмиссий транспортных средств. Концепция управляемого межосевого механизма распределения мощности сформулирована на основе анализа условий работы и особенностей конструкции распространенных в лесозаготовительной промышленности колесных машин. Разработка данного механизма оправдана с точки зрения повышения эффективности распределения мощности и улучшения эксплуатационных характеристик транспортных средств. Предложены принципы определения основных внешних параметров механизма. Рассматриваются подходы к созданию кинематических схем, что важно для понимания процесса передачи движений между элементами механизма. Показано, что кинематический и силовой анализ позволяют оценить влияние механических сил и движений на функционирование устройства. Определены моменты на основных звеньях механизма для обеспечения надежности и эффективности проектирования. Результаты могут быть использованы при конструировании управляемых межосевых механизмов распределения мощности для трансмиссий лесных и транспортных колесных машин. Применение управляемого межосевого дифференциала может повысить эксплуатационные показатели лесных гусеничных машин за счет увеличения полноты использования тягово-сцепных свойств шасси. Предложенным механизмом целесообразно оснащать трансмиссию 4-гусеничной машины (в частности, в случае установки треугольных гусеничных модулей вместо

ведущих колес изначально колесного трактора). При разработке подобных механизмов следует использовать подходы, апробированные в теории движения колесных и гусеничных машин и методы проектирования узлов трансмиссий транспортных машин. Для максимальной локализации производства управляемых межосевых дифференциалов представляется возможным применять технологии, распространенные в танкостроении. Работа может послужить основой для дальнейшего поиска инженерных решений в области механики и автомобильной техники, открывая новые возможности для улучшения управления распределением мощности в транспортных средствах.

Ключевые слова: симметричный дифференциал, планетарный механизм, опорные реакции, использование сцепного веса, проходимость, управляемость, устойчивость движения

Для цитирования: Добрецов Р.Ю., Добрецова С.Б., Войнаш С.А., Соколова В.А. Распределение мощности в трансмиссиях лесных и транспортных колесных машин // Изв. вузов. Лесн. журн. 2025. № 4. С. 143–153.

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-4-143-153>

Original article

Power Distribution in Transmissions of Forestry and Transport Wheeled Vehicles

Roman Yu. Dobretsov¹, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [H-2530-2019](https://orcid.org/0000-0002-3827-0220),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3827-0220>

Svetlana B. Dobretsova¹, Senior Lecturer; ResearcherID: [AEF-4221-2022](https://orcid.org/0000-0002-8509-2105),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8509-2105>

Sergey A. Voinash², Junior Research Scientist; ResearcherID: [AAK-2987-2020](https://orcid.org/0000-0001-5239-9883),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5239-9883>

Viktoria A. Sokolova³, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: [AAK-6062-2020](https://orcid.org/0000-0001-6880-445X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6880-445X>

¹Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, ul. Politekhnikeskaya, 29, Saint Petersburg, 195251, Russian Federation; dr-idpo@yandex.ru, sdobretsova@mail.ru

²Kazan Federal University, ul. Kremlevskaya, 18, Kazan, 420008, Russian Federation; sergeyvoinash@yandex.ru

³Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, ul. Bolshaya Morskaya, 18, Saint Petersburg, 191186, Russian Federation; sokolova_vika@inbox.ru

Received on February 4, 2025 / Approved after reviewing on April 7, 2025 / Accepted on April 9, 2025

Abstract. The article presents arguments in favor of creating controlled center differentials adapted for use in transmissions of forestry and transport wheeled vehicles, the principles for determining their parameters, and approaches to design. A way to localize the production of such mechanisms in the Russian Federation is proposed. The aim of the work has been to find ways to improve the traction properties and cross-country ability of vehicles by controlling the power distribution between the drive axles. The methods of the theory of motion of wheeled vehicles, the theory of machines and mechanisms, and approaches to the design of vehicle transmission units have been used. The concept of a controlled center-to-center power distribution mechanism has been formulated based on an analysis of the operating conditions and design features of wheeled machines used in the logging industry. The development

of this mechanism has been justified from the point of view of increasing the efficiency of power distribution and improving the performance characteristics of vehicles. The principles for determining the main external parameters of the mechanism have been proposed. The approaches to the creation of kinematic diagrams have been considered, which is important for understanding the process of transferring movements between the elements of the mechanism. It has been shown that kinematic and force analysis makes it possible to evaluate the influence of mechanical forces and movements on the functioning of the device. The points on the main links of the mechanism have been identified to ensure the reliability and efficiency of the design. The results can be used in the design of controlled center-to-center power distribution mechanisms for transmissions of forestry and transport wheeled vehicles. The use of a controlled center differential can improve the performance of forestry tracked vehicles by increasing the full use of traction properties of the chassis. It is advisable to equip the transmission of a 4-tracked vehicle with the proposed mechanism (in particular, in the case of installing triangular tracked modules instead of the driving wheels of an originally wheeled tractor). When developing such mechanisms, it is necessary to apply approaches tested in the theory of motion of wheeled and tracked vehicles and methods for designing transmission assemblies of transport vehicles. To maximize the localization of the production of controlled center differentials, it is possible to use technologies used in tank construction. The work can serve as a basis for further research into engineering solutions in the field of mechanisms and automotive technology, opening up new opportunities for improving the management of power distribution in vehicles.

Keywords: symmetric differential, planetary gear mechanism, supporting reactions, use of coupling weight, cross-country ability, controllability, motion stability

For citation: Dobretsov R.Yu., Dobretsova S.B., Voinash S.A., Sokolova V.A. Power Distribution in Transmissions of Forestry and Transport Wheeled Vehicles. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2025, no. 4, pp. 143–153. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-4-143-153>

Введение

Колесные машины широко применяются в лесной промышленности при проведении лесозаготовительных и транспортных работ. Для этой сферы характерно не только создание семейств машин различного назначения на базе колесного шасси, но и большое разнообразие самих базовых шасси. При этом преобладающая часть производителей – это иностранные предприятия (Timberjack, Caterpillar, Ranger, TreeFarmer, John Deere и др.). Обзор и анализ конструктивных особенностей базовых шасси выполнялись на основе источников [2–7, 9, 13]. Номенклатура моделей, эксплуатируемых на предприятиях Северо-Западного региона, подробно представлена, например, в монографии [4].

Несмотря на многообразие моделей, прослеживаются общие тенденции в подходе к компоновке машины, принципам построения ходовой части и трансмиссии, обусловленные назначением агрегата и условиями эксплуатации. Шасси является полноприводным. Для трелевочных тракторов (скиддеров) свойственно наличие 2 ведущих мостов (рис. 1). Для сортиментовозов или форвардеров, харвестеров обычно выбирается 3-осная схема, при этом сзади часто используется балансирная (танDEMная) тележка [4].

Обширные статистические данные по условиям эксплуатации [4 и др.] указывают на распространенность лесных колесных машин для тяжелых грунтовых условий, когда целесообразнее было бы использовать гусеничную тех-

нику. Для улучшения сцепных свойств в этих случаях применяют цепи противоскольжения и съемные гусеницы.



Рис. 1. Отечественные лесные колесные машины: слева – колесный трелевочный трактор ЛТ-157; справа – форвардер «Онежец» ШЛК 6-04

Fig. 1. The domestic forestry wheeled vehicles: on the left – LT-157 wheeled skidder; on the right – ShLK-6-04 “Onezhets” forwarder

Актуальной тенденцией современного тракторостроения является установка треугольного гусеничного модуля на место ведущего колеса изначально колесного трактора. Форма модуля позволяет снизить риск попадания грязи и предметов в зацепление, а также исключить соударение ведущего колеса с поверхностью почвогрунта. Для сельскохозяйственных тракторов зарубежные производители выпускают модули на основе резинокордной гусеницы (рис. 2). В Российской Федерации ведутся разработки подобных конструкций. При модернизации сельскохозяйственного трактора основная цель – снижение давления на почву. Для лесных машин более актуально увеличение тягово-сцепных характеристик (поэтому при наличии задней приводной тележки часто используются съемные гусеничные цепи). Двигатель лесной машины взаимодействует с камнями, корнями, порубочными остатками. В связи с этим в конструкции подобного модуля для лесной машины более актуальна звенчатая металлическая гусеница с параллельным резинометаллическим шарниром [8, 20–22, 24].



Рис. 2. Треугольный гусеничный модуль [12]

Fig. 2. The triangular tracked module [12]

При установке треугольного гусеничного модуля на заднюю ось 2-осной машины существенно увеличивается максимальная сила тяги по сцеплению с грунтом, которая при передаче на ведущие колеса может обеспечить больший момент за счет переключения режимов работы межосевого управляемого дифференциала. Следует обратить внимание, что установка треугольного гусе-

ничного модуля в общем случае ведет к изменению массы неподрессоренных частей, параметров колебательных процессов, это, в свою очередь, негативно сказывается на ресурсе шасси. Кроме того, изменение высоты центра тяжести влияет на поперечную устойчивость машины.

Цель данного исследования заключается в улучшении тяговых характеристик и проходимости лесных колесных машин посредством регулирования распределения энергии между основными мостами.

Задачи: аргументировать необходимость разработки конструкции управляемого межосевого механизма распределения мощности с использованием симметричного дифференциала; предложить принципы выявления основных внешних характеристик данного механизма и методы разработки его кинематических схем; найти пути кинематического и силового анализа рассматриваемого механизма; указать на апробированные технологии, позволяющие локализовать производство таких механизмов на предприятиях Российской Федерации.

Объектами исследования являются шасси колесных транспортных средств для лесозаготовок, системы трелевки и автопоезда.

Использовались методы теории движения колесных транспортных средств, а также теории машин и механизмов, наряду с подходами к проектированию трансмиссионных агрегатов для транспортных средств.

Результаты исследования и их обсуждение

Особенностью трансмиссии лесных гусеничных машин является наличие блокируемого межосевого дифференциала (рис. 3). При блокировке дифференциала возникают условия для появления циркуляции мощности между ведущими мостами, что может приводить к разрушению деталей агрегатов трансмиссии (например, зубьев главной передачи), а также ухудшать управляемость и устойчивость машины. Поэтому режим блокировки нужно применять кратковременно, а разработчик техники вынужден выбирать между использованием симметричного или несимметричного дифференциала.

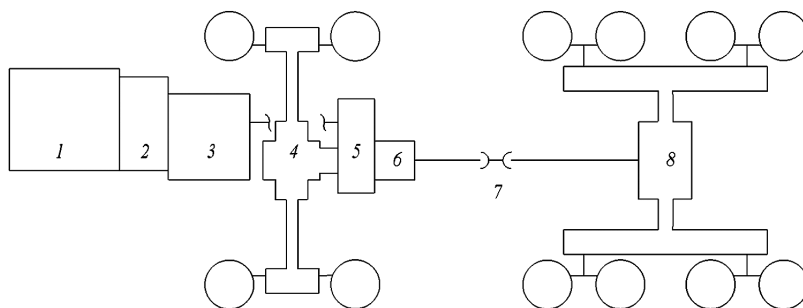


Рис. 3. Состав трансмиссии лесной колесной машины на примере трактора «FMG LOKOMO-810» [4]: 1 – двигатель PERKINS 1004-4T; 2 – гидротрансформатор CLARK; 3 – коробка передач CLARK 18000; 4 – передний ведущий мост; 5 – редукторная часть раздаточной коробки; 6 – межосевой симметричный дифференциал; 7 – карданная передача; 8 – задняя ведущая тележка

Fig. 3. The composition of the transmission of a forestry wheeled vehicle using the example of the FMG LOKOMO-810 tractor [4]: 1 – PERKINS 1004-4T engine; 2 – CLARK torque converter; 3 – CLARK 18000 gearbox; 4 – front drive axle; 5 – transfer case gearbox; 6 – center symmetric differential; 7 – cardan gear; 8 – rear drive bogie

Межосевое передаточное отношение в дифференциале подбирают приблизительно равным соотношению нормальных реакций под колесами мостов на наиболее характерных режимах движения [1, 17]. Согласно статистике [2, 4], около 40 % рабочего времени трелевочного трактора занимает холостой ход (самопередвижение). Таким образом, в это время выгодно использовать симметричный дифференциал. В остальное время задний мост нагружен больше переднего. Для полностью заполненного сортиментовоза подобная тенденция тоже будет выражена. Передний мост разгружается и при движении на подъем.

Таким образом, блокировка дифференциала решает задачу преодоления экстремальных дорожных сопротивлений, но актуальным остается вопрос повышения энергоэффективности шасси при систематической эксплуатации с различной нагрузкой. Возможным здесь представляется применение управляемого межосевого механизма распределения мощности на основе конического или цилиндрического дифференциала [1, 17].

На рис. 4 показана упрощенная кинематическая схема управляемого межосевого механизма распределения мощности, в котором симметричный дифференциал дополнен понижающим редуктором, установленным в ветви привода заднего моста.

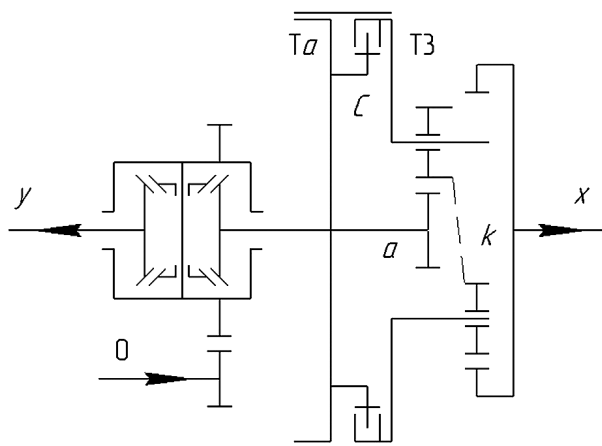


Рис. 4. Вариант упрощенной кинематической схемы управляемого межосевого механизма распределения мощности на основе симметричного дифференциала

Fig. 4. A variant of a simplified kinematic diagram of a controlled center-to-center power distribution mechanism based on a symmetric differential

На рис. 4 использованы следующие обозначения: 0 и a – ведущее и промежуточное звенья; x и y – ведомые (выходные) звенья привода заднего и переднего мостов; Ta , $T3$, C – элементы управления; k – внутреннее передаточное отношение (кинематический параметр) планетарного ряда.

Принцип работы предлагаемого механизма состоит в следующем.

Первый режим работы. При равномерном распределении нагрузок между передним и задним мостами тормоза Ta и $T3$ отключены, блокирующий фрикцион C полностью включен. Блокирующий фрикцион следует выполнить по схеме «постоянно включенного»; тормоза, как характерно и для коробок передач, проектируются «постоянно выключенными» [14, 15, 19]. Привод элементов управления может быть механическим, электромеханическим или электрогидравлическим [10, 11, 18, 23].

Крутящий момент с полуоси a дифференциала без изменения передается на выходное звено x . Силовые соотношения в симметричном дифференциале описываются зависимостью:

$$M_y = M_x = M_0/2.$$

Кинематика симметричного дифференциала подчиняется зависимости:

$$\begin{cases} \omega_y + \omega_a = 2\omega_0; \\ \omega_a = \omega_x. \end{cases}$$

Силовые и кинематические соотношения взяты из традиционной теории планетарных передач [1, 14, 15].

Второй режим работы. При неравномерном распределении нормальных реакций между мостами (полная загрузка, движение на подъеме) элементы управления Ta и C отключены, полностью включен тормоз $T3$.

Для выполнения силового анализа запишем систему уравнений, связывающих крутящие моменты на основных звеньях механизма:

$$\begin{cases} M_y = M_a^{(D)}; \\ M_0 = 2M_y; \\ M_a^{(D)} + M_a^{(R)} = 0; \\ M_3 + M_{T3} = 0; \\ M_x = -kM_a^{(R)}, \end{cases}$$

где R – дополнительный редуктор; k – кинематический параметр планетарного механизма дополнительного редуктора.

Первые 2 уравнения в системе описывают распределение крутящих моментов в дифференциале, причем $M_a^{(D)}$ – крутящий момент, который получает звено a в дифференциале.

Третье уравнение характеризует равновесие звена a , здесь $M_a^{(R)}$ – крутящий момент, который приобретает звено a в дополнительном редукторе.

Четвертое уравнение соответствует равновесию звена 3, остановленного тормозом $T3$, M_{T3} – крутящий момент на этом тормозе.

Межосевое передаточное отношение определяется зависимостью:

$$u^* = M_y/M_x = 1/k.$$

Таким образом, задавая кинематический параметр, можно определять межосевое передаточное отношение. Например, при $k = 2$ механизм распределяет крутящие моменты как традиционный для грузовых автомобилей несимметричный дифференциал, в соотношении 1:2. При этом дифференциальная связь между мостами сохраняется, и циркуляция мощности исключена.

