

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

4.3.4. Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства
и переработки древесины

Научная статья

УДК 623.437.3.093; 629.03; 629.36

doi: 10.28983/asj.y2024i9pp114-120

Модернизация трансмиссии гусеничного скиддера

Роман Юрьевич Добрецов¹, Александр Павлович Чайкин¹, Сергей Александрович Войнаш²,
Рамиль Равильевич Загидуллин², Виктория Александровна Соколова³, Сергей Александрович Король⁴

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия

² Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия

³ Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,
г. Санкт-Петербург, Россия

⁴ Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Россия

e-mail: sergey_voi@mail.ru

Аннотация. Предложен путь повышения маневренности шасси лесной гусеничной машины за счет применения бортовых реверс-редукторов. В качестве примера рассмотрена одна из возможных кинематических схем такого редуктора. Показаны принципы составления уравнений кинематики и определения значений внутренних передаточных отношений, характеризующих планетарный механизм редуктора. При изготовлении подобных механизмов предложено использовать технологии, апробированные в танкостроении.

Ключевые слова: гусеничная машина; трансмиссия; механизм передачи и поворота; подвижность; управляемость; устойчивость движения

Для цитирования: Добрецов Р. Ю., Чайкин А. П., Войнаш С. А., Загидуллин Р. Р., Соколова В. А., Король С. А. Модернизация трансмиссии гусеничного скиддера // Аграрный научный журнал. 2024, № 9, С. 114–120. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i9pp114-120>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Modernization of the powertrain of the tracked skidder

Roman Yu. Dobretsov¹, Alexander P. Chaikin¹, Sergey A. Voinash², Ramil R. Zagidullin², Viktoriia A. Sokolova³,
Sergey A. Korol⁴

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

² Kazan Federal University, Kazan, Russia

³ St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, St. Petersburg, Russia

⁴ Ukhta State Technical University, Ukhta, Russia

e-mail: sergey_voi@mail.ru

Abstract. A way to increase the maneuverability of the chassis of a forest tracked vehicle through the use of on-board reverse gearboxes is proposed. As an example, one of the possible kinematic schemes of such a gearbox is considered. The principles of composing kinematics equations and determining the values of internal gear ratios characterizing the planetary gear mechanism are shown. It is proposed to use technologies tested in tank construction in the manufacture of such mechanisms.

Keywords: tracked vehicle; transmission; power distribution mechanism; mobility; controllability; stability

For citation: Dobretsov R. Yu., Chaikin A. P., Voinash S. A., Zagidullin R. R., Sokolova V. A., Korol S. A. Modernization of the powertrain of the tracked skidder. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2024;(9):114–120. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i9pp114-120>.

Введение. Особенностью Северо-Западного региона является наличие большого процента площадей лесов с почвогрунтами, имеющими относительно низкую несущую способность [6, 11, 15]. В этой связи в лесозаготовительной промышленности данного региона востребованы шасси лесных машин на гусеничном ходу (отечественные разработки представлены в основном





серьезно устаревшими семействами машин на шасси ТДТ-55, ТЛТ-100, «Онежец-300» и их модификациями [1]). Для зарубежных шасси более типично использование колесного движителя с возможностью установки съемной гусеницы. Подобный подход возможен и для российского машиностроения, но имеющийся опыт выпуска и эксплуатации лесных гусеничных машин и трудности с обеспечением долговечности дешевых съемных гусениц отечественного производства обосновывают потребность в восстановлении производства именно гусеничных тракторов.

Традиционными проблемами гусеничного шасси являются значительная масса, сложность конструкции, высокие энергозатраты на передвижение. Однако масса трактора определяет его сцепной вес, следовательно, увеличение массы способствует реализации большей тяговой силы. Увеличение себестоимости, связанное с ростом сложности и материалоемкости конструкции, может окупаться надежностью, долговечностью, тягово-сцепными преимуществами гусеничного движителя. Энергозатраты в гусеничном шасси могут быть снижены за счет относительно простых конструктивных изменений и внедрения современных концепций управления поворотом [3, 4, 10, 18, 20].

