

## КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТАНДЕМНЫХ МОСТОВ ЛЕСНЫХ МАШИН

А.В. Горбачев<sup>1</sup>✉, С.А. Коростелев<sup>1</sup>, С.А. Ченских<sup>1</sup>,  
В.Е. Колотилин<sup>2</sup>, В.Ф. Кулепов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова» (АлтГТУ), Россия, 656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр-т Ленина, д. 46

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева» (НГТУ), Россия, 603155, г. Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24

aleks\_gorb@mail.ru

Представлен анализ конструктивных особенностей тандемных мостов лесных машин. Приведена классификация лесных машин в зависимости от их назначения и характеристик. Рассмотрены конструкции тандемных мостов с цепным и шестеренчатым приводом и с приводом Робсона. Сделаны выводы о применимости каждого из них при проектировании и производстве лесных машин разных классов. Выявлены достоинства и недостатки рассматриваемых конструктивных схем тандемных мостов. Определены направления совершенствования конструкции тандемных мостов.

**Ключевые слова:** тандемный мост, балансир тандемного моста, лесная машина, цепной привод, шестеренчатый привод, привод Робсона

**Ссылка для цитирования:** Горбачев А.В., Коростелев С.А., Ченских С.А., Колотилин В.Е., Кулепов В.Ф. Конструктивные особенности тандемных мостов лесных машин // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 1. С. 62–83. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-1-62-83

Россия является мировым лидером по запасам древесины (около 23 %). Леса России занимают 1118,4 млн га, что составляет 69 % всей территории [1].

Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» определил задачу сохранения лесов, в том числе на основе их воспроизводства на всех участках, вырубленных и погибших лесных насаждений.

Фонд лесовосстановления в Российской Федерации, по данным Росстата, составляет 29,46 млн га. Работы по ежегодному лесовосстановлению проводятся на площади около 850 тыс. га., в том числе по искусственному лесовосстановлению — на площади около 180 тыс. га, а рубки ухода — на площади около 500 тыс. га [1, 2].

Для повышения эффективности устойчивого использования и воспроизводства лесных ресурсов Российской Федерации требуется многофункциональный транспортно-технологический комплекс машин, обеспечивающий высокую механизацию лесохозяйственных мероприятий. В настоящее время при их про-

ведении преобладает колесная техника, в частности валочно-сучкорезно-раскряжевные машины (харвестеры) и сортиментоподборщики (форвардеры).

По сравнению с трелевочными машинами с гусеничным движителем колесные машины обладают следующими преимуществами:

- значительно уменьшают разрушение почвы благодаря перевозке леса полностью погруженным способом;
- способны преодолевать сложный рельеф, что позволяет выполнять транспортировку древесины из труднодоступных участков леса;
- обеспечивают эффективную работу независимо от габаритов лесоматериалов;
- характеризуются высокой эффективностью сбора и транспортировки лесосечного мусора;
- обладают широким диапазоном скорости и лучшей маневренностью;
- способны доставлять груз по дорогам общего пользования, что значительно снижает затраты на логистику;
- обладают меньшей металлоемкостью и, как следствие, меньшей стоимостью производства.

подавляющее большинство современных колесных лесных машин имеют двухзвенную конструкцию с шарнирно-сочлененной рамой



**Рис. 1.** Погрузочно-транспортные машины: *а* — колесная схема 4×4 (Амкодор-2641); *б* — колесная схема 6×6 (Амкодор-2661-01); *в* — колесная схема 8×8 (Амкодор-2682-01); *г* — двухзвенная компоновочная схема (Беларус МПТ 461.1)

**Fig. 1.** Load-haul-dump machines: *a* — 4×4 wheeled scheme (Amkodor-2641); *б* — 6×6 wheeled scheme (Amkodor-2661-01); *в* — 8×8 wheeled scheme (Amkodor-2682-01); *г* — two-link layout (Belarus MPT 461.1)

и колесную схему 4×4, 6×6 и 8×8. Также встречаются сортиментоподборщики, выполненные по прицепному варианту, у которых в качестве энергетического модуля выступает сельскохозяйственный колесный трактор, а технологический модуль, содержащий манипулятор и погрузочную платформу, выполнен в виде прицепа (рис. 1).

