УДК 621:630*37 DOI: 10.18324/2077-5415-2026-3-17-24

Способ временного повышения опорно-сцепной проходимости грузового автотранспорта с колёсной формулой 6×2 или 8×2

А.В. Кузнецов[a], А.С. Васильев[b]

Петрозаводский государственный университет, просп. Ленина, 33, Петрозаводск, Россия
[a] kuzalex@petrsu.ru, [b] alvas@petrsu.ru.
[a] https://orcid.org/0000-0003-3266-8729, [b] https://orcid.org/0000-0003-2349-5600.
Статья поступила 30.04.2026, принята 07.09.2026.

Проанализированы способы повышения опорно-сцепной проходимости грузового автотранспорта. Составлена матрица развития опорно-сцепной проходимости грузовых автотранспортных средств. Анализ показал, что для снижения стоимости базовой машины необходимо разработать устройство для временной активизации пассивной оси грузового автомобиля или автомобиля-тягача с колёсной формулой 6×2 или 8×2. Это позволит снизить стоимость базовой машины, за счёт более простого с технической точки зрения устройства, при эксплуатации её в соответствующих дорожных условиях, где не требуется полный привод. Определена цель работы: разработка устройства, обеспечивающего временное повышение проходимости грузового автотранспортного средства (автомобиля или автомобиля-тягача), с колёсной формулой 6×2 или 8×2. Сформулированы задачи: изучить известные технические решения, направленные на обеспечение возможности временного увеличения опорно-сцепной проходимости транспортного средства; разработать патентоспособную оригинальную конструкцию устройства, позволяющего временно повысить опорно-сцепную проходимость грузового автотранспортного средства с колёсной формулой 6×2 или 8×2, которое может быть установлено без вмешательства в его штатные системы и не требует получения разрешения в ГИБДД на переоборудование транспортных средств. Обосновано и разработано устройство «звёздочка-приводная цепь» для временного повышения опорно-сцепной проходимости грузового автотранспорта с колёсной формулой 6×2 или 8×2. Предложенное устройство цепной передачи для активизации пассивной оси грузового автомобиля или автомобиля-тягача, с колёсной формулой 6×2 или 8×2, позволит расширить эксплуатационные возможности не полноприводных грузовых, в том числе лесовозных автотранспортных средств, за счёт возможности временного увеличения опорно-сцепной проходимости, в частности, при временном агрегатировании прицепом автомобиля, преодолении участков дороги с покрытием в удовлетворительном или плохом состоянии, трогание с места на подъём и т. д.

Ключевые слова: опорно-сцепная проходимость; способы повышения проходимости; грузовой автотранспорт; активизация пассивной оси; устройство «звёздочка-приводная цепь».

A method for temporarily increasing the cross-country ability of trucks with a 6×2 or 8×2 wheel arrangement

A.V. Kuznetsov[a], A.S. Vasiliev[b]

Petrozavodsk State University; 33, Lenin Ave., Petrozavodsk, Russia
[a] kuzalex@petrsu.ru, [b] alvas@petrsu.ru.
[a] https://orcid.org/0000-0003-3266-8729, [b] https://orcid.org/0000-0003-2349-5600.
Received 30.04.2026, accepted 07.09.2026.

The article presents an analysis of the methods for increasing the cross-country ability of trucks. A matrix for the development of the cross-country ability of trucks has been compiled. The analysis shows that in order to reduce the cost of the base vehicle, it is necessary to develop a device for temporary activation of the passive axle of a truck or tractor-trailer with a 6×2 or 8×2 wheel arrangement. This will reduce the cost of the base vehicle, due to a technically simpler device, when operating it in appropriate road conditions where all-wheel drive is not required. The objective of the work has been defined: to develop a device that provides a temporary increase in the cross-country ability of a truck (car or tractor-trailer) with a 6×2 or 8×2 wheel arrangement. The following tasks have been defined: to study the known technical solutions aimed at ensuring the possibility of temporarily increasing the cross-country ability of a vehicle; to develop a patentable, original design for a device that temporarily increases the traction and gripping ability of 6×2 or 8×2 trucks. This device can be installed without interfering with the standard systems and does not require a permit from the State Traffic Safety Inspectorate for vehicle conversion. A "sprocket-drive chain" device for temporarily increasing the traction and gripping ability of 6×2 or 8×2 trucks has been developed and substantiated. The proposed chain drive device for activating the passive axle of a truck or tractor-trailer with a 6×2 or 8×2 wheel arrangement will expand the operational capabilities of non-all-wheel drive trucks, including logging vehicles, by allowing for a temporary increase in the cross-country ability of the trailer, in particular when temporarily aggregating a vehicle with a trailer, overcoming road sections with surfaces in satisfactory and poor condition, starting from a standstill on an incline, etc.

Keywords: cross-country ability; methods of increasing cross-country ability; trucks; passive axle activation; «sprocket-drive chain» device.

Введение. Эксплуатация грузового автотранспорта и, в частности, лесовозных автопоездов связана с необходимостью движения в сложных дорожных условиях, характеризующихся крутыми подъёмами и наличием труднопроходимых участков транспортных путей. При этом ограничения при преодолении труднопроходимых участков дорог автотранспортным средством могут быть обусловлены как низкой несущей способностью опорной поверхности покрытия, что ведёт к колееобразованию, буксованию и застреванию транспортного средства, так и наличием препятствий в виде глубоких ям, крупных, выступающих над поверхностью покрытия корней, пней, валунов и т. д. Поэтому одним из определяющих эксплуатационных свойств грузового автотранспорта является проходимость. Различают габаритную (профильную) и опорно-сцепную проходимость [1, 2].

Габаритная (профильная) проходимость характеризуется такими параметрами, как (ГОСТ 22653-77): дорожный просвет; передний и задний свесы, угол переднего и заднего свесов, продольный радиус проходимости и т. д. Данные параметры закладываются в конструкцию транспортного средства ещё на этапе его проектирования и в процессе эксплуатации не подлежат изменению.