Таким образом, практический интерес представляет поиск и внедрение технических решений, способствующих повышению эксплуатационных показателей гусеничного шасси. Одним из таких показателей является маневренность. Анализ статистических данных по эксплуатации лесных гусеничных машин [1] приводит к выводу о практической полезности обеспечения возможности поворота машины с нулевым радиусом и реализации полного реверса трансмиссии (в этом случае для обеспечения безопасности движения необходимо ограничить число допустимых передач в режиме реверса).

Однако основой для рассмотренных далее предложений остается трансмиссия гусеничного трактора с центральным расположением двигателя и бортовым (как более дешевым) принципом управления поворотом.

Целью работы является повышение маневренности шасси лесной гусеничной машины за счет возможности реализации поворота с нулевым радиусом.

Основные задачи исследования: анализ путей совершенствования бортового управления поворотом; поиск принципов модернизации типичных трансмиссий лесных гусеничных машин; изложение принципов определения параметров агрегатов трансмиссии, обеспечивающих поворот с нулевым радиусом.

Материалы и методы. Объекты исследования – шасси лесных и транспортно-технологических гусеничных машин. Методологическая основа исследования – принципы и методы теории машин и механизмов, теории гусеничных машин, расчетные методы, привлекаемые при конструировании агрегатов, узлов и деталей трансмиссий транспортных машин.

Результаты исследований. Типичные шасси гусеничных скиддеров и форвардеров российского производства относятся к третьему тяговому классу. При проектировании трактора особое внимание уделяют простоте, надежности и низкой стоимости конструкции как в производстве, так и в эксплуатации. Источником энергии является дизельный двигатель с воспламенением от сжатия, трансмиссия (силовая передача) – механическая с вальной коробкой перемены передач, карданной передачей, используемой для компенсации несоосности установки агрегатов, центральной передачей, бортовыми механизмами поворота и бортовыми редукторами.

Топология типичной трансмиссии представлена на рисунке 1. В такую концепцию хорошо вписываются гусеничные шасси отечественного производства, широко применяемые в лесозаготовительной промышленности: как правило, большинство находящихся в эксплуатации лесных гусеничных машин представляют собой устаревшие на сегодня шасси ТДТ-55, ТТ-4, Т-100. Несмотря на использование в трансмиссии гидростатической передачи, аналогичной структурой обладает и трансмиссия тракторов серии «Онежец» различных модификаций. Основанием для критики отечественных гусеничных машин традиционно являлась плохая управляемость, что снижает средние скорости движения, затрудняет выполнение маневров, способствует утомляемости оператора и увеличению расхода топлива. Перечисленные объективные недостатки делают актуальными исследования, направленные на улучшение управляемости отечественных лесных гусеничных машин с целью повышения их конкурентоспособности на современном рынке.

В настоящее время не прослеживается тенденция внедрения в российской промышленности электромеханических трансмиссий для тракторов общего назначения и лесных машин. Примером остаются советские бульдозеры ДЭТ-250 и современные исполнения машин этой серии. Однако эти бульдозеры находят применение лишь в области ликвидации последствий природных и техногенных катастроф, реже – в строительстве, а опыт их разработки и эксплуатации в лесозаготовительной отрасли пока не освоен.

Судя по всему, не уделяется внимания внедрению технологий построения гибридных силовых установок на основе теплового двигателя и электрических машин. Однако и механическая трансмиссия имеет значительный потенциал модернизации в области повышения управляемости и устойчивости движения и снижения энергозатрат на передвижение.