Для такого случая получим: $k = 2$; $M_y = M_0/2$; $M_3 = -M_0/2$; $M_x = 2M_y = M_0$.

Из теории планетарных передач известно ограничение, накладываемое на кинематический параметр в силовой передаче:

$$1,6 \leq |k| \leq 4,0.$$

Планетарный ряд с меньшим кинематическим параметром не будет долговечен по причине недостаточности места для размещения подшипников сателлитов. Ряд с большим кинематическим параметром имеет чрезмерную массу и габариты и плохо komponуется.

Следовательно, для межосевого передаточного отношения можно записать:

$$0,625 \leq |u^*| \leq 0,250.$$

Таким образом, крутящий момент на заднем ведущем мосту (тележке) может быть в 4 раза больше, чем подводимый к переднему мосту, если это предусмотрено конструкцией редуктора. Опционально следует заранее продумать линейку редукторов, различающихся передаточным отношением.

Кинематика механизма описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} \omega_y + \omega_a = 2\omega_0; \\ \omega_a = k\omega_x + (1-k)\omega_3; \\ \omega_3 = 0. \end{cases}$$

Или после решения: $\omega_y + k\omega_x = 2\omega_0$.

Третий режим работы – это движение с отключенным задним мостом. Режим востребован на дорогах общего пользования при перегоне машины своим ходом. В этом случае элементы управления ТЗ и С отключены, тормоз Та полностью включен.

Силовые соотношения:

$$\begin{cases} M_y = M_a; \\ M_0 = 2M_y; \\ M_a + M_{Ta} = 0. \end{cases}$$

Откуда $M_y = M_0/2$; $M_{Ta} = -M_0/2$.

Кинематические соотношения:

$$\begin{cases} \omega_y + \omega_a = 2\omega_0; \\ \omega_a = 0. \end{cases}$$

Откуда $\omega_y = 2\omega_0$ – дифференциал работает как ускоряющая передача.

Переключения режимов работы предпочтительно производить на неподвижной машине, поэтому использование дисковых элементов управления не является обязательным.

Аналогичный эффект можно получить, применяя вальный дополнительный редуктор, реализующий 2 передачи – прямую и с передаточным отношением u^* .

Представленное исследование призвано привлечь внимание отечественных разработчиков к перспективам развития управляемых межосевых механизмов распределения мощности. Теоретическая база указывает, что проблема нуждается в конструкторской проработке и опытном внедрении.

Преимущества рассматриваемой схемы:

упрощение конструкции по сравнению с предлагаемыми ранее вариантами [16];

высокая универсальность в применении на лесных, транспортных и транспортно-технологических машинах благодаря использованию симметричного дифференциала в качестве основы;

возможность выбора диапазона передаточных отношений.

Ожидаемые недостатки:

уменьшение эффективности при включении редуктора (приблизительно на 1,0...1,5 %);

увеличение массы и, что важнее для трансмиссии трактора, момента инерции;

повышение крутящего момента в ветви трансмиссии за дополнительным редуктором при его включении.

Последнее наиболее важно – при использовании предлагаемой концепции необходимо, как минимум, провести поверочные расчеты узлов и агрегатов, подвергающихся действию увеличенного момента. Чтобы не нагружать карданную передачу, дополнительный редуктор целесообразно разместить перед главной передачей.

Материально-технической базой для производства подобных механизмов и возможностями по обеспечению проектирования обладают предприятия, входящие в группу «Кировский завод» (АО «Петербургский тракторный завод», АО «Универсалмаш»), сохранившие, в частности, опыт разработки и серийного выпуска военных гусеничных машин (основной танк Т-80 и специальные машины на его шасси; плавающий танк ПТ-76).

Применение управляемого межосевого дифференциала может повысить эксплуатационные показатели лесных гусеничных машин за счет увеличения полноты использования тягово-сцепных свойств шасси. Подобный механизм будет полезен в трансмиссии 4-гусеничной машины (в частности, в случае установки треугольных гусеничных модулей вместо ведущих колес изначально колесного трактора).