В конструкции ходовой части колесных лесозаготовительных и лесохозяйственных машин широко применяются мосты тандемного типа, обладающие высокой несущей способностью, что позволяет существенно повысить их технико-экономические показатели.

Конструктивные особенности тандемных мостов в совокупности с двухзвенной несущей системой лесных машин обеспечивают необходимый дорожный просвет при движении по сложному рельефу и постоянный контакт ведущих колес с опорной поверхностью, что позволяет обеспечить высокое тяговое усилие. Обтекаемая форма балансира тандемного моста обеспечивает меньшее сопротивление при движении машины по заболоченной местности.

К одному из основных недостатков конструкции тандемного моста относится появ-

ление реактивного момента на балансирах, что приводит к перераспределению нормальных реакций под колесами балансира и изменению максимальной касательной силы тяги по условию сцепления с почвой, а также вызывает циркуляцию паразитной мощности.

## Цель работы

Цель работы — анализ особенностей конструкций тандемных мостов, применяемых при создании лесохозяйственных и лесозаготовительных машин разных классов.

## Материалы и методы

Анализ конструкций тандемных мостов лесных машин проведен на основании обзора специальной литературы, представленной в свободных источниках информации, доступных данных на сайтах производителей лесных машин и инструкций по эксплуатации лесных машин, а также в результате исследования патентной базы и научной литературы по соответствующей тематике.

Т а б л и ц а 1

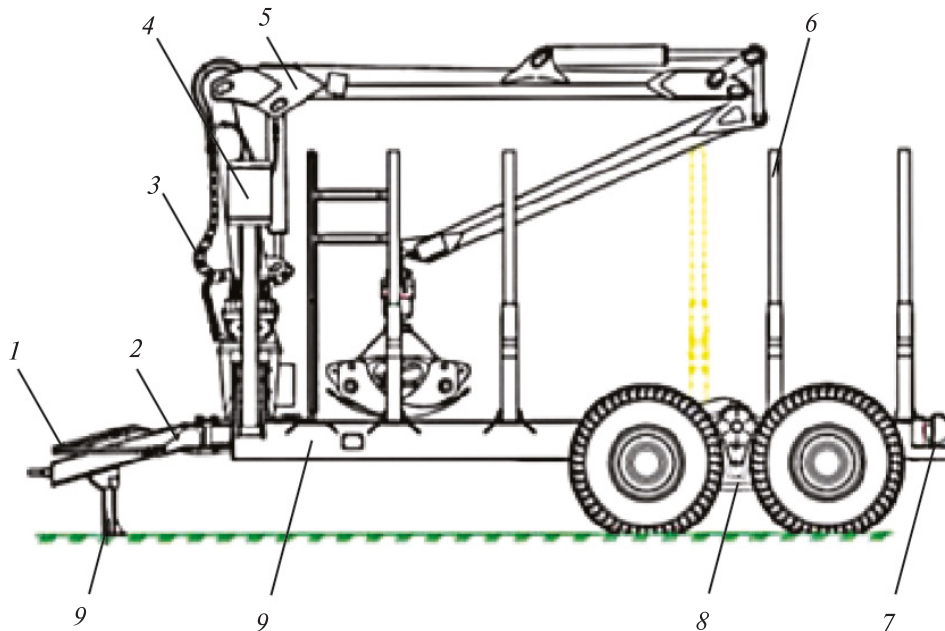
**Классификация колесных харвестерных машин**  
**Classification of wheeled harvester machines**

Класс машин	Назначение	Масса, кг	Мощность, кВт	Максимальный диаметр спиливаемого дерева, см
Легкий	Для прореживания	До 13 000	До 130	До 450
Средний	Для выборочных и сплошных рубок	13 000...16 000	110...150	До 600
Тяжелый	Для сплошных рубок	Свыше 16 000	Свыше 150	До 800

Т а б л и ц а 2

**Классификация форвардеров**  
**Classification of forwarders**

Класс	Назначение	Мощность, кВт	Грузоподъемность, т	Масса, т	Колесная формула
Легкие	Для прореживания	До 110	До 12	До 12	4×4; 6×6; 8×8
Средние	Для выборочных и сплошных рубок	От 110 до 150	От 12 до 15	От 12 до 16	6×6; 8×8
Тяжелые	Для сплошных рубок	Свыше 150	Свыше 15	Свыше 16	8×8; 10×10



**Рис. 2.** Полуприцеп многофункциональный ПМ-10: 1 — гидросистема дышла; 2 — гидроруляемое дышло; 3 — гидросистема манипулятора; 4 — аутригеры гидро-манипулятора; 5 — манипулятор с грейферным захватом; 6 — коники; 7 — электрооборудование полуприцепа; 8 — фрикционный ролик; 9 — рама; 10 — опора

**Fig. 2.** Multifunctional semi-trailer PM-10: 1 — hydraulic system of drawbar; 2 — hydraulically controlled drawbar; 3 — hydraulic system of manipulator; 4 — hydromanipulator outriggers; 5 — manipulator with grapple; 6 — cones; 7 — electrical equipment of the semi-trailer; 8 — friction roller; 9 — frame; 10 — support

**Классификация лесных машин.** В последнее время в Российской Федерации механизированный вариант заготовки древесины с использованием ручного труда уступает место машинной заготовке по так называемой скандинавской технологии, предусматривающей выполнение большей части технологических операций непосредственно на месте [3–7].

Применение скандинавской технологии предусматривает использование машинных комплексов, состоящих, как правило, из двух колесных машин — харвестера (валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины) и форвардера (сортиментоподборщика) для трелевки получаемых сортиментов на погрузочный пункт.

Также скандинавский вариант трелевки древесины форвардером в полностью погруженном положении широко применяется и при механизированном варианте заготовки древесины.

Отсюда напрашивается вывод о том, что в настоящее время в России трелевочные операции выполняются преимущественно форвардерами, имеющими колесный движитель [8–14].

В соответствии с техническими характеристиками колесные лесозаготовительные и лесотранспортные машины условно можно подразделить на три класса. Так, в работе «Технология и машины лесосечных работ» [15] д-р техн. наук В.И. Пятакин предлагает классифицировать колесные харвестеры следующим образом (табл. 1).

К наиболее многочисленному по количеству представленных моделей относится средний класс, составляющий примерно 40 % общего количества колесных лесосечных машин, предназначенных для выполнения выборочных и сплошных рубок лесоматериала со средним объемом ствола. Большинство машин этого класса имеют повышенные устойчивость и маневренность и могут работать в насаждениях, расположенных на участках с различной сложностью рельефа.

Харвестеры легкого класса массой до 13 т, предназначенные для проведения практически всех видов рубок ухода, составляют примерно 32 % общей численности машин такого типа. Они обладают хорошей габаритной проходимостью и повышенной маневренностью в условиях густых насаждений.

На долю харвестеров тяжелого класса, предназначенных для использования в крупных древостоях при крупномасштабных заготовках леса, приходится 28 % общей численности лесосечных машин [16–21].

Форвардеры обычно работают совместно с харвестерами, составляя лесозаготовительный машинный комплекс, в связи с чем в зависимости

от технических характеристик так же как и харвестеры подразделяются на три класса — легкий, средний и тяжелый (табл. 2).

Модели форвардеров (46 %) относятся преимущественно к классу средних. Эти универсальные машины используются как при рубках ухода, так и при рубках спелого леса. Тяговое усилие форвардеров среднего класса достигает 130...180 кН.

Класс легких машин составляет 36 % относительно всех форвардеров. В основном это модели, предназначенные для проведения всех видов рубок ухода, которые можно использовать и при сплошных малообъемных рубках древостоев с небольшим объемом стволов. Грузоподъемность форвардеров этого класса составляет 9...12 т, максимальное тяговое усилие — 120...150 кН.

К классу тяжелых относятся 18 % моделей форвардеров. Это машины большой грузоподъемности, применяемые при сплошных рубках крупномерного леса. При минимальном количестве рейсов они в полном объеме выполняют производственную программу по вывозке древесины с лесосеки. Грузоподъемность таких машин составляет от 16 до 21 т, максимальное тяговое усилие — 180...230 кН.

Наряду с форвардерами при проведении рубок скандинавским способом широко применяются прицепные погрузочно-транспортные машины, созданные на базе колесных сельскохозяйственных тракторов и, как правило, двухосного прицепа, оснащенного гидроманипулятором (рис. 2).

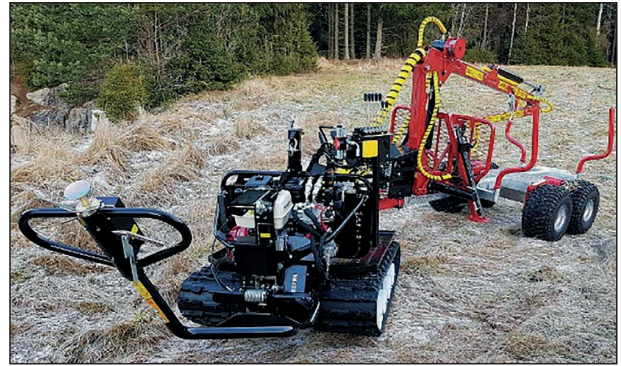
Существующие в настоящее время прицепные погрузочно-транспортные машины по конструктивным особенностям можно классифицировать следующим образом:

- по наличию гидросистем:
  - автономная;
  - общая;
- по наличию гидроуправляемого дышла:
  - с гидроуправлением;
  - без гидроуправления;
- по наличию аутригеров:
  - с аутригерами;
  - без аутригеров;
- по месту установки гидроманипулятора:
  - на платформе прицепа;
  - на раме трактора;
- по наличию привода осей прицепа:
  - без привода;
  - с активным приводом.

Наряду с перечисленными типами лесных машин в настоящее время при проведении работ, связанных с малообъемными рубками ухода, работами по осветлению, а также с



*a*



*б*



*в*

**Рис. 3.** Малогабаритные лесные машины: *a* — форвардер на базе мини-трактора и прицепа; *б* — пешеходно-управляемая мини-машина; *в* — форвардер на базе мотозвездехода и прицепа  
**Fig. 3.** Small-sized forestry machines: *a* — forwarder based on a mini-tractor and trailer; *б* — pedestrian-controlled mini-machine; *в* — forwarder based on a motorbike and trailer



**Рис. 4.** Мини-форвардер Alstor 821  
**Fig. 4.** Alstor 821 mini forwarder

работами в труднодоступных участках лесного массива при соблюдении экологических лесоводственных требований применяют колесные малогабаритные лесные машины следующих типов:

- колесные лесные машины на базе мини-трактора и прицепа;
- колесные лесные машины на базе мотовездеходов и прицепа;
- пешеходно-управляемые мини-машины.

Малогабаритные форвардерные машины, состоящие из мини-трактора и прицепа, соединенных шарнирно управляемым устройством, производят компании Vimek AB и Alstor AB (рис. 3) [22].

В конструкции ходовой части всех указанных выше лесосечных и лесотранспортных машин с колесными формулами 6×6 и 8×8, а также прицепных погрузочно-транспортных машин и малогабаритных колесных лесных машин широкое применение нашли балансиры (тандемные) мосты. Такая общность конструкции ходовой части лесных машин, относящихся к разным типам и классам, продиктована стремлением обеспечить максимальные тяговые показатели колесных движителей, при этом обеспечивая минимальное разрушительное воздействие на почву. Применяемые на лесных машинах разных классов тандемные мосты похожи по своей концепции, однако имеют существенные конструктивные отличия, в зависимости от массы машины, ее мощности и назначения. Несмотря на широкое применение тандемных мостов при производстве существующих и проектировании перспективных конструкций лесных машин, на сегодняшний день нет единой методики выбора конструктивных параметров тандемных мостов, которые были бы разработаны с учетом технических характеристик машин и условий эксплуатации.

**Конструкции тандемных мостов.** Помимо общих требований, связанных с обеспечением необходимой силы тяги, плавности хода, минимального сопротивления движению, высокой проходимости, устойчивости и требуемой скорости движения машины, а также надежности и удобства эксплуатации, к колесным движителям лесных машин предъявляются требования, заключающиеся в обеспечении минимального уплотнения почвы при многократных движениях по лесосеке. С учетом данного требования лесные машины, как правило, имеют многоосную компоновку ходовой части с применением ведущих мостов балансирующего типа, что в совокупности с двухзвенной несущей системой позволяет обеспечить постоянный контакт колес с опорной поверхностью и, как следствие, более

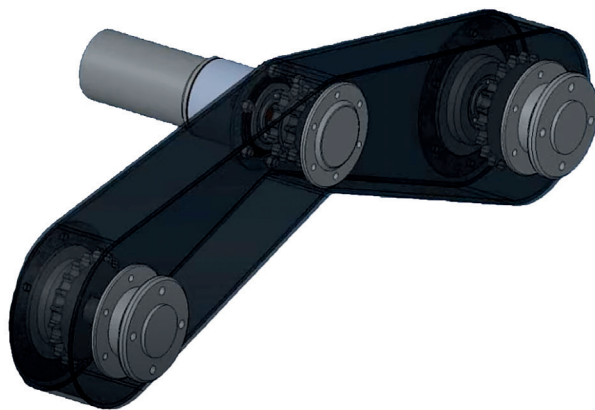


Рис. 5. Балансир тандемного моста

Fig. 5. Tandem axle balancer

равномерное распределение массы машины по опорной поверхности.

Согласно работе [3], классификацию существующих балансирующих мостов можно представить следующим образом:

по типу привода колес:

- цепной привод;
- шестеренчатый привод;
- привод «Робсона»;

по наличию эксцентриситета:

- с эксцентриситетом;
- без эксцентриситета.

В зависимости от расстояния от вертикальной плоскости, проходящей через ось вращения балансира, до плоскости, проходящей через ось вращения колеса:

- симметричный;
- не симметричный;

**Тандемные мосты с цепным приводом.** Несмотря на достоинства цепных передач, позволяющие обеспечить большие межосевые расстояния, отсутствие проскальзывания, допускающие неточное расположение валов, а также простоту конструкции и доступность реализации тандемного моста с цепным приводом, данное решение нашло применение при производстве примерно 10 % лесных машин [23, 24]. Это связано с ограничением передаваемой мощности до 100 кВт и окружной скорости цепи до  $\leq 35$  м/с, а также с конструктивными особенностями цепной передачи, вызывающими неравномерность угловой скорости привода ввиду звенчатости цепи, и необходимостью периодической регулировки натяжения и смазывания цепи. Такой тип привода нашел применение лишь в конструкции ходовой части малогабаритных лесных машин, наиболее яркими представителями которых являются машины компании Alstor (рис. 4).

Балансир тандемного моста представляет собой полую стальную конструкцию в виде дву-

плеча рычага. Внутри балансира установлено две цепные передачи, каждая из которых приводит свое колесо (рис. 5). Как правило, тандемные мосты с цепным приводом являются симметричными, т. е. расстояние от вертикальной плоскости, проходящей через ось балансира, до вертикальных плоскостей, проходящих через оси первого и второго по ходу движения колеса равны, опорно-поворотный узел выполнен в виде консольной втулки, закрепленной на корпусе балансира. Отличительной особенностью тандемных мостов с цепным приводом по сравнению с шестеренчатыми тандемными мостами является меньшая неподдрессоренная масса, однако в процессе работы лесной машины в приводных цепях могут возникать пиковые значения растягивающих усилий, близких к максимально допустимым.

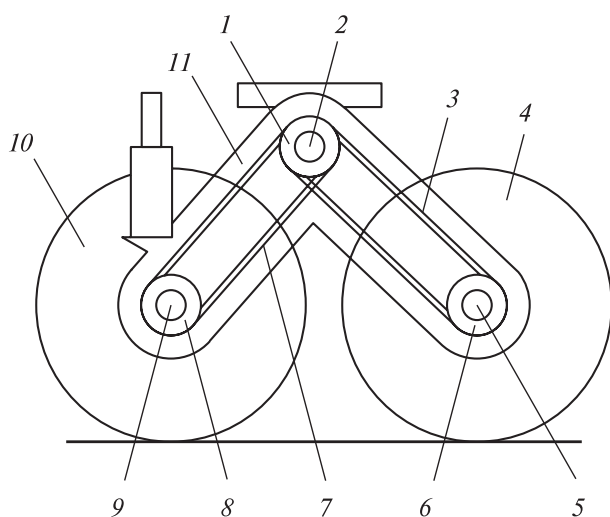


Рис. 6. Симметричная тандемная тележка с цепным приводом

Fig. 6. Symmetrical chain-driven tandem carriage

Проблему можно решить применением колесных редукторов (патент RU114292U1) [25]. Вид предлагаемой конструкции тандемного моста представлен на рис. 6.

Рассматриваемая балансирующая тележка включает в себя балансиры 11, в каждом из которых размещен входной вал 2, связанный с главной передачей, и два выходных вала 5 и 9 для привода колес 4, 10. Выходные валы связаны с входным валом 2 цепными передачами 3, 7 через звездочки 1, 6, 8. Цепь регулируется подпружиненным механизмом натяжения (на рис. 6 не показан).

Эксцентриситет в данной конструкции обеспечивает большой дорожный просвет, что увеличивает проходимость транспортного средства.

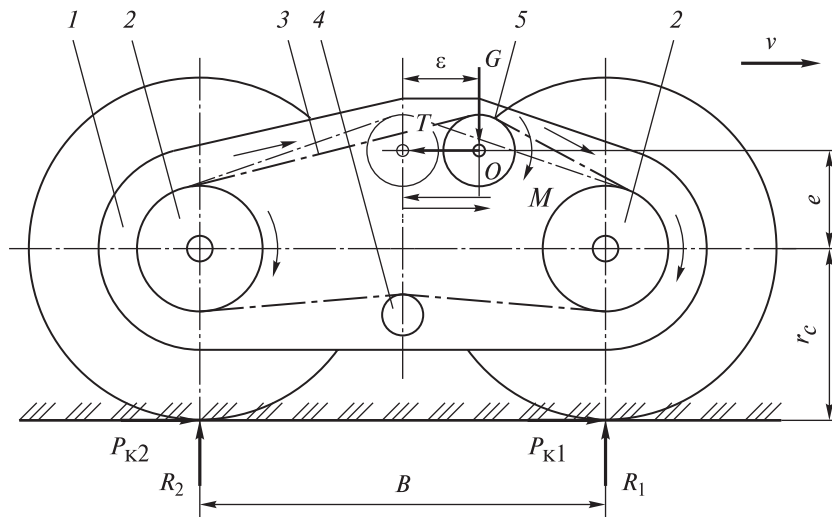
К недостаткам рассмотренной конструкции тандемного моста относится перераспределение вертикальных реакций опор от реактивного момента, действующего на корпус балансира, и, как следствие, снижение максимального тягового усилия на ведущих колесах, ухудшение проходимости и появление циркуляции паразитной мощности в механизмах привода колес. Анализ существующих конструкций тандемных мостов с цепным приводом, а также патентной базы по соответствующей теме показал, что частично компенсировать перераспределение нормальных реакций под колесами машины позволит использование несимметричных тандемных мостов. Один из возможных вариантов несимметричного тандемного моста с цепным приводом (патент RU2749429) [26] представлен на рис. 7.

Рассматриваемая балансирующая тележка включает в себя корпус 1 балансира, который содержит цепной привод с центральной ведущей звездочкой 5 и звездочками ведущих колес 2, при этом все звездочки соединены единой приводной цепью 3. Центральная ведущая звездочка 5 выполнена с возможностью перемещения относительно балансира в сторону переднего, менее нагруженного, колеса по горизонтали. Натяжение цепи обеспечивается регулировочной звездочкой 4.

За счет подвижной ведущей звездочки совместно с точкой подвеса балансира возможно бесступенчатое изменение смещения оси подвеса балансира, т. е. обеспечение равенства вертикальных реакций на передние и задние ведущие колеса при любых режимах работы.

Такое решение позволит исключить влияние циркуляции паразитной мощности, однако приведет к существенному усложнению конструкции тандемного моста.

**Тандемные тележки с шестеренчатым приводом.** В отличие от рассмотренных выше цепных передач зубчатые передачи обладают большей нагрузочной способностью и надежностью, имеют высокий КПД, способны работать при окружных скоростях до 1275 м/с и обеспечивать высокие значения передаточных чисел. При этом относительно просты в обслуживании и обеспечивают малые нагрузки на валы и опоры. В связи с чем, несмотря на высокие требования к точности изготовления, а также значительную металлоемкость и, как следствие, большую массу при увеличении межосевых расстояний, нашли широкое применение при проектировании и производстве более 70 % тандемных мостов лесных машин, относящихся как к легкому, так к среднему и тяжелому классам [8].



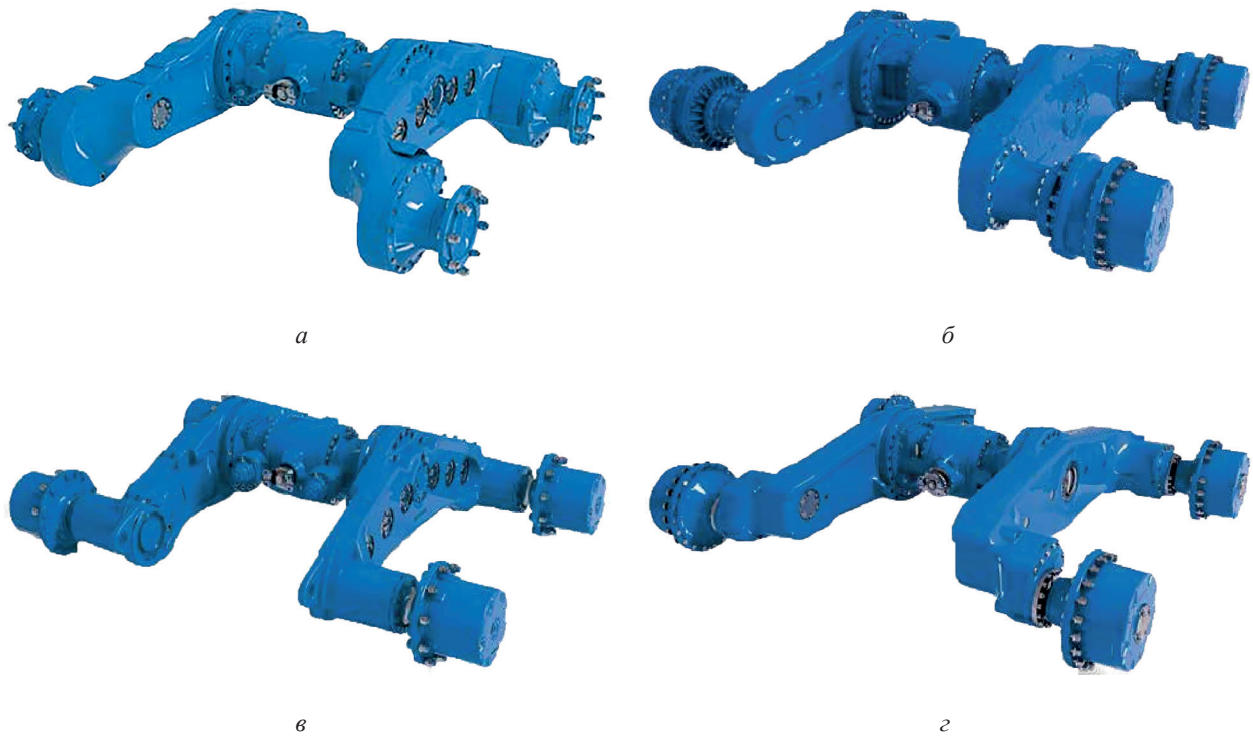
**Рис. 7.** Несимметричная тандемная тележка с цепным приводом: 1 — корпус балансирующего привода; 2 — звездочки ведущих колес; 3 — приводная цепь; 4 — натяжная (регулирующая) звездочка цепного привода балансира; 5 — центральная ведущая звездочка цепного привода балансира;  $G$  — вертикальная нагрузка на шарнир балансира;  $P_{к1}, P_{к2}$  — окружные силы ведущих колес;  $R_1, R_2$  — вертикальные реакции опорной поверхности на ведущие колеса;  $T$  — горизонтальная нагрузка в шарнире балансира;  $M$  — крутящий момент подводимый к центральной ведущей звездочке цепного привода балансира;  $O$  — ось подвеса балансира;  $e$  — эксцентриситет балансира (расстояние между осью подвеса балансира  $O$  и осью ведущих колес);  $B$  — расстояние между центрами ведущих колес балансира;  $\varepsilon$  — смещения оси подвески балансира;  $r_c$  — силовой радиус колеса

**Fig. 7.** Unbalanced tandem carriage with chain drive: 1 — balancer drive housing; 2 — sprockets of driving wheels; 3 — drive chain; 4 — tensioning (adjusting) sprocket of the balancer chain drive; 5 — central driving sprocket of the balancer chain drive;  $G$  — vertical load on the balancer joint;  $P_{к1}, P_{к2}$  — circumferential forces of driving wheels;  $R_1, R_2$  — vertical reactions of the supporting surface on driving wheels;  $T$  — horizontal load in the balancer joint;  $M$  — torque applied to the central driving sprocket of the balancer chain drive;  $O$  — balancer suspension axis;  $e$  — balancer eccentricity (distance between the balancer suspension axis  $O$  and the axis of the driving wheels);  $B$  — distance between the centres of the driving wheels of the balancer;  $\varepsilon$  — displacements of the balancer suspension axis;  $r_c$  - power radius of the wheel

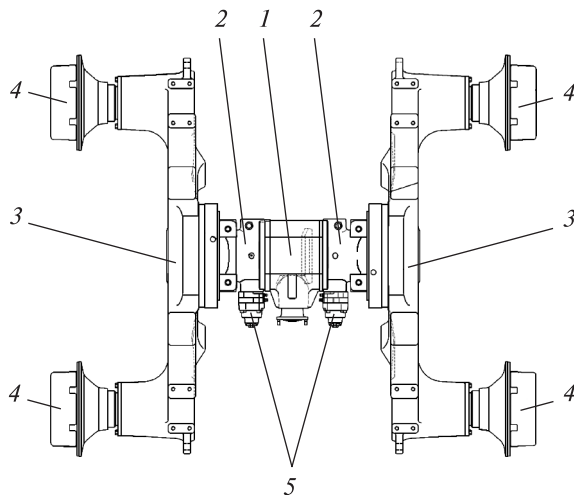


**Рис. 8.** Балансирная тележка фирмы NAF AG  
**Fig. 8.** Balancing carriage made by NAF AG





**Рис. 9.** Семейство tandemных мостов NAF AG: *a* — порталные tandemные мосты; *б* — планетарные tandemные мосты; *в* — планетарные tandemные мосты с возвышением; *г* — планетарные порталные tandemные мосты  
**Fig. 9.** NAF AG family of tandem axles: *a* — portal tandem axles; *б* — planetary tandem axles; *в* — planetary tandem axles with elevation; *г* — planetary portal tandem axles



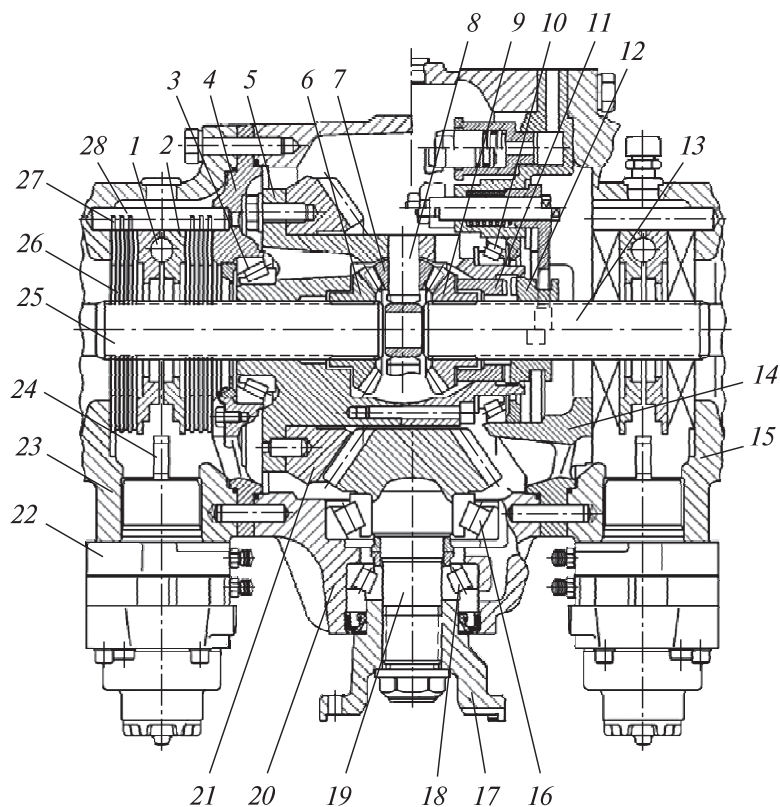
**Рис. 10.** Задний tandemный мост АМК-03 АМКОДОР 2661-01: *1* — картер центральной передачи и межколесного дифференциала; *2* — балка; *3* — корпус балансира; *4* — картер планетарного редуктора; *5* — пружинