

Управляемый межосевой механизм распределения мощности трансмиссии лесных колесно-гусеничных машин

Р.Ю. Добрецов^{1a}, А.С. Дмитриев^{2b}, К.В. Черемисин^{1c}, С.И. Ревяко^{3d}, И.В. Григорьев^{4e}

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, Россия

² АО «Гипростроймост – Санкт-Петербург», ул. Яблочкова, 7, Санкт-Петербург, Россия

³ Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. Кортунова, ул. Пушкинская, 111, Новочеркасск, Россия

⁴ Арктический государственный агротехнологический университет, Сергеляхское шоссе, 3, Якутск, Республика Саха (Якутия), Россия

^a dr-idpo@yandex.ru, ^b dmitriev.nauka@mail.ru, ^c tcheremisin.kirill@yandex.ru,

^d revyako77@mail.ru, ^e silver73@inbox.ru

^a <https://orcid.org/0000-0002-3827-0220>, ^b <https://orcid.org/0000-0003-3095-6014>, ^c <https://orcid.org/0000-0002-5234-7220>,

^d <https://orcid.org/0000-0001-7362-5042>, ^e <https://orcid.org/0000-0002-5574-1725>

Статья поступила 06.02.2023, принята 14.02.2023

В настоящее время в Российской Федерации преобладает машинная заготовка древесины, которая практически полностью выполняется при помощи импортных лесных машин, в большинстве случаев на колесной базе. Развязанная в 2022 г. санкционная война западных стран против РФ, особенно 5-й пакет введенных Европейским союзом санкций, привела к практически полному уходу с российского рынка иностранных компаний — производителей лесных машин. С началом санкционной войны ребром встал вопрос о необходимости срочного возрождения отечественного лесного машиностроения. Природно-производственные условия лесозаготовок и лесного хозяйства в РФ 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. Варианты машин различного назначения на полугусеничном ходу (гибридном колесно-гусеничном ходу) известны достаточно давно. Их преимуществом, по сравнению с чисто колесным вариантом, является увеличение проходимости и силы тяги, а к общим недостаткам можно отнести худшую маневренность и меньшую скорость. В статье рассмотрены перспективы применения в лесопромышленном комплексе скиддеров и форвардеров на колесно-гусеничном ходу. Исходя из компоновочных особенностей таких машин, предложена концепция построения трансмиссии и приведена структура для варианта одноосеционного шасси. Рассмотрены принципы определения передаточных отношений и построения кинематической схемы, особенности выполнения кинематического и силового анализа межосевого управляемого механизма мощности. Приведены результаты кинематического и силового анализа для рассматриваемого примера механизма. Сформулированы перспективы использования механизмов данного семейства.

Ключевые слова: лесозаготовки; трелевка; управляемость; устойчивость; проходимость; транспортные машины; планетарный механизм.

Controlled interaxle power distribution mechanism in the transmission of forest wheeled and tracked vehicles

R.Y. Dobretsov^{1a}, A.S. Dmitriev^{2b}, K.V. Cheremisin^{1c}, S.I. Revyako^{3d}, I.V. Grigorjev^{4e}

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University; 29, Politechnicheskaya St., St. Petersburg, Russia

² JSC "Giprostroykost – St. Petersburg"; 7, Yablochkov St., St. Petersburg, Russia

³ Novochoerkassk Engineering and Reclamation Institute named after A. Kortunov; 111, Pushkinskaya St., Novochoerkassk, Russia

⁴ Arctic State Agrotechnological University; 3, Sergelyakhskoye Shosse, Yakutsk, Republic of Sakha, Russia

^a dr-idpo@yandex.ru, ^b dmitriev.nauka@mail.ru, ^c tcheremisin.kirill@yandex.ru,

^d revyako77@mail.ru, ^e silver73@inbox.ru

^a <https://orcid.org/0000-0002-3827-0220>, ^b <https://orcid.org/0000-0003-3095-6014>, ^c <https://orcid.org/0000-0002-5234-7220>,

^d <https://orcid.org/0000-0001-7362-5042>, ^e <https://orcid.org/0000-0002-5574-1725>

Received 06.02.2023, accepted 14.02.2023

Currently, machine harvesting of wood prevails in the Russian Federation, which is almost completely carried out with the help of imported forest machines, in most cases on a wheelbase. The sanctions war unleashed in 2022 by Western countries against the Russian Federation, especially the fifth package of sanctions imposed by the European Union, led to the almost complete withdrawal of foreign manufacturers of forest machinery from the Russian market. With the beginning of the sanctions war, the question of the need for an

urgent revival of domestic forestry engineering arose. The natural production conditions of logging and forestry in the Russian Federation vary very widely, determining the need for the development and production of a wide range of machines in terms of power characteristics, weight and size parameters, patency, ability to work on rough terrain, etc. Variants of machines for various purposes on a half-track (hybrid wheeled-tracked) have been known for a long time. Their advantage, compared with the purely wheeled version, is an increase in cross-country ability and traction, and the general disadvantages include worse maneuverability and lower speed. The article discusses the prospects for the use of wheel-tracked skidders and forwarders in the timber industry. Based on the layout features of such machines, the concept of building a transmission is proposed and the structure for a single-section chassis variant is given. The principles of determining the gear ratios and the construction of a kinematic scheme, the features of performing kinematic and power analysis of the interaxis controlled mechanism of power are considered, the results of kinematic and power analysis for the considered example of the mechanism are presented. The prospects of using the mechanisms of this family are formulated.

Keywords: logging; skidding; controllability; stability; patency; transport vehicles; planetary mechanism.

Введение. Для скиддеров (тракторов с пачковым захватом) и форвардеров, как и для грузовых автомобилей, характерна большая разница значений нормальных реакций под колесами ведущих мостов в снаряженном состоянии и при полной загрузке машины. Помимо массы груза, на распределение нормальных реакций по осям влияет схема внешних сил, приложенных к шасси, и тенденция к перегрузке заднего моста усиливается.

Таким образом, приблизительно 40 % рабочего времени передний и задний мосты нагружены приблизительно одинаково (обычно нагрузка на передний мост несколько выше из-за особенностей компоновки), а в остальное время нагрузка на задний мост приблизительно в 2 раза выше, чем на передний. Следовательно, задний мост (мосты) может реализовать вдвое большую силу тяги по сцеплению с грунтом, чем передний мост.

В трансмиссии колесных машин, работающих в таких условиях эксплуатации, обычно предусматривается несимметричный блокируемый дифференциал, входящий в состав раздаточной коробки [1–3]. Для гусеничной машины перегруз задней части опорной поверхности и разгрузка передних траков — негативный фактор, но введением несимметричного дифференциала это не компенсировать.

Колесно-гусеничные машины активно исследовались в СССР, Германии, США и других странах в начале XX в., достаточно широко использовались в период Второй мировой войны. В США колесно-гусеничные грузовики и бронетранспортеры применялись до середины XX в., а в настоящее время на вооружении ряда европейских стран состоят колесно-гусеничные инженерные машины [4].

«Слабым местом» колесно-гусеничного шасси является вопрос управления поворотом: в тяжелых дорожных условиях изменения угла поворота управляемых колес недостаточно, чтобы выйти на заданную траекторию. Этот недостаток в настоящее время можно преодолеть, синхронизировав кинематическое управление поворотом — для колес и силовое (или кинематическое, что реализовать несколько дороже) — для гусениц.

Специфика эксплуатационных условий скиддеров и форвардеров позволяет использовать принцип колесно-гусеничного шасси, а современные технологии управления гусеничным шасси [5] — преодолеть основной недостаток колесно-гусеничной машины.

В режиме холостого хода (или самопередвижения) колесно-гусеничное шасси выгоднее использовать при наличии тягового режима и колес, и гусениц. Для повышения экономичности представляется целесообраз-

ным при малом сопротивлении движению отключать привод на передний мост. Для гусеничного движителя выгоднее сохранить ведущий режим.