Опорно-сцепная проходимость зависит от тягово-сцепных свойств движителя, определяемых главным образом колесной формулой, параметрами шин и т. д. Опорно-сцепная проходимость характеризуется рядом показателей, среди которых: коэффициент сцепного веса (массы), удельная мощность, мощность сопротивления качению, мощность сопротивления движению, полная сила тяги, свободная сила тяги и т. д. [1]. Среди данных показателей есть такие, которые во время эксплуатации изменению не подлежат, например, мощность двигателя, но есть и такие, которые можно корректировать, например, сила сцепления шины с опорной поверхностью, число активных осей, весовая нагрузка на ведущие колеса и т. д.

Лесовозные автопоезда в составе автомобиля и прицепа и автомобиля-тягача и полуприцепа в основном эксплуатируются в разных природно-производственных условиях, им приходится перемещаться как по дорогам общего пользования с хорошим твёрдым покрытием, так и по лесовозным дорогам, и в условиях бездорожья. При этом, в зависимости от преобладания и пропорционального соотношения в структуре каждой конкретной лесотранспортной сети дорог общего пользования, лесовозных магистралей, веток и усов, движение автотранспортных средств реализуется в разных дорожных условиях [3]. В связи с этим требования к проходимости лесовозного транспорта могут существенно отличаться.

При этом, как показала практика их эксплуатации, наиболее актуально обеспечить для равномерного устойчивого движения лесовозного и другого грузового автотранспорта опорно-сцепную проходимость и лишь в редких случаях в условиях бездорожья – габаритную (профильную). Потому интерес представляет разработка технических решений для повышения опорно-сцепной проходимости при движении грузового, в том числе лесовозного автотранспорта в сложных дорожных условиях.

В настоящее время производителями выпускаются машины с разной колесной формулой и, соответственно, количеством активных (приводных) осей: 4×2, 4×4, 6×4 и т. д. В частности, для формирования лесовозного автопоезда, в основном, как с двумя, так и с тремя и более приводными осями. Наиболее популярны лесовозные автопоезда в составе базовой машины с колесной формулой 6x4 и 6x6. С увеличением числа приводных осей, с одной стороны улучшается проходимость машины, а с другой увеличивается стоимость машины, снижается КПД трансмиссии, увеличивается расход топлива, снижается максимальная скорость передвижения и т. д. Также выпускаются машины с подключаемым полным приводом (для основной эксплуатации на дорогах общего пользования и легкого бездорожья), но они имеют более высокую стоимость, чем машины с постоянным приводом (для тяжёлого бездорожья). В то же время у машин с постоянным приводом выше расход топлива, кроме этого, затруднена их эксплуатация на дорогах общего пользования.

На сегодняшний день грузовые автомобильные шасси с колёсной формулой 6×2 или 8×2 выпускаются в небольшом количестве. Это связано в первую очередь с ограниченной областью применения грузового автотранспорта на базе этих шасси, в том числе по условию проходимости. В то же время наблюдается определённый интерес к подобным машинам у потребителей, в частности у ритейла (6×2), с учётом их стоимости и затрат на эксплуатацию в хороших дорожных условиях. При этом можно расширить область применения грузовых автомобильных шасси с колёсной формулой 6×2 или 8×2 за счёт увеличения их опорно-сцепной проходимости.

Стоит отметить, что, в частности, лесовозный транспорт приобретается с учётом предстоящих условий эксплуатации, но эти условия могут меняться в зависимости от изменения транспортной сети по мере освоения лесфонда. Кроме того, зачастую на практике одиночный автомобиль агрегатируется прицепом (автомобиль + прицеп), использование которого повышает грузоподъёмность и производительность автопоезда, но снижает опорно-сцепную проходимость. При этом исследователями предлагается ряд разработок с целью активизации осей прицепных звеньев автопоездов (прицепов и полуприцепов) для повышения их опорно-сцепной проходимости [4]. В то же время эти технические решения не нашли широкого применения на практике.

В работе [5] отмечается возможность использования лесовозного автопоезда в составе автомобиля с колёсной формулой 6×2 для вывозки древесины с промежуточного склада при двухступенчатой (двухстадийной) вывозке. На первой ступени автопоезда повышенной проходимости, на базе полноприводных автомобилей или автомобилей-тягачей, на второй – автопоезда, на базе неполноприводных автотранспортных средств повышенной грузоподъёмности, например, с колесной формулой 6×4 или 6×2, обладающими повышенными скоростными возможностями при движении по дорогам с хорошим состоянием покрытия. При этом подчёркивается, что при движении лесовозного автопоезда на базе автомобиля с колёсной формулой 6x2 по лесовозным до-

рогам с плохим состоянием покрытия возможны ограничения его движения, связанные с недостаточной опорно-сцепной проходимостью (буксование, застревание), что сказывается на его производительности. В этом случае приходится отцеплять прицеп и после загрузки автомобиля возвращаться к нему для его погрузки несколько раз, в зависимости от его вместимости. После загрузки прицепа он агрегатируется с автомобилем, и осуществляется вывозка сортиментов потребителю. Такое решение снижает производительность автопоезда из-за дополнительных затрат времени на лишние операции.

В процессе эксплуатации машин невозможно изменить их конструктивные параметры для лучшей адаптации к специфическим условиям движения по местности [6]. Поэтому при эксплуатации грузового, в том числе лесовозного транспорта актуальным является использование технических решений, обеспечивающих изменение эксплуатационных параметров транспортных средств, например, установка шин со специализированным профилем протектора [7], использованием специальной резиновой смеси в конструкции протектора [8] или за счёт использования дополнительных устройств, позволяющих временно повышать опорно-сцепную проходимость [9].

Известны различные способы и устройства, позволяющие повышать опорно-сцепную проходимость автотранспортных средств без вмешательства в штатные системы автомобиля, требующего получения разрешающего документа в ГИБДД на переоборудование машин:

– увеличение нагрузки на приводные колеса. При использовании автотранспортного средства в составе автопоезда данный способ может быть реализован, например, путём использования догружающего устройства, устанавливаемого на поперечной траверсе и дышле прицепа, а также задней фронтальной части рамы автомобиля, обеспечивающего перераспределение части веса со стороны прицепа через гибкую тросовую тягу и лебёдку на ведущие задние колёса автомобиля тягача [10];

– улучшение сцепления движителя с опорной поверхностью. Например, за счёт использования лопастей противоскольжения, устанавливаемых на стандартную шину колеса [11], металлических стержней, выдвигающихся из покрышки [12], цепей противоскольжения [13], браслетов и накладок [14, 15], закрепляемых на колесе, а также использовании автоматической системы вращающихся цепей [16], размещённых вне колеса;

– распыление на покрышки колёс специальных составов из аэрозольных баллончиков [17], подаче под шины ведущих колес сыпучего антифрикционного материала [18];

– увеличение площади контакта движителя с опорной поверхностью. Например, за счёт использования централизованной системы автоматического регулирования давления в шинах [19, 20], а также шин особой конструкции с регулируемым давлением [21], использования шин, оборудованных внутренней дополнительной опорой [22], установкой съёмных гусениц [23, 24];

– использование на пневматической шине непневматического эластичного внешнего кольца, улучшающего сцепление с дорогой и дополнительно при этом снижающего риск прокола [25];

– использование устройств, обеспечивающих внешнее тяговое усилие, например, лебёдок, устанавливаемых на раме автомобиля, колёсном диске [9] или вне транспортного средства [14];

– увеличение количества приводных колёс. Например, активизация пассивной оси с помощью роликового привода Робсона (медведки) [26].

Некоторые из представленных технических устройств с ограничениями, нашли применение на практике (системы автоматического регулирования давления в шинах, цепи противоскольжения и т. д.). В то же время остальные технические решения, как правило, или достаточно сложно реализуются на практике или недостаточно эффективны, или их внедрение не оправдано экономически.

Установлено, что для повышения опорно-сцепной проходимости существует возможность обеспечения временной активизации пассивных осей (колёс) грузового шасси, в частности с колёсной формулой 6×2 или 8×2. Это позволит снизить стоимость базовой машины за счёт более простого с технической точки зрения устройства при эксплуатации её в соответствующих дорожных условиях, где не требуется полный привод.

Из опыта реальной эксплуатации грузовых транспортных средств известна система увеличения числа ведущих колёс, включающая установку между сдвоенными колесами задних мостов, один из которых является ведущим, а другой ведомым, шкивов, на которые натягивается клиновой ремень [27]. Среди недостатков такой конструкции следует отметить зависимость величины передаваемого вращающего момента от силы трения между ремнём и шкивами и незащищённость зоны контакта ремня и шкива от попадания грязи и влаги, снижающих коэффициент трения, а также действие значительных изгибающих моментов дополнительно нагружающих подшипники колёс, обусловленных предварительным упругим натяжением ремня. При эксплуатации в зимних условиях возможно обледенение поверхностей трения, в результате чего ременная передача теряет устойчивость в работе вплоть до полного прекращения движения.

Методика и результаты исследования. Цель работы заключается в разработке устройства, обеспечивающего временное повышение проходимости грузового автотранспортного средства (автомобиля или автомобиля-тягача), с колёсной формулой 6×2 или 8×2.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

– изучить известные технические решения, направленные на обеспечение возможности временного увеличения опорно-сцепной проходимости транспортного средства;

– разработать оригинальную патентоспособную конструкцию устройства, позволяющего временно повысить опорно-сцепную проходимость грузового автотранспортного средства с колёсной формулой 6×2 или 8×2, которое может быть установлено без вмешательства в его штатные системы и не требует получения разрешения в ГИБДД на переоборудование транспортных средств.

В ходе работы использовались следующие методы:

– метод патентно-информационного поиска и анализа научно-технической литературы с последующей систематизацией отобранного материала. Поиск проводился среди доступных источников научно-технической информации, среди которых базы данных патентов (fips.ru, espacenet.com), наукометрические базы данных (elibrary, researchgate, scopus, ciberleninka и др.), информационные порталы сети Internet;

– метод сравнения. С использованием данного метода была дана сравнительная оценка отобранным в ходе патентно-информационного поиска материалам с выделением достоинств, недостатков и так называемых «узких мест» различных технических решений;

– метод функционально-структурно-технологического анализа (ФСТА) [28], согласно которому все выявленные технические решения были классифицированы, систематизированы с различных точек зрения: трудоёмкости и удобства при установке-снятии, промышленной применимости, конструктивной реализации, эффективности использования на грузовом транспорте, эксплуатируемом как в режиме одиночного транспортного средства, так и при агрегатировании с прицепом, при этом учитывались особенности условий работы лесного и другого грузового автотранспорта;

– метод мозгового штурма. В ходе работы было предложено техническое решение по конструктивному воплощению устройства, обеспечивающего временную активизацию ведомого моста грузового транспортного средства со сдвоенной задней осью. В качестве базового транспортного средства была выбрана конструкция со сдвоенной задней осью, как наиболее часто используемая в лесовозных и других грузовых автомобилях, эксплуатируемых как в качестве одиночных транспортных средств, так и в составе автопоездов.

В результате работы с использованием метода ФСТА была составлена матрица развития опорно-сцепной проходимости грузовых, в том числе лесовозных автотранспортных средств (рис. 1).