Выводы

1. Данные об условиях эксплуатации лесных машин позволяют сделать вывод о необходимости рассмотрения вопроса применения в их трансмиссиях управляемых межосевых дифференциалов.

2. Расчеты, приведенные в статье, служат иллюстрацией потенциала таких механизмов распределения мощности и указывают на целесообразность дальнейших теоретических и практических работ в этом направлении.

3. При конструировании подобных механизмов можно применить подходы, апробированные в теории движения колесных и гусеничных машин и методы проектирования узлов трансмиссий транспортных машин.

4. С целью максимальной локализации производства управляемых межосевых дифференциалов представляется возможным воспользоваться технологиями, используемыми на предприятиях, имеющих опыт производства транспортных гусеничных машин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Андреев А.В., Ванцевич В.В., Лефаров А.Х. Дифференциалы колесных машин. М.: Машиностроение, 1987. 176 с.
Andreev A.V., Vantsevich V.V., Lefarov A.Kh. *Differentials of Wheeled Vehicles*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1987. 176 p. (In Russ.).
2. Анисимов Г.М. Условия эксплуатации и нагруженность трансмиссии трелевочного транспорта. М.: Лесн. пром-сть, 1975. 166 с.
Anisimov G.M. *Operating Conditions and Transmission and Load Capacity of the Skidding Vehicle Transmission*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1975. 166 p. (In Russ.).
3. Кочнев А.М. Теория движения колесных трелевочных систем. СПб.: Политехн. ун-т, 2007. 610 с.
Kochnev A.M. *Theory of Movement of Wheeled Skidding Systems*. St. Petersburg, Polytechnic University Publ., 2007. 610 p. (In Russ.).
4. Кочнев А.М. Рабочие режимы отечественных колесных трелевочных тракторов: моногр. СПб.: Политехн. ун-та, 2008. 519 с.
Kochnev A.M. *Operating Modes of Domestic Wheeled Skidders*: Monograph. St. Petersburg, Polytechnic University Publ., 2008. 519 p. (In Russ.).
5. Кочнев А.М., Довжик В.Л., Маснюк С.В., Носенко С.В. Анализ современных конструктивных решений трелевочных тракторов // Обоснование технических решений и параметров лесосечных машин: межвуз. сб. тр. СПб., 2007. С. 105–118.
Kochnev A.M., Dovzhik V.L., Masnyuk S.V., Nosenko S.V. Analysis of Modern Design Solutions for Skidders. *Justification of Technical Solutions and Parameters of Logging Machines*: Interuniversity Collection of Papers. St. Petersburg, 2007, pp. 105–118. (In Russ.).
6. Лесные машины / под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Г.М. Анисимова. М.: Лесн. пром-сть, 1989. 512 с.
Forestry Machines. Under the gen. ed. of doc. of tech. sci., prof. G.M. Anisimov. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1989. 512 p. (In Russ.).
7. Лесотранспортные машины / под ред. Г.М. Анисимова. СПб.: Лань, 2009. 448 с.
Forestry Transport Machines. Under the ed. of G.M. Anisimov. St. Petersburg, Lan' Publ., 2009. 448 p. (In Russ.).
8. Носов Н.А., Галышев В.Д., Волков Ю.П., Харченко А.П. Расчет и конструирование гусеничных машин. Л.: Машиностроение, 1972. 560 с.
Nosov N.A., Galyshev V.D., Volkov Yu.P., Kharchenko A.P. *Calculation and Construction of Tracked Vehicles*. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1972. 560 p. (In Russ.).
9. Патыкин В.И., Григорьев И.В., Иванов В.А., Редькин А.К., Пошарников Ф.В., Шегельман И.Р., Ширнин Ю.А., Кацадзе В.А., Валижонков В.Д., Бит Ю.А., Матросов А.В. Технология и оборудование лесопромышленных производств. СПб.: СПбЛТА, 2009. 362 с.
Patyakin V.I., Grigoriev I.V., Ivanov V.A., Red'kin A.K., Posharnnikov F.V., Shegel'man I.R., Shirnin Yu.A., Katsadze V.A., Valizhonkov V.D., Bit Yu.A., Matrosov A.V. *Technology and Equipment for Forestry Production*. St. Petersburg, St. Petersburg Forest Technical Academy, 2009. 362 p. (In Russ.).
10. Поршневу Г.П., Добрецов Р.Ю., Красильников А.А. Трансмиссия с электромеханической передачей для тракторов и дорожно-строительных машин // Изв. МГТУ МАМИ. 2020. Т. 14, № 2. С. 33–41.
Porshnev G.P., Dobretsov R.Yu., Krasilnikov A.A. Electromechanical Transmission for Tractors and Road-Building Machinery. *Izvestia MG TU MAMI*, 2020, vol. 14, no. 2, pp. 33–41. (In Russ.). <https://doi.org/10.31992/2074-0530-2020-44-2-33-41>
11. Проектирование и расчет специальных лесных машин / под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. М.И. Зайчика. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 208 с.