При паспортной загрузке (и перегрузке) основная часть сцепного веса приходится на гусеничный движитель [6–8]. Таковой обладает лучшими тягово-сцепными характеристиками по сравнению с колесным, и вопрос о целесообразности его использования трудно обосновать [9–11].

Таким образом, имеются основания для рассмотрения возможности и целесообразности использования в лесном хозяйстве колесно-гусеничных шасси и применения управляемого межосевого механизма распределения мощности (МРМ). В общем случае необходимо обеспечить реализацию хотя бы двух вариантов распределения момента между ведущими мостами и сохранение дифференциальной связи между мостами при обычной работе МРМ. Дополнительными возможностями являются управление МРМ при движении шасси, возможность подключения или отключения ведущего моста, плавное изменение передаточного отношения механизма, блокировка. При этом желательно стремиться к минимальному числу используемых элементов управления.

МРМ является планетарным механизмом, в котором кинематические и силовые соотношения подчиняются известным законам [12–14]. Однако наличие «дополнительной» степени свободы при нормальной работе дифференциального МРМ приводит к кинематической неопределенности и не позволяет использовать классический подход к синтезу и анализу планетарных передач [12–14] без некоторой его модификации.

Цель работы — повышение эксплуатационных свойств (проходимости, подвижности, тягово-динамических возможностей) транспортных машин применением управляемого межосевого МРМ.

Решаемые задачи: формирование принципов получения вариантов кинематической схемы управляемого межосевого МРМ и получение конкретной схемы; адаптация методики кинематического и силового анализа к случаю межосевого МРМ и проведение расчетов; обозначение перспектив применения МРМ данного семейства.

Материалы и методы исследования — методы теоретической механики, механики грунтов, теории гусеничных и колесных машин.

Результаты. На рис. 1 показана упрощенная структура трансмиссии однокорпусной колесно-гусеничной машины. В этом случае колеса являются ведущими и

управляемыми (выбран кинематический принцип управления поворотом).

Альтернатива — двухсекционное шасси, передняя секция которого имеет колесный движитель и может быть заменена одноосным тягачом [15], а задняя секция оснащена гусеничным движителем (близкий аналог — заднее звено в составе гусеничных транспортеров серии ДТ [16]). В случае двухсекционного шасси можно отказаться от принципа управления поворотом за счет разворота секций машины в плане и реализовать синхронную работу секций при силовом управлении поворотом. Такое решение существенно упростит конструкцию сцепного устройства двухсекционной машины, но потребует развития исследований в направлении контролируемого буксования дисковых пакетов [4; 18].

При реализации трансмиссии в соответствии со структурой, показанной на рис. 1, будет необходимо решить вопрос о согласовании кинематического и силового управления поворотом. В рамках данной статьи рассматривается задача управления распределением мощности между колесным и гусеничным движителями.

Традиционно, подход к построению кинематических схем планетарных механизмов опирается на принцип реализации заданных передаточных отношений между ведущим и ведомым звеньями. Наличие двух ведомых звеньев и «лишней» степени свободы при нормальной работе межосевых и межколесных механизмов распределения мощности требует изменений в сложившихся алгоритмах синтеза планетарных механизмов.

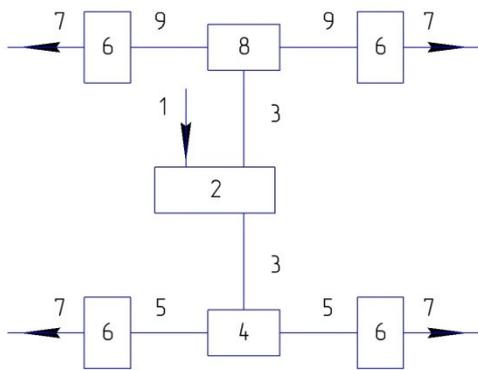


Рис. 1. Структура дистрибутивной части трансмиссии колесно-гусеничной машины: 1 — подача мощности от трансформирующего механизма или тягового электродвигателя; 2 — распределительный механизм; 3 — карданные передачи; 4 — главная передача и управляемый механизм распределения мощности заднего моста; 5 — полуоси; 6 — бортовой или колесный редуктор; 7 — отвод мощности к ведущим колесам; 8 — главная передача и механизм распределения мощности переднего моста; 9 — полуоси с ШРУС