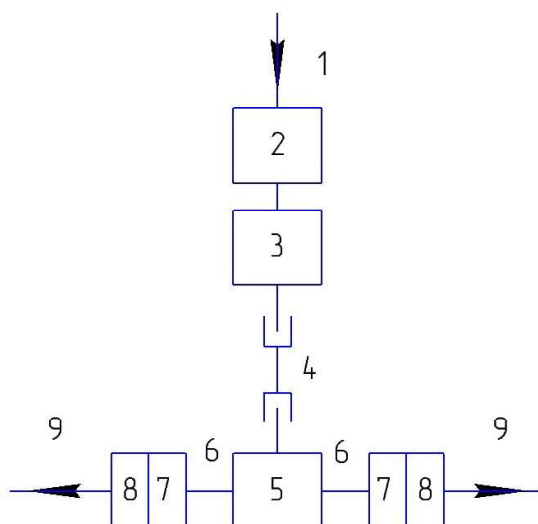


Рисунок 1 – Упрощенная структура типичной трансмиссии гусеничного скиддера

1 – подвод мощности от силовой установки; 2 – главный фрикцион (сцепление); 3 – вальная центральная коробка передач; 4 – карданная передача; 5 – центральная передача; 6 – полуоси; 7 – бортовые механизмы поворота; 8 – бортовые редукторы; 9 – отвод мощности к ведущим колесам

Figure 1 – Simplified structure of a standard caterpillar skidder transmission

1 – power supply from the power plant; 2 – main clutch; 3 – shaft central gearbox; 4 – cardan driveshaft; 5 – central transmission; 6 – half axles; 7 – on-board steering devices; 8 – on-board gearboxes; 9 – tap off to the driving wheels

Тормоза бортов на рисунке 1 условно не показаны.

Частным случаем улучшения управляемости является повышение маневренности шасси.

Применительно к трансмиссии с центральной коробкой передач и бортовым способом управления поворотом можно предложить три способа обеспечения околонулевого радиуса поворота.

Теоретически шасси с бортовым способом управления поворотом может осуществить поворот с нулевым радиусом (вокруг центра тяжести), если линейные скорости бортов будут равны по значению и противоположны по знаку. Это утверждение распространяется и на гусеничную машину. При кинематическом управлении поворотом и малых скоростях перематывания обвода нулевой радиус представляется возможным получить при отсутствии внешних возмущающих сил. Но корректнее говорить об обеспечении околонулевого радиуса поворота из-за неравенства КПД трансмиссии при перематывании обвода в противоположных направлениях и неизбежном наличии внешних возмущений.

Возможны следующие технические решения:

применение компактного двухпоточного управляемого механизма распределения мощности, функционально заменяющего центральную передачу и бортовые механизмы поворота [8, 14];

модернизация бортовых механизмов поворота или бортовых редукторов с целью обеспечения возможности реверса борта;

установка в трансмиссии бортовых реверс-редукторов [5, 17].

Двухпоточный управляемый механизм распределения мощности достаточно сложен по конструкции, а себестоимость его производства, как ожидается, будет высокой. Концепция его при-



менения в пределах схемы по патенту [4] подразумевает необходимость использования реверсивного двигателя, либо встраивание в схему трансмиссии реверс-редуктора. Вследствие этого в данной статье нецелесообразно приводить кинематическую схему по патенту [7], но полезно указать специалистам на данное направление разработок.

Усложнение конструкции бортовых механизмов поворота или бортовых передач кинематически эквивалентно добавлению в трансмиссию реверс-редукторов перед механизмами поворота.

При этом реверс-редуктор позволит реализовывать передаточные отношения ± 1 (примеры кинематических схем редукторов с такими возможностями представлены в [12]), а также другие «симметричные» и «несимметричные» варианты значения передаточного отношения (например, [3, 9]). Дополнительным преимуществом применения бортовых реверс-редукторов является возможность обеспечить полный реверс трансмиссии.

Наиболее перспективным путем представляется применение симметричных понижающих бортовых редукторов, что позволит разгрузить по крутящему моменту центральную передачу, снизить ее габариты и облегчить конструкцию.

Бортовой реверс-редуктор должен обеспечить два режима работы. Наиболее компактную конструкцию возможно получить с использованием планетарных передач и синхронизированных зубчатых муфт в качестве элементов управления. Переключение режимов работы таких редукторов целесообразно производить на неподвижном шасси, поэтому использование дисковых элементов управления необязательно. Замена блокирующего фрикциона на тормоз (или его кинематический эквивалент в исполнении с применением зубчатой муфты) в составе такого механизма упрощает конструкцию, снижает габаритные размеры и массу, а также стоимость изготовления.

Редукторная часть агрегата может быть собрана на основе двух простых (трехзвенных) планетарных механизмов или их кинематических эквивалентов сложных четырехзвенных механизмов (СЧМ). СЧМ более компактны, но несколько дороже в производстве. Однако СЧМ достаточно надежны и долговечны, что подтверждается успешной эксплуатацией подобных механизмов в бортовых коробках передач российских танков Т-72, Т-80, Т-90.

На рисунке 2 приведена упрощенная кинематическая схема одного из возможных вариантов СЧМ. Кинематическая схема, режимы нагружения для СЧМ по рисунку 2 позволяют применить конструктивные решения и технологии изготовления, апробированные для вышеперечисленных примеров. Это дает основания ожидать, что СЧМ будет обладать высокой долговечностью.

Мощность от центральной передачи подводится к солнечной шестерне редуктора, связанной с широким сателлитом.

Широкий сателлит находится в зацеплении с узким сателлитом и одним из эпициклов, отвечающим за реализацию «прямого» хода. Узкий сателлит находится в зацеплении с другим эпициклом, позволяющим реализовать режим реверса.

Зубчатые муфты T_1 и T_R используются для остановки шестерен с внутренним зубом (эпициклов) СЧМ. Муфты предпочтительно выполнить синхронизированными. Привод может быть механическим, пневматическим, электромеханическим или механогидравлическим. Организовать управление в варианте, показанном на рисунке 2, представляется технически сложным,

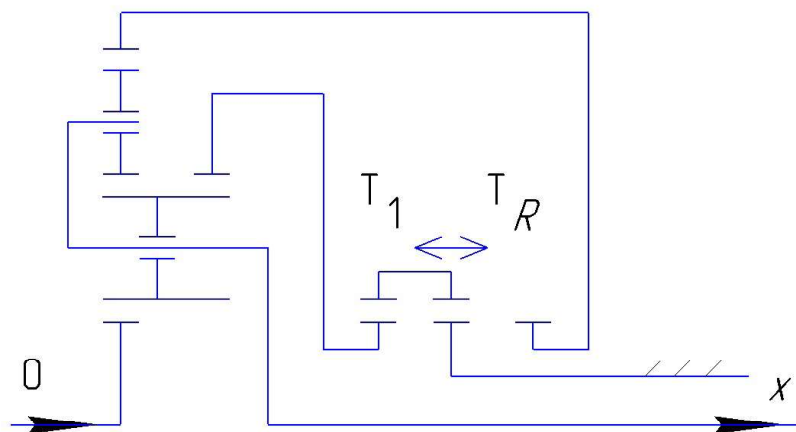


Рисунок 2 – Упрощенная кинематическая схема бортового реверс-редуктора: тормоза T_1 и T_R

Figure 2 – Simplified kinematic diagram of the on-board reverse gearbox: brakes T_1 and T_R



но привлекает возможность отказаться от использования массивных пакетов дисков трения. Более простым представляется вариант с двумя симметричными зубчатыми муфтами, но в показанном на рисунке 2 варианте исключается блокирование или полное отключение привода в результате несогласованного включения муфт.

Поскольку СЧМ эквивалентен двум простым планетарным механизмам, для кинематического анализа составляется основная система из двух уравнений, полученных из формулы Виллиса [12, 16] (входному звену соответствует индекс 0, а выходному – индекс x):

$$\begin{cases} \omega_0 = k_1 \omega_1 + (1 - k_1) \omega_x \\ \omega_0 = k_R \omega_R + (1 - k_R) \omega_x \end{cases} \quad (1)$$

где ω – угловая скорость; k_1 и k_R – кинематические параметры; 0, x , 1, R – основные звенья. Данная зависимость связывает угловые скорости ω основных звеньев 0, x , 1, R механизма через кинематические параметры k_1 и k_R .

Учитывая особенности конструкции СЧМ по схеме на рисунке 2, запишем:

$$k_R > 0, \quad k_1 < 0.$$

Включение зубчатой муфты эквивалентно включению тормоза и дает дополнительное управление связи вида

$$\omega_{R(1)} = 0.$$

Тогда передаточные отношения редуктора описываются зависимостями:

$$u_1 = \left. \frac{\omega_0}{\omega_x} \right|_{\omega_1=0} = (1 - k_1) \quad (2)$$

и

$$u_R = \left. \frac{\omega_0}{\omega_x} \right|_{\omega_R=0} = (1 - k_R). \quad (3)$$

Поскольку предполагается реализовать «симметричный» вариант, запишем:

$$u_R = -u_1.$$

Тогда получим зависимость вида

$$k_R = 2 - k_1.$$

Таким образом, внутренние передаточные отношения (кинематические параметры) рядов оказываются связанными. Значение одного из них задается, исходя из возможности обеспечения удовлетворительных угловых скоростей сателлитов:

$$k_1 = (-1, 6).$$

Этому выбору соответствуют значения передаточных отношений:

$$u_1 = (2, 6)$$

и

$$u_R = (-2, 6).$$

Тогда значение другого параметра составит

$$k_R = (+3, 6).$$

Такой механизм можно сконструировать и обеспечить для него достаточную долговечность, используя при проектировании и изготовлении методы и технологии, апробированные в танкостроении при работах над планетарными коробками передач [15, 16].



Для оценки крутящих моментов следует использовать методы, разработанные для силового анализа планетарных механизмов [8, 14].

Используя рассмотренный выше подход, можно предложить другие кинематические схемы СЧМ.

Заключение. Предложенное решение может обеспечить увеличение маневренности шасси с бортовым управлением поворотом за счет выполнения поворота с минимальным (околонулевым) радиусом. Предложенный принцип не ограничен в применении к гусеничному шасси. Возможно реализовать его в приложении к любому шасси, использующему принцип бортового поворота. Дополнительным преимуществом является обеспечение возможности полного реверса трансмиссии. Рассмотренный подход ставит под сомнение необходимость использования более сложных и дорогих двухпоточных механизмов передачи и поворота. Для лесных гусеничных машин за счет относительно простой модернизации трансмиссии появляется потенциал роста конкурентоспособности. Анализ экономической эффективности предложенных решений требует отдельного исследования, но на данный момент важнее репутационное преимущество.