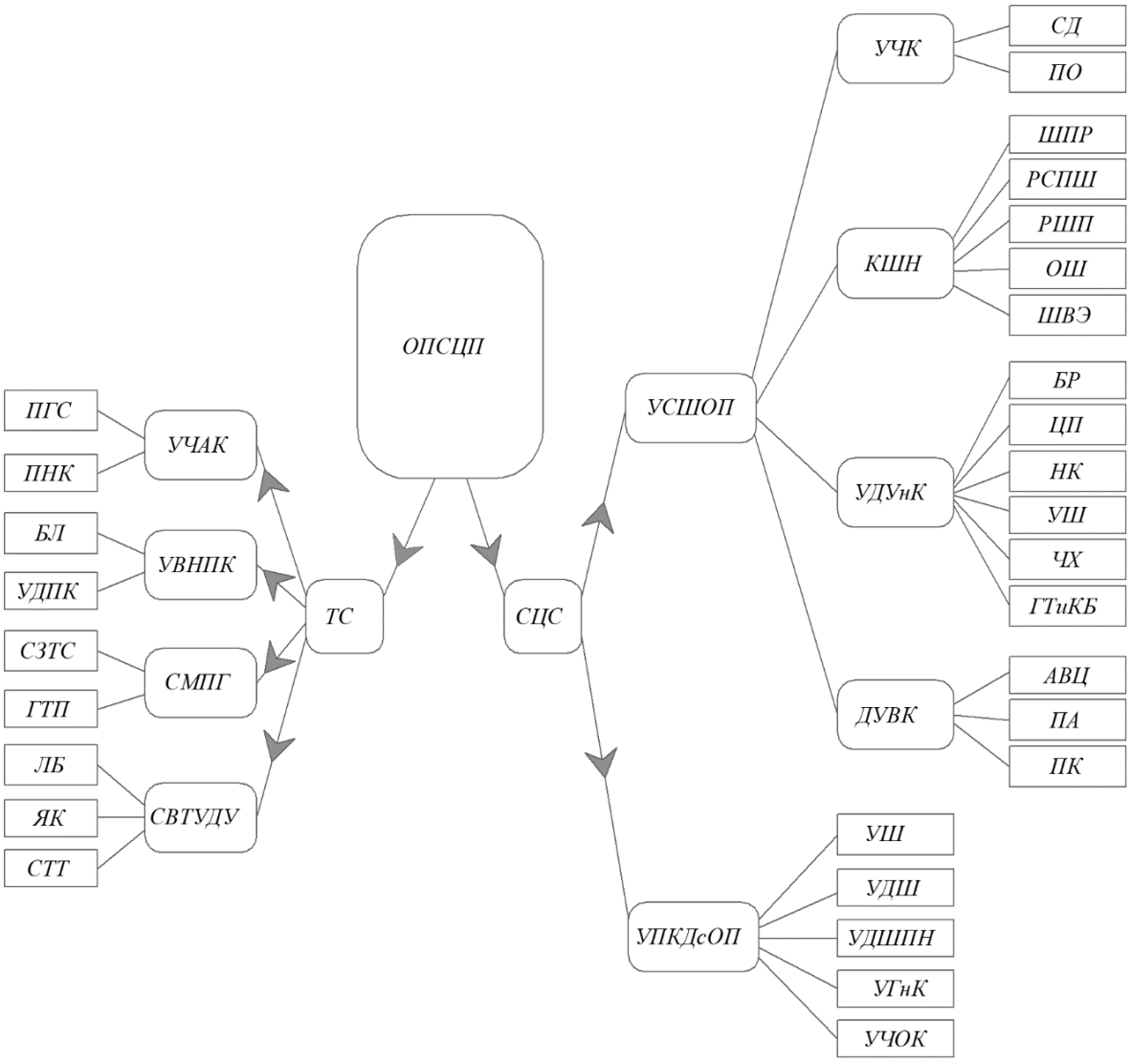


Рис. 1. Матрица направлений совершенствования опорно-сцепной проходимости грузового автотранспорта

В матрице (см. рис. 1) использованы следующие обозначения: ОПСЦП – опорно-сцепная проходимость; ТС – тяговые свойства; УЧАК – увеличение числа активных колес; ПГС – механическая передача от веду-

щего моста с гибкой связью; ПНК – передача с непосредственным контактом (привод Робсона); УВНПК – увеличение весовой нагрузки на приводные колеса; БЛ – использование балласта, располагаемого вблизи приводных колёс; УДПК – использование устройства, догружающего приводные колеса; СМПГ – снижение массы буксируемого груза; СЗТС – снижение загрузки кузова транспортного средства; ГТП – использование прицепа с изменяемой длиной дышла; СВТУДУ – создание внешнего тягового усилия дополнительными устройствами; ЛБ – использование лебёдки; ЯК – использование якоря и гибкой тяги; СТТ – использование схемы «тяни-толкай»; СЦС – сцепные свойства; УСШОП – улучшение сцепления шины с опорной поверхностью; УЧК – увеличение числа колёс; СД – использование сдвоенных колёс; ПО – использование подъёмных осей; КШН – конструкция шин; ШПР – широкопрофильные шины; РСПШ – резиновая смесь протектора шины; РПШ – рисунок протектора шины; ОШ – ошиповка шин; ШВЭ – шины с выдвижными элементами; УДУнК – установка дополнительных устройств на колесах; БР – браслеты; ЦП – цепи; НК – накладки; УШ – уширители шин; ЧХ – противоснежные чехлы из дорожной ткани на колёса; ГТиКБ – использование гибкой тяги и колеса в качестве барабана; ДУВК – использование дополнительных устройств, устанавливаемых вне колёс; АВЦ – автоматизированные вращающиеся цепи; ПА – подсыпка абразива под ведущие колёса; ПК – использование подкладок, размещаемых между колесом и опорной поверхностью; УПКДсОП – увеличение площади контакта движителя с опорной поверхностью; УШ – использование уширителей шин; УДШ – увеличение диаметра шин; УДШПН – увеличение деформации шин под нагрузкой, например, за счёт временного снижения давления воздуха; УГнК – установка гусениц на колёса; УЧОК – увеличение числа опорных колёс.

В результате анализа матрицы направлений совершенствования опорно-сцепной проходимости и использования метода «мозгового штурма» было установлено, что наиболее перспективным направлением повышения опорно-сцепной проходимости грузового, в том числе лесовозного транспортного средства, имеющего сдвоенную заднюю ось, является увеличение числа приводных колёс за счёт активизации задних ходовых колес от задних приводных колёс путём использования механической передачи зацепления с гибкой связью. В результате авторами была разработана конструкция съёмного устройства (рис. 2, 3), обеспечивающего активизацию ведомой оси транспортного средства от ведущей оси путём использования цепной передачи.

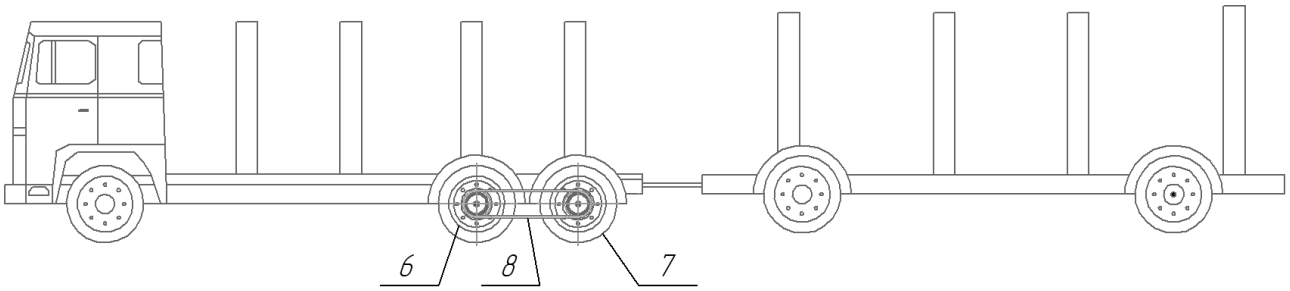
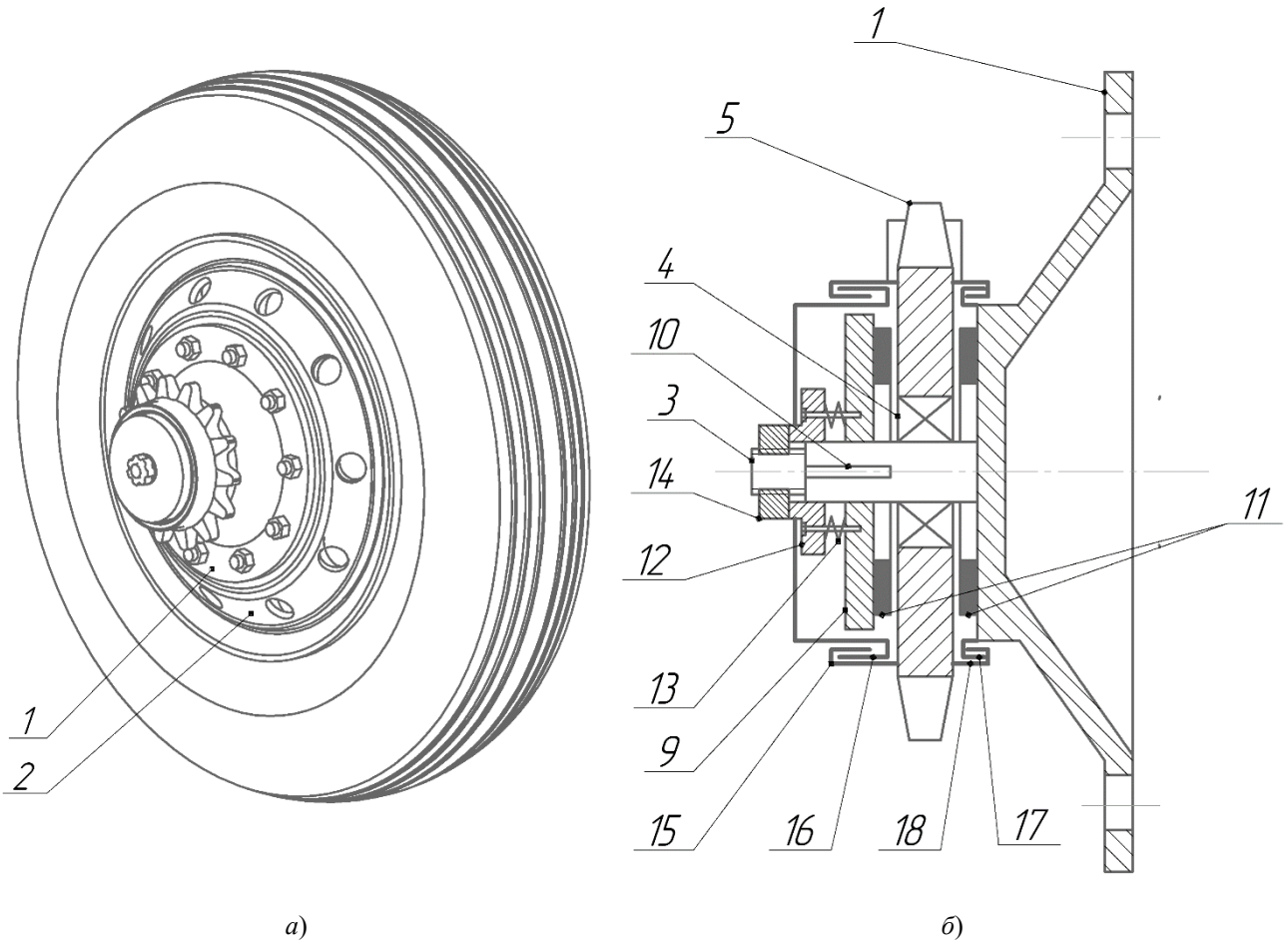


Рис. 2. Лесовозный автопоезд для транспортировки сортиментов

Устройство «звёздочка-приводная цепь» (рис. 3) состоит из двух идентичных ступиц 1, устанавливаемых на диски 2 колёс ведущего и ведомого мостов, расположенные с одного борта транспортного средства. На каждой ступице смонтирована ось 3, на которой с использованием подшипника 4 установлена звездочка 5 цепной передачи. Между звездочками, установленными на ступицах ведущего 6 и ведомого 7 мостов, натянута приводная цепь 8 (рис. 2). В ступицу устройства вмонтирована фрикционная муфта, позволяющая управлять передачей вращающего момента между ступицей и смонтированной на ней звёздочкой. Фрикционная муфта включает в себя диск 9, установленный посредством подвижного шпоночного или шлицевого соединения 10 на оси 3. С обеих сторон звёздочки установлены фрикционные накладки 11. Перед диском 9 установлена нажимная пластина 12, взаимодействующая с диском через упругие элементы 13, выполненные в виде пружин сжатия. На торцевом участке оси 3 установлен маховичок включения 14, обеспечивающий включение и выключение действия фрикционной муфты. Для защиты внутреннего пространства муфты от проникновения грязи используются щелевые уплотнения, образованные оболочками 15–18.