Сложившийся подход к синтезу кинематических схем планетарных механизмов [12–14] подразумевает принцип обеспечения заданных передаточных отношений между ведущим и ведомым звеньями. Но у межосевого МРМ два ведомых звена. Кроме того, при нормальной работе планетарной коробки передач реализу-

ется одна степень свободы, а при работе МРМ — две, так же, как и в случае межколесного механизма распределения мощности [19–22].

Предлагается взять за основу неуправляемый МРМ, позволяющий реализовать один из нужных режимов работы (например, несимметричный дифференциал с кинематическим параметром (-2)), распределение моментов 1:2) и модифицировать его, исходя из принципа обеспечения возможности второго режима работы (например, распределение моментов из расчета 1:1). Для этого придется использовать соединительное звено, дополнительный планетарный ряд и, минимум, два элемента управления. Механизм будет иметь три степени свободы, при использовании элементов управления число степеней свободы снижается до двух. Дополнительные возможности открываются при использовании торможения соединительного звена — число степеней свободы МРМ снижается до единицы, это эквивалентно отключению одного из мостов.

Дополнительный ряд можно подключать в любую из выходных ветвей МРМ, но с целью обеспечения опции отключения переднего моста интересно рассмотреть вариант с модификацией «передней» ветви. Кинематическая схема механизма показана на рис. 2.

Разработанный механизм имеет три степени свободы, состоит из пяти основных звеньев и использует три элемента управления (тормоза и блокирующий фрикцион).

Несимметричный дифференциал, являющийся основой МРМ, характеризуется кинематическим параметром $k_1 = (-2)$ и передаточными отношениями: $u_{0X} = \omega_0/\omega_X = -M_X/M_0 = 2/3$ и $u_{0A} = \omega_0/\omega_A = -M_A/M_0 = 1/3$ (рис. 2).

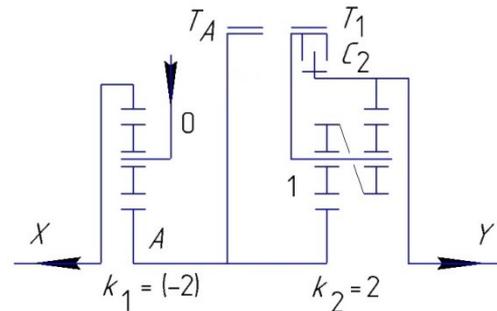


Рис. 2. Кинематическая схема управляемого межосевого МРМ: 0, X и Y — ведущее и ведомые звенья; A и 1 — соединительное и тормозное звенья; $T_{1,A}$ и C_2 — элементы управления

Передаточное отношение дополнительного ряда, встраиваемого в ветвь, связанную с передним ведущим мостом, составит: $u_{AY} = \omega_A/\omega_Y = -M_Y/M_A = u_{0X}/u_{0A} = 2$. Планетарные ряды, которые позволяют обеспечить такое передаточное отношение, характеризуются кинематическими параметрами, равными (-1) и $(+2)$. На рис. 2 показан вариант включения в схему МРМ ряда с $k_2 = 2$.

Основные режимы работы механизма рассмотрены в таблице.