Design and Calculation of Special Forestry Machines. Under the gen. ed. of doc. of tech. sci., prof. M.I. Zajchik. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1976. 208 p. (In Russ.).

12. TOO «EVS Group». Режим доступа: <https://kazagrotech.kz> (дата обращения: 27.06.25).

LLP "EVS Group". (In Russ.).

13. Шегельман И.Р., Скрыпник В.И., Галактионов О.Н. Техническое оснащение современных лесозаготовок. СПб.: Профи-Информ, 2005. 344 с.

Shegel'man I.R., Skrypnik V.I., Galaktionov O.N. *Technical Equipment for Modern Logging*. St. Petersburg, Profi-Inform Publ., 2005. 344 p. (In Russ.).

14. Шеломов В.Б. Проектирование наземных транспортно-технологических машин. Планетарные коробки передач. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. 31 с.

Shelomov V.B. *Design of Ground Transport and Technological Machines. Planetary Gearboxes*. St. Petersburg, POLITEKH-PRESS, 2019. 31 p. (In Russ.).

15. Харитонов С.А. Автоматические коробки передач. М.: Аристель, АСТ, 2003. 335 с.

Kharitonov S.A. *Automatic Gearboxes*. Moscow, Aristel' Publ., AST Publ., 2003. 335 p. (In Russ.).

16. Чайкин А.П., Добрецов Р.Ю., Войнаш С.А., Соколова В.А., Загидуллин Р.Р., Тепноев А.В., Иванов А.А. Управляемый межосевой механизм распределения мощности // Грузовик. 2023. № 5. С. 3–7.

Chaikin A.P., Dobretsov R.Yu., Voinash S.A., Sokolova V.A., Zagidullin R.R., Tepnoev A.V., Ivanov A.A. Controlled Interaxle Power Distribution Mechanism. *Gruzovik* = Truck, 2023, no. 5, pp. 3–7. (In Russ.). <https://doi.org/10.36652/1684-1298-2023-5-3-7>

17. Bosch. Автомобильный справочник: пер. с англ. 2-е изд., перераб. и доп. М.: За рулем, 2004. 992 с.

Bosch: Automobile Reference Book. Trans. from Eng. 2nd ed., revised and enlarged. Moscow, Za Rulem Publ., 2004. 992 p. (In Russ.).

18. Dobretsov R.Yu., Demidov N.N., Kaninskii A.O. Friction Steering Devices as an Object of Impulse Control. *Advances in Mechanical Engineering*. Springer Cham, 2020, pp. 49–62. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39500-1_6

19. Fischer R., Küçükay F., Jürgens G., Najork R., Pollak B. *The Automotive Transmission Book*. Springer Cham, 2015. 355 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-05263-2>

20. Merhof W., Hackbarth E.-M. *Fahrmechanik der Kettenfahrzeuge*. Neubiberg, Universität der Bundeswehr, 2015. 530 p. (In Germ.).

21. Jazar R.N. *Vehicle Dynamics: Theory and Application*: 2nd ed. New York, Springer NY, 2014. 1066 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8544-5>

22. Ogorkiewicz R.M. *Technology of Tanks*. Sentinel House 163 Brighton Road Coulsdon Surrey: Jane's Information Group, 1991. 424 p.

23. Ushiroda Y., Sawase K., Takahashi N., Suzuki K., Manabe K. Development of Super AYC. *Technical Review*, 2003, no. 15, pp. 73–76.

24. Wong J.Y. *Theory of Ground Vehicles*: 3rd ed. John Wiley & Sons Inc., 2001. 528 p.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest

Вклад авторов: Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article