Данное устройство «звёздочка-приводная цепь» устанавливается на автотранспортное средство, с колёсной формулой 6×2 или 8×2, в случае необходимости. Например, при агрегатировании транспортного средства прицепом или при необходимости эксплуатации автотранспортного средства в осложнённых дорожных условиях. В частности, на вывозке древесины, при преодолении участков дороги с покрытием в удовлетворительном или плохом состоянии, при трогании с места на подъём и т. д. При этом на колеса ведущего и ведомого мостов транспортного средства монтируются описываемые устройства. Данные устройства могут быть установлены на колеса как одного борта, так и двух бортов транспортного средства. Рекомендуется установка с двух бортов, так как это обеспечит активизацию правого и левого колес неактивной оси. На звёздочки устройств, установленных с одного борта, монтируют приводную цепь. В результате чего обеспечивается передача вращающего момента с колеса ведущего моста на колесо ведомого моста через цепную передачу зацепления, обеспечивающую одинаковые скорости вращения соединяемых колёс и обладающую высокой нагрузочной способностью. Перед движением по сложному участку дороги водитель, поворачивая маховички 14, на устройствах,

включает действие фрикционных муфт за счёт того, что звездочка зажимается между ступицей и диском через фрикционные накладки. В результате звёздочки вращаются вместе со ступицами, через цепь передается вращение с ведущего колеса на ведомое. После прохождения сложного участка водитель может, поворачивая маховички 14 в противоположную сторону, отключить действие фрикционных муфт и продолжить движение с штатным количеством активных колёс.



а) *б*)

Рис. 3. Устройство «звёздочка-приводная цепь»: *а* – звёздочка, установленная на колесе; *б* – конструкция в разрезе

Использование такого устройства позволит расширить область применения грузовых транспортных средств за счёт увеличения их опорно-сцепной проходимости путём временной активизации ведомого моста. При этом транспортное средство может двигаться как с подключенным, так и отключенным приводом ведомого моста. При этом устройство является съёмным, а его использование не требует вмешательства в штатные системы автомобиля и получения разрешения на переоборудование транспортного средства.

Новизна и промышленная применимость данного устройства подтверждается патентами на полезную модель (RU 237268 «Транспортное средство повышенной проходимости»), и изобретение (RU 2855213 «Способ временного подключения ведомого моста транспортного средства»), выданными федеральным институтом промышленной собственности России в 2025 и 2026 годах, соответственно.

К недостатку данного устройства можно отнести необходимость водителю выходить из кабины для активизации ведомой оси, в связи с чем, в настоящее время авторами ведутся работы по доработке конструкции с целью обеспечения возможности управления работой привода дистанционно без выхода водителя из кабины.

Заключение. Использование предложенного устройства цепной передачи для активизации пассивной оси (колёс) грузового автомобиля или автомобиля-тягача, с колёсной формулой 6×2 или 8×2, позволит расширить эксплуатационные возможности не полноприводных грузовых, в том числе лесовозных автотранспортных средств, за счёт возможности временного увеличения опорно-сцепной проходимости, например, при их временном агрегатировании прицепом (автомобиля), преодолении участков дороги с покрытием в удовлетворительном или плохом состоянии, трогании с места на подъём и т. д.

Устройство «звёздочка-приводная цепь» при необходимости можно использовать для активизации пассивной оси (колёс) и на шасси с колёсной формулой 10×2, 10×4. Кроме этого, возможно применение устройства на других автотранспортных средствах, например, вездеходах для тяжёлого бездорожья как альтернативы приводу Робсона.