Таблица. Основные режимы работы управляемого межосевого механизма распределения мощности

Наименование	Характеристика	Используемые элементы управления
Нейтраль	Все элементы управления отключены, передача мощности на ведущие мосты невозможна	–
Несимметричный дифференциал	Несимметричное распределение моментов	Используется (полностью включен) блокирующий фрикцион C_2
Симметричный дифференциал	Симметричное распределение моментов	Используется (полностью включен) тормоз T_1
Отключение переднего (колесного) моста	–	Используется (полностью включен) тормоз T_A

Дополнительно, используя необходимые элементы и технологии управления, можно обеспечить:

– блокировку МРМ (потребуется установить, например, блокирующий фрикцион C_0 для ряда с кинематическим параметром k_1 ; блокировка производится одновременным включением C_1 и C_0);

– плавное измерение передаточного отношения между выходными звеньями (можно реализовать, используя принцип управления буксованием дисковых фрикционных элементов T_1 и C_2 — подробнее данный принцип раскрыт в работах [11; 18]).

Запрещенным режимом работы при включенном двигателе является для такого механизма одновременное включение элементов управления T_1 и C_2 . При этом ветвь звена Y будет заблокирована, и связанный с ней мост не сможет вращаться, а в ветвь звена X пойдет поток мощности от двигателя, что при недостатке сцепного веса вызовет пробуксовку колес переднего моста. Если сцепной вес окажется достаточным, машина сможет двигаться при катастрофическом износе шин заднего моста.

Кинематика механизма описывается традиционными уравнениями, полученными из формулы Виллиса [12–14]:

$$\begin{cases} \omega_A = k_1 \omega_X + (1 - k_1) \omega_0 \\ \omega_A = k_2 \omega_Y + (1 - k_2) \omega_1 \end{cases}$$

Принимаем $\omega_0 = 1$.

Для снятия кинематической неопределенности принимаем, что машина движется без буксования: $\omega_X = \omega_Y$.

В случае полного включения тормоза T_1 реализуется условие: $\omega_1 = 0$.

$$\text{Тогда: } \omega_X = \omega_Y = \frac{(1 - k_1)}{(k_2 - k_1)} \omega_0 = 3/4.$$

При полном включении T_1 МРМ кинематически выполняет функцию симметричного дифференциала. Уравновешивающий момент реализуется на тормозе T_1 .

При использовании блокирующего фрикциона C_2 обеспечивается условие: $\omega_Y = \omega_A = \omega_1$. Механизм выполняет функции несимметричного дифференциала.

Уравнения равновесия моментов дают системы, иллюстрирующие работу планетарных рядов:

$$\begin{cases} M_0 = 1 \\ M_X = -k_1 M'_A \\ M_0 = -(1 - k_1) M'_A \end{cases} \quad \text{и} \quad \begin{cases} M'_A + M''_A = 0 \\ M_1 = -(1 - k_2) M''_A \\ M_Y = -k_2 M''_A \end{cases}$$

Включение тормоза T_1 соответствует условию:

$$M_1 + M_{T_1} = 0.$$

Момент реакции, действующий на картер при включении T_1 , будет уравновешиваться моментом M_{T_1} .

Тогда:

$$M'_A = -M_0 / (1 - k_1) = -1/3;$$

$$M''_A = -M'_A = M_0 / (1 - k_1) = 1/3;$$

$$M_1 = -(1 - k_2) M_0 / (1 - k_1) = 1/3;$$

$$M_{T_1} = -M_1 = -1/3$$

$$M_X = -k_1 (-M_0 / (1 - k_1)) = -2/3;$$

$$M_Y = -k_2 M''_A = -2/3.$$

Механизм находится в равновесии, распределение крутящих моментов на выходных звеньях является симметричным.

При использовании блокирующего фрикциона C_2 распределение моментов соответствует случаю несимметричного дифференциала:

$$M_X = -k_1 (-M_0 / (1 - k_1)) = -2/3;$$

$$M_Y = M_A = -M_0 / (1 - k_1) = -1/3.$$

При необходимости определить значения моментов сопротивления и потребных сил тяги на ведущих колесах используются традиционные методы теории колесных и гусеничных машин [23–25].

При проектировании МРМ представляется возможным использовать методы выбора чисел зубьев, применяемые при разработке планетарных коробок передач [12; 26]. При изготовлении деталей и узлов можно рекомендовать технологии и материалы, апробированные при производстве планетарных передач колесных и гусеничных машин [12; 13; 26]. Вопросы управления буксованием для дисковых фрикционных элементов управления излагаются, например, в работах [12; 21].