В отечественной промышленности накоплен опыт, необходимый для проектирования, производства и внедрения рассмотренных в данной статье предложений. Для повышения эффективности организации работ в предлагаемом направлении представляется рациональным объединить опыт проектирования и производства лесных гусеничных машин с опытом в области создания гусеничных шасси транспортного назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимов Г. М., Кочнев А. М. Основные направления повышения эксплуатационной эффективности гусеничных трелевочных тракторов. СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2007. 455 с.
2. Выбор и анализ кинематической схемы бортового реверс-редуктора / А. П. Чайкин, А. В. Лозин, Я. А. Фимушин, Р. Ю. Добрецов // Транспортные системы: сб. мат. Междунар. науч. онлайн-конф. для молодых ученых и аспирантов. СПб.: СПбПУ, 2023. С. 62–68.
3. Выбор схемного варианта построения трансмиссий военных машин с гибридной силовой установкой / Н. Н. Демидов, Р. Ю. Добрецов, А. В. Лозин, А. Н. Филиппов // Сборник статей науч.-практ. конф., ОАО ВНИИТрансмаш, 20 октября 2016 года. СПб., 2016. С. 87–100.
4. Дружинин П. В., Сергеев В. В., Романенко Р. В. Перспективные направления развития трансмиссий военных гусеничных машин // Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях. Труды III Межвузовской науч.-практ. конф. 2018. С. 154–159.
5. Забавников Н. А. Основы теории транспортных гусеничных машин. М.: Машиностроение, 1975. 448 с.
6. Залесов С. В. Лесоводство. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. Екатеринбург: УГЛТУ, 2020. 294 с.
7. Механизм распределения мощности в трансмиссии транспортного средства: Патент № 2763002 РФ / Р. Ю. Добрецов, А. Г. Семенов и др. № 2021124995; заявл. 23.08.2021; опубл. 24.12.2021.
8. Расчет и конструирование гусеничных машин / Н. А. Носов и др.; Под ред. Н. А. Носова. Ленинград: Машиностроение, 1972. 559 с.
9. Реверс-редуктор для трансмиссий машин с бортовым способом управления поворотом / Р. Ю. Добрецов, А. В. Лозин, А. П. Чайкин, Я. А. Фимушин // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации: Сб. мат. VII Междунар. науч.-практ. конф. Омск: СибАДИ, 2022. С. 9–12.
10. Степанов В. В., Куртц Д. В., Лойко А. В. Перспективы и проблемы использования электрической энергии в военных гусеничных машинах // Актуальные проблемы защиты и безопасности. Труды XXII Всероссийской науч.-практ. конф. РАН. 2019. С. 30–44.
11. Технология и машины лесосечных работ / В. И. Пятакин, И. В. Григорьев, А. К. Редькин и др. СПб.: СПбГЛТУ, 2012. 362 с.
12. Филичкин Н. В. Анализ планетарных коробок передач транспортных и тяговых машин. Челябинск: ЮУрГУ, 2008. 178 с.
13. Харитонов С. А. Автоматические коробки передач. М.: ООО «Издательство Аристель», ООО «Издательство АСТ», 2003. 335 с.
14. Шарипов В. М. Конструирование и расчет тракторов. М.: Машиностроение, 2009. 752 с.
15. Шегельман И. Р., Скрыпник В. И., Галактионов О. Н. Техническое оснащение современных лесозаготовок. СПб.: Профи-Информ, 2005. 344 с.
16. Шеломов В. Б. Проектирование наземных транспортно-технологических машин. Планетарные коробки передач. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. 31 с.





17. Шеломов В. Б. Теория движения многоцелевых гусеничных и колесных машин. Тяговый расчет криволинейного движения. СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2013. 90 с.

18. Электромеханическая трансмиссия для военной гусеничной машины с гибридной силовой установкой / О. А. Усов, М. Н. Гусев, А. В. Лойко, А. С. Макаров // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2015. № 2(219). С. 167–171.

19. Fischer R., Küçükay F., Jürgens G., Najork R., Pollak B. The Automotive Transmission Book // ISBN 978-3-319-05262-5, ISBN 978-3-319-05263-2 (eBook) DOI 10.1007/978-3-319-05263-2, © Springer International Publishing Switzerland 2015, Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London, © 2015.

20. The double-flow electromechanical transmission of tracked vehicle / Nikolay Demidov, Roman Dobretsov, Andrey Kaninskiy, Gennadiy Porshnev // Tractors and Agricultural Machinery. 2023. No. 89. P. 333–342. Available at: <http://doi.org/10.17816/0321-4443-109223>.

REFERENCES

1. Anisimov G. M., Kochnev A. M. The main directions of improving the operational efficiency of tracked skidding tractors. St. Petersburg, 2007. 455 p. (In Russ.).

2. Selection and analysis of the kinematic scheme of the on-board reverse gearbox. A. P. Chaikin, A.V. Rozin, Ya. A. Fimushin, R. Yu. Dobretsov. St. Petersburg, 2023. 62–68. (In Russ.).

3. The choice of a schematic version of the construction of transmissions of military vehicles with a hybrid power plant. N. N. Demidov, R. Yu. Dobretsov, A.V. Lozin, A. N. Filippov. *Collection of Articles of Scientific and Practical Conference, JSC Vniittransmash*, October 20, 2016. St. Petersburg, 2016. 87–100. (In Russ.).

4. Druzhinin P. V., Sergeev V. V., Romanenko R. V. Promising directions for the development of transmissions of military tracked vehicles. *Problems of Technical Support of Troops in Modern Conditions. Proceedings of the III Interuniversity Scientific and Practical Conference*. 2018;154–159. (In Russ.).

5. Zabavnikov N. A. Fundamentals of the theory of transport tracked vehicles. Moscow, 1975. 448 p. (In Russ.).

6. Zalesov S. V. Forestry. Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. Ekaterinburg, 2020. 294 p. (In Russ.).

7. Power distribution mechanism in vehicle transmission: Patent No. 2763002 / R. Yu. Dobretsov, A. G. Semenov et al. No. 2021124995; appl. 08/23/2021; publ. 12/24/2021. (In Russ.).

8. Calculation and design of tracked vehicles. N. A. Nosov et al.; Edited by N. A. Nosov. Leningrad, 1972. 559 p. (In Russ.).

9. Reverse gear for transmissions of vehicles. R. Yu. Dobretsov, A. V. Lozin, A. P. Chaikin, Y. A. Fimushin. Omsk, 2022. 9–12. (In Russ.).

10. Stepanov V. V., Kurtz D. V., Loiko A. V. Prospects and problems of using electric energy in military tracked vehicles. *Actual problems of protection and safety. Proceedings of the XXII All-Russian Scientific and Practical Conference*. 2019;30–44. (In Russ.).

11. Technology and machines of logging operations / V. I. Patyakin, I. V. Grigoriev, A. K. Redkin et al. St. Petersburg, 2012. 362 p. (In Russ.).

12. Filichkin N. V. Analysis of planetary gearboxes of transport and traction machines. Chelyabinsk, 2008. 178 p. (In Russ.).

13. Kharitonov S. A. Automatic transmissions. Moscow, 2003. 335 p. (In Russ.).

14. Sharipov V. M. Tractor design and calculation. Moscow, 2009. 752 p. (In Russ.).

15. Shegelman I. R., Skrypnik V. I., Galaktionov O. N. Technical equipment of modern logging. St. Petersburg, 2005. 344 p. (In Russ.).

16. Shelomov V. B. Design of ground transportation and technological machines. Planetary gearboxes. St. Petersburg, 2019. 31 p. (In Russ.).

17. Shelomov V. B. Theory of motion of multi-purpose tracked and wheeled vehicles. Traction calculation of curvilinear motion. St. Petersburg, 2013. 90 p. (In Russ.).

18. Electromechanical transmission for a military tracked vehicle with a hybrid power plant. O. A. Usov, M. N. Gusev, A. V. Loiko, A. S. Makarov. *Scientific and Technical Bulletin of St. Petersburg State Polytechnic University*. 2015;2(219):167–171. (In Russ.).

19. Fischer R., Küçükay F., Jürgens G., Najork R., Pollak B. The Automotive Transmission Book. ISBN 978-3-319-05262-5, ISBN 978-3-319-05263-2 (eBook) DOI 10.1007/978-3-319-05263-2, © Springer International Publishing Switzerland 2015, Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London, © 2015.

20. The double-flow electromechanical transmission of tracked vehicle. Nikolay Demidov, Roman Dobretsov, Andrey Kaninskiy, Gennadiy Porshnev. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2023;(89):333–342. Available at: <http://doi.org/10.17816/0321-4443-109223>.

*Статья поступила в редакцию 04.03.2024; одобрена после рецензирования 06.05.2024; принята к публикации 13.05.2024.
The article was submitted 04.03.2024; approved after reviewing 06.05.2024; accepted for publication 13.05.2024.*