Литература

1. Котляренко В.И. Оценка проходимости колёсных машин по деформируемым опорным поверхностям // Журнал автомобильных инженеров. 2008. № 1 (48). С. 30–35.
2. Vantsevich V., Gorsich D. Modelling and simulation fundamentals in design for ground vehicle mobility. Part I: Eastern approach // Journal of Terramechanics. Vol. 117. 2025. DOI: doi.org/10.1016/j.jterra.2024.101020
3. Кузнецов А.В. Анализ применения лесовозных автопоездов в реальных ареалах эксплуатации // Современные наукоемкие технологии. № 6, ч. 2. 2021. С. 265–269.
4. Manzone M., Balsari P. Electronic Control of Motor Axles of Forestry Trailers // Croatian Journal of Forest Engineering. Vol. 36. 2015. Pp. 131–136.
5. Шегельман И.Р., Скрыпник В.И., Кузнецов А.В., Васильев А.С. Оценка путей модернизации лесовозного автопоезда, оснащенного гидроманипулятором // Фундаментальные исследования. № 12–4. 2016. С. 789–794.
6. Amosov A.G., Mirolyubova T.I. Review of methods for calculating the cross-country ability of heavy road trains in off-road conditions // Transportation Research Procedia. Vol. 61. 2022. Pp. 206–212. DOI: doi.org/10.1016/j.trpro.2022.01.034
7. Knights P.F., Joseph S., McInnes L., Heitzmann M.T. Analysis of tire/gripper slip forces during the handling of large off-the-road tires // Journal of Industrial Safety. Vol. 1. Issue 1. 2024. DOI: doi.org/10.1016/j.jinse.2024.100007
8. Fathi H., Ly A., Pathak T., El-Sayegh Z. Sensitivity analysis of truck tire tread material properties for on-road applications // Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering. Vol. 48. 2024. DOI: 10.1139/tcsme-2023-0165
9. Sladkova L., Siuzev A. Anti-slip wheel devices // Mobility & Vehicle Mechanics. Vol. 48. No. 2. 2022. Pp. 19–26. DOI: 10.24874/mvm.2022.48.02.02
10. Марков С.Н., Ус С.С., Пономарев Н.В., Гончарук А.И., Кузнецов Е.Е., Щитов С.В. Повышение проходимости колёсных энергетических средств при недостаточных тягово-сцепных свойствах // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. № 4 (90). 2021. С. 160–164.
11. Yaman K., Atak A., Yaşar İ. Anti-slip and armor effective skid chain with a novel tension mechanism // International journal of automotive science and technology. Vol. 9. 2025. Pp. 491–499. DOI: 10.30939/ijastech.1599491
12. Патент на изобретение RU 2374086 C1 Российская Федерация, МПК B60C 11/16, B60B 15/10. Устройство для повышения силы сцепления колеса автомобиля с поверхностью дороги; заявл. 05.05.2008: опубл. 27.11.2009 / В.В. Белозоров, И.М. Казбанова, заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Воронежская государственная лесотехническая академия».
13. Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Федоров В.И., Задраускайте Н.О., Египко С.В., Дьячковский Д.А. Взаимодействие колёсного движителя с почвогрунтом на склоне, с учётом эффекта буксования // Resources and Technology. Vol. 22(3). 2025. Pp. 184–202.
14. Данилов В. Ф., Епанешников В. В. Увеличение проходимости автомобилей // Инновации и инвестиции. №4. 2019. С. 239–244.
15. Invention Patent FR 2809673A1 France, IPC A43B13/26; A43C15/02; A43C15/06; B60C11/03; B60C27/06; E04F15/00. Gripping surfaces for tyres, caterpillar tracks and tyre coverings for use on difficult terrains having hollow or relief areas on the contact surface; declared 05.05.2008: published 07.12.2001 / M. Ion, applicant: Ion M.
16. Information for the driver on using ROTOGRIP. 2013. URL: https://www.rud.com/fileadmin/rud.com/Reifenketten/Dummy_Content/Rotogrip/Products/8403334_Technische_Hinweise.pdf (дата обращения: 25.01.2026)
17. Шматов Н.Г., Малий В.И., Кузьмин Н.А., Фень А.А., Недогреев В.А. Улучшение сцепления шин с дорогой на скользких участках // Молодой учёный. № 6 (296). 2020. С. 49–53.
18. Патент на изобретение RU 2567471 C1 Российская Федерация, МПК B60B 39/06, B60B 39/04. Устройство для предотвращения проскальзывания ведущих колес автомобиля; заявл. 13.05.2014: опубл. 10.11.2015. / М.В. Гомонай, А.Д. Игнатьев, заявитель Гомонай М.В., Игнатьев А.Д.
19. Brokmeier H. Central Tire Inflation System for timber transport in Germany // International Journal of Forest Engineering. Vol. 28. T.1. 2017. Pp. 1–15. DOI: 10.1080/14942119.2017.1354529
20. Keränen S., Malinen J. User experiences with the Central Tire Inflation system on timber trucks in Finland // European Transport \ Trasporti Europei. Issue 72. № 6. 2019. Pp. 1–16.
21. Januleviėius A., Damanauskas V. How to select air pressures in the tires of MFWD (mechanical front-wheel drive) tractor to minimize fuel consumption for the case of reasonable wheel slip // Energy. Vol. 90. 2015. DOI: 10.1016/j.energy.2015.07.099
22. Чибисов А.А. Применение «безопасных» колёс сниженной нагруженности для обеспечения подвижности сельскохозяйственного транспорта // Технология колёсных и гусеничных машин. № 2. 2014. С. 50–57.
23. Клубничкин Е.Е. Моделирование мобильности колесных транспортных средств, оснащенных средствами повышения проходимости // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. №1 (140). 2023. С. 84–96. DOI: 10.46960/1816-210X_2023_1_84
24. Richmond T., Germain R., Brown K., Briggs R., Stehman S. Comparing single-wheel attachable tracks to chains and bare tires on skidders for mitigating soil disturbance during harvesting operations // International Journal of Forest Engineering. Vol. 34. 2022. Pp. 1–10. DOI: 10.1080/14942119.2022.2121086
25. Zang L., Zhao Y., Li B., Wang J., Du X. Mechanical elastic wheel improving road holding and wear resistance of tire // Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. Vol. 30. 2014. Pp. 56–63. DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2014.12.007
26. Лапшин Ф.В Финляндии и Швеции распространено устройство «медведка». А что такое гидродрайв? // Автообзор №1 (464). 2011. URL: https://autoreview.ru/articles/gruzoviki-i-avtobusy/medvedka-protiv-gidrodrayva (дата обращения 25.01.2026)
27. Золотых С.В., Белов В.В., Белов Е.Л. Теоретическое исследование перераспределения весовой нагрузки грузового автомобиля, оборудованного дополнительными ведущими колесами // Вестник Чувашского ГАУ. № 1. 2024. С. 153–159. DOI 10.48612/VCH/X692-BUDU-4428
28. Васильев А.С., Шегельман И.Р. Методология формирования патентоспособных технических решений с использованием функционально-структурно-технологического подхода // Наука и бизнес: пути развития. Вып. 7 (109). 2020. С. 96–98.

References

1. Kotlyarenko V.I. Evaluation of the cross-country ability of wheeled vehicles on deformable support surfaces // Journal of Automobile Engineers. 2008. № 1 (48). Pp. 30–35.
2. Vantsevich V., Gorsich D. Modeling and simulation fundamentals in design for ground vehicle mobility. Part I: Eastern approach // Journal of Terramechanics. Vol. 117. 2025. DOI: doi.org/10.1016/j.jterra.2024.101020