Выводы

1. Применение управляемого межосевого механизма распределения мощности позволит обеспечить рациональное распределение нагрузок по ведущим мостам специализированной лесной машины.

2. При разработке трансмиссии могут быть использованы серийно выпускаемые агрегаты, в частности, раздаточные коробки с несимметричным дифференциалом, используемые в трансмиссии автомобилей семейства КамАЗ.

3. При проектировании и производстве новых управляемых механизмов распределения мощности целесообразно использовать методы, материалы и технологии, апробированные при производстве планетарных коробок передач для гусеничных и колесных машин.

Литература

- Хитров Е.Г., Хахина А.М., Дмитриева М.Н., Песков В.Б., Григорьева О.И. Уточненная модель для оценки тягово-сцепных свойств колесного движителя лесной машины // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. 2016. № 217. С. 108-119.
- Григорьева О.И. Эффективность транспортно-технологических систем для лесного хозяйства // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Междунар. науч.-технической конф. (19 апр. 2018 г.). Тюмень, 2018. С. 79-83.
- Григорьева О.И. Новая машина для проведения рубок ухода за лесом // Актуальные направления науч. исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 2-2 (13-2). С. 116-119.
- Заяц Ю.А., Будорагин Ю.А., Медведев Е.В. О типаже военной автомобильной техники вермахта // Науч. резерв. 2020. № 2 (10). С. 25-31.
- Демидов Н.Н., Добрецов Р.Ю., Медведев М.С. Фрикционные механизмы поворота в двухпоточных трансмиссиях транспортных гусеничных машин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2019. № 1. С. 60-69.
- Григорьев И.В., Григорьева О.И., Вернер Н.Н. Системы машин для создания и эксплуатации лесных плантаций // Актуальные направления науч. исследований XXI века: теория и практика. 2017. Т. 5. № 5 (31). С. 438-443.
- Григорьева О.И., Давтян А.Б., Гринько О.И. Перспективы импортозамещения в производстве лесохозяйственных и лесопожарных машин в России // Лесоземледелие и комплексное использование древесины: сб. ст. Всерос. науч.-практической конф. (10 марта 2020 г.). Красноярск, 2020. С. 66-69.
- Чемшикова Ю.М., Давтян А.Б., Григорьева О.И. Транспортно-технологические системы для лесоразведения на базе гусеничных вездеходов // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Междунар. науч.-технической конф. (22 окт. 2020 г.). Тюмень, 2020. С. 400-403.
- Бурмистрова О.Н., Просужих А.А., Хитров Е.Г., Куницкая О.А., Лунева Е.Н. Теоретические исследования производительности форвардеров при ограничениях воздействия на почвогрунты // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2021. № 3 (381). С. 101-116.
- Бурмистрова О.Н., Просужих А.А., Хитров Е.Г., Рудов С.Е., Куницкая О.А., Калита О.Н. Влияние переменных коэффициентов сопротивления движению и сцепления на производительность форвардера // Деревообрабатывающая пром-сть. 2021. № 1. С. 3-16.
- Тетеревлева Е.В., Гринько О.И., Григорьева О.И. Транспортно-технологические машины для тушения лесных пожаров на базе колесных вездеходов // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Междунар. науч.-технической конф. (22 окт. 2020 г.). Тюмень, 2020. С. 374-377.
- Носов Н.А., Галышев В.Д., Волков Ю.П., Харченко А.П. Расчет и конструирование гусеничных машин. Л.: Машиностроение, 1972. 560 с.
- Харитонов С.А. Автоматические коробки передач. М.: Астрель; АСТ, 2003. 335 с.
- Шеломов В.Б. Проектирование наземных транспортно-технологических машин. Планетарные коробки передач. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. 31 с.

Работа выполнена в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства». Часть материалов работы получена за счет гранта Российского научного фонда № 22-26-00009, <https://rscf.ru/project/22-26-00009/>

- Одноосные тягачи МАЗ-529: техническое описание и инструкция по эксплуатации. М.: Военное изд-во МО СССР, 1962. 212 с.
- Автомобили БЕЛАЗ 7522, 7523, 7540, 75232 и одноосный тягач 7422: руководство по эксплуатации. Минск: Полымя, 1989. 289 с.
- Двухзвенные транспортёры ДТ-10 и ДТ-10П: техническое описание и инструкция по эксплуатации. М.: Военное изд-во, 1988. 160 с.
- Иванов В.А., Ющенко А.С. Теория дискретных систем автоматического управления. М.: Наука, 1983. 335 с.
- Андреев А.В., Ванцевич В.В., Лефаров А.Х. Дифференциалы колесных машин. М.: Машиностроение, 1987. 176 с.
- Ushiroda Y., Sawase K., Takahashi N., Suzuki K., Manabe K. Development of Super AYC // Technical review. 2003. № 15. P. 73-76.
- Дидиков Р.А. Метод определения составляющих баланса мощности механизма распределения мощности в трансмиссии автомобиля // Вестн. СибАДИ. 2016. № 4 (50). С. 61-63.
- Добрецов Р.Ю., Семенов А.Г., Васильев А.И., Канинский А.О., Телятников Д.Э., Комаров И.А. Механизм распределения мощности в трансмиссии транспортного средства: пат. 2763002 Рос. Федерации МПК В60К 17/35, F16H 48/30, F16H 37/08; заявл. 23.08.2021; опубл. 24.12.2021, Бюл. № 36.
- Поршнев Г.П. Проектирование автомобилей и тракторов. Конструирование и расчет трансмиссий колесных и гусеничных машин. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. 126 с.
- Шеломов В.Б. Теория движения многоцелевых гусеничных и колесных машин. Тяговый расчет криволинейного движения. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. 90 с.
- Забавников Н.А. Основы теории транспортных гусеничных машин. М.: Машиностроение, 1975. 448 с.
- Харченко А.П. Конструирование и расчет элементов трансмиссий транспортных машин. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2002. 144 с.

References

- Hitrov E.G., Nahina A.M., Dmitrieva M.N., Peskov V.B., Grigor'eva O.I. A refined model for evaluating the traction properties of a wheeled propulsion of a forest machine // Izvestia SPbLTA. 2016. № 217. P. 108-119.
- Grigor'eva O.I. Efficiency of transport-technological systems for forestry // Transportnye i transportno-tekhnologicheskie sistemy: materialy Mezhdunar. nauch.-tekhnicheskoy konf. (19 apr. 2018 g.). Tyumen', 2018. P. 79-83.
- Grigor'eva O.I. A new machine for logging forest care // Aktual'nye napravleniya nauch. issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. 2015. V. 3. № 2-2 (13-2). P. 116-119.
- Zayac YU.A., Budoragin YU.A., Medvedev E.V. About the type of military automotive equipment of the Wehrmacht // Nauch. rezerv. 2020. № 2 (10). P. 25-31.
- Demidov N.N., Dobrecov R.YU., Medvedev M.S. Friction mechanisms of rotation in two-stream transmissions of transport tracked vehicles // Tractors and Agricultural Machinery. 2019. № 1. P. 60-69.
- Grigor'ev I.V., Grigor'eva O.I., Verner N.N. Systems of machines for the creation and operation of forest plantations //

- Aktual'nye napravleniya nauch. issledovanij XXI veka: teoriya i praktika. 2017. V. 5. № 5 (31). P. 438-443.
7. Grigor'eva O.I., Davtyan A.B., Grin'ko O.I. Prospects of import substitution in the production of forestry and forest fire fighting machines in Russia // *Lesoeksploatatsiya i kompleksnoe ispol'zovanie drevesiny: sb. st. Vseros. nauch.-prakticheskoy konf. (10 marta 2020 g.)*. Krasnoyarsk, 2020. P. 66-69.
 8. CHemshikova YU.M., Davtyan A.B., Grigor'eva O.I. Transport and technological systems for afforestation based on tracked all-terrain vehicles: materialy Mezhdunar. nauch.-tehnicheskoy konf. (22 okt. 2020 g.). Tyumen', 2020. P. 400-403.
 9. Burmistrova O.N., Prosuzhikh A.A., Hitrov E.G., Kunickaya O.A., Luneva E.N. Theoretical studies of forwarders' productivity under restrictions of impact on soils // *Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal)*. 2021. № 3 (381). P. 101-116.
 10. Burmistrova O.N., Prosuzhikh A.A., Hitrov E.G., Rudov S.E., Kunickaya O.A., Kalita O.N. Influence of variable coefficients of resistance to movement and coupling on forwarder performance // *Derevoobrabativaushaya promishlennost' (Woodworking industry)*. 2021. № 1. P. 3-16.
 11. Teterevleva E.V., Grin'ko O.I., Grigor'eva O.I. Transport-technological machines for extinguishing forest fires based on wheeled all-terrain vehicles // *Transportnye i transportno-tehnologicheskie sistemy: materialy Mezhdunar. nauch.-tehnicheskoy konf. (22 okt. 2020 g.)*. Tyumen', 2020. P. 374-377.
 12. Nosov N.A., Galyshev V.D., Volkov YU.P., Harchenko A.P. Calculation and design of tracked vehicles. L.: Mashinostroenie, 1972. 560 p.
 13. Haritonov S.A. Automatic transmissions. M.: Astrel'; AST, 2003. 335 p.
 14. SHelomov V.B. Design of ground transport and technological machines. Planetary gearboxes. SPb.: POLITEKH-PRESS, 2019. 31 p.
 15. MAZ-529 single-axle tractors: technical description and operating instructions. M.: Voennoe izd-vo MO SSSR, 1962. 212 p.
 16. BELAZ cars 7522, 7523, 7540, 75232 and single-axle tractor 7422: rukovodstvo po eksploatacii. Minsk: Polymya, 1989. 289 p.
 17. Two-link transporters DT-10 and DT-10P: technical description and operating instructions: tekhnicheskoe opisanie i instrukciya po eksploatacii. M.: Voennoe izd-vo, 1988. 160 p.
 18. Ivanov V.A., YUshchenko A.S. Theory of discrete automatic control systems M.: Nauka, 1983. 335 p.
 19. Andreev A.V., Vancevich V.V., Lefarov A.H. Differentials of wheeled vehicles. M.: Mashinostroenie, 1987. 176 p.
 20. Ushiroda Y., Sawase K., Takahashi N., Suzuki K., Manabe K. Development of Super AYC // *Technical review*. 2003. № 15. P. 73-76.
 21. Didikov R.A. Method for determining the components of the power balance of the power distribution mechanism in the transmission of a car // *Vestn. SibADI*. 2016. № 4 (50). P. 61-63.
 22. Dobrecov R.YU., Semenov A.G., Vasil'ev A.I., Kaninskij A.O., Telyatnikov D.E., Komarov I.A. The mechanism of power distribution in the transmission of a vehicle: pat. 2763002 Ros. Federaciya MPK B60K 17/35, F16H 48/30, F16H 37/08; zayavl. 23.08.2021; opubl. 24.12.2021, Byul. № 36.
 23. Porshnev G.P. Designing cars and tractors. Design and calculation of transmissions of wheeled and tracked vehicles. SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2017. 126 p.
 24. SHelomov V.B. Theory of motion of multi-purpose tracked and wheeled vehicles. Traction calculation of curvilinear motion. SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2013. 90 p.
 25. Zabavnikov N.A. Fundamentals of the theory of transport tracked vehicles. M.: Mashinostroenie, 1975. 448 p.
 26. Harchenko A.P. Design and calculation of transmission elements of transport vehicles. 2-e izd., pererab. i dop. SPb.: Izd-vo SPbGTU, 2002. 144 p.