3. Kuznetsov A.V. Analysis of the use of timber road trains in real operating areas // Modern science-intensive technologies. №. 6, part 2. 2021. Pp. 265–269.
4. Manzone M., Balsari P. Electronic Control of Motor Axles of Forestry Trailers // Croatian Journal of Forest Engineering. Vol. 36. 2015. Pp. 131–136.
5. Шегельман И.Р., Скрыпник В.И., Кузнецов А.В., Васильев А.С. Оценка путей модернизации лесовозного автопоезда, оснащенного гидроманипулятором // Фундаментальные исследования. № 12-4. 2016. С. 789–794.
6. Amosov A.G., Mirolyubova T.I. Review of methods for calculating the cross-country ability of heavy road trains in off-road conditions // Transportation Research Procedia. Vol. 61. 2022. Pp. 206–212. DOI: doi.org/10.1016/j.trpro.2022.01.034
7. Knights P.F., Joseph S., McInnes L., Heitzmann M.T. Analysis of tire/gripper slip forces during the handling of large off-the-road tires // Journal of Industrial Safety. Vol. 1. Issue 1. 2024. DOI: doi.org/10.1016/j.jinse.2024.100007
8. Fathi H., Ly A., Pathak T., El-Sayegh Z. Sensitivity analysis of truck tire tread material properties for on-road applications // Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering. Vol. 48. 2024. DOI: 10.1139/tcsme-2023-0165
9. Sladkova L., Siuzev A. Anti-slip wheel devices // Mobility & Vehicle Mechanics. Vol. 48. No. 2. 2022. Pp. 19–26. DOI: 10.24874/mvm.2022.48.02.02
10. Markov S.N., Us S.S., Ponomarev N.V., Goncharuk A.I., Kuznetsov E.E., Shchitov S.V. Improving the cross-country ability of wheeled power vehicles with insufficient traction properties // Bulletin of the Orenburg State Agrarian University. No. 4 (90). 2021. Pp. 160–164.
11. Yaman K., Atak A., Yaşar İ. Anti-slip and armor-effective skid chain with a novel tension mechanism // International Journal of Automotive Science and Technology. Vol. 9. 2025. Pp. 491–499. DOI: 10.30939/ijastech.1599491
12. Invention Patent RU 2374086 C1 Russian Federation, IPC B60C 11/16, B60B 15/10. Device for increasing the traction force of a vehicle wheel on the road surface; declared 05.05.2008: published 27.11.2009 / V.V. Belozorov, I.M. Kazbanova, applicant: State Educational Institution of Higher Professional Education "Voronezh State Forest Engineering Academy".
13. Shapiro V.Ya., Grigoryev I.V., Fedorov V.I., Zadraus-kaite N.O., Egipko S.V., Dyachkovsky D.A. Interaction of a wheel propeller with soil on a slope, taking into account the slippage effect // Resources and Technology. Vol. 22 (3). 2025. Pp. 184–202.
14. Danilov V.F., Epaneshnikov V.V. Increasing vehicle cross-country ability // Innovations and Investments. № 4. 2019. Pp. 239–244.
15. Invention Patent FR 2809673A1 France, IPC A43B13/26; A43C15/02; A43C15/06; B60C11/03; B60C27/06; E04F15/00. Gripping surfaces for tyres, caterpillar tracks and tyre coverings for use on difficult terrains having hollow or relief areas on the contact surface; declared 05.05.2008: published 07.12.2001 / M. Ion, applicant: Ion M.
16. Information for the driver using ROTOGRIP. 2013. URL: https://www.rud.com/fileadmin/rud.com/Reifenketten/Dummy_Content/Rotogrip/Products/8403334_Technische_Hinweise.pdf (date accessed: 25.01.2026)
17. Shmatov N.G., Maliy V.I., Kuzmin N.A., Fen A.A., Nedogreev V.A. Improving Tire Grip on Slippery Roads // Young Scientist. № 6 (296). 2020. Pp. 49–53.
18. Patent for invention RU 2567471 C1 Russian Federation, IPC B60B 39/06, B60B 39/04. Device for preventing slippage of drive wheels of a vehicle; declared 13.05.2014: published 10.11.2015. / M.V. Gomonai, A.D. Ignatiev, applicant Gomonai M.V., Ignatiev A.D.
19. Brokmeier H. Central Tire Inflation System for timber transport in Germany // International Journal of Forest En-gineering. Vol. 28. Issue 1. 2017. Pp. 1–15. DOI: 10.1080/14942119.2017.1354529
20. Keränen S., Malinen J. User experiences with the Central Tire Inflation system on timber trucks in Finland // European Transport \ Trasporti Europei. Issue 72. № 6. 2019. Pp. 1–16.
21. Januleviėius A., Damanauskas V. How to select air pres-sures in the tires of MFWD (mechanical front-wheel drive) tractor to minimize fuel consumption for the case of reason-able wheel slip // Energy. Vol. 90. 2015. DOI: 10.1016/j.energy.2015.07.099
22. Chibisov A.A. Use of «safe» wheels with reduced load to ensure the mobility of agricultural transport // Technology of wheeled and tracked vehicles. № 2. 2014. Pp. 50–57.
23. Klubnichkin E.E. Modeling the mobility of wheeled vehicles equipped with cross-country ability enhancers // Proceedings of NSTU named after R.E. Alekseev. № 1 (140). 2023. Pp. 84-96. DOI: 10.46960/1816-210X_2023_1_84
24. Richmond T., Germain R., Brown K., Briggs R., Stehman S. Comparing single-wheel attachable tracks to chains and bare tires on skidders for mitigating soil disturbance during harvesting operations // International Journal of Forest En-gineering. Vol. 34. 2022. Pp. 1–10. DOI: 10.1080/14942119.2022.2121086
25. Zang L., Zhao Y., Li B., Wang J., Du X. Mechanical elastic wheel improving road holding and wear resistance of tire // Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. Vol. 30. 2014. Pp. 56–63. DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2014.12.007
26. Lapshin F. "The Bear-Style Device is Common in Finland and Sweden". What is Hydrodrive? // Autoreview, No. 1 (464). 2011. URL: https://autoreview.ru/articles/gruzoviki-i-avtobusy/medvedka-protiv-gidrodrayva (accessed 25.01.2026)
27. Zolotykh S.V., Belov V.V., Belov, E.L. "A Theoretical Study of Weight Load Redistribution in a Truck Equipped with Additional Drive Wheels" // Bulletin of the Chuvash State Agrarian University. No. 1. 2024. pp. 153–159. DOI 10.48612/VCH/X692-BUDU-4428
28. Vasiliev A.S., Shegelman I.R. Methodology for the Formation of Patentable Technical Solutions Using a Functional-Structural-Technological Approach // Science and Business: Paths of Development. Issue 7 (109). 2020. Pp. 96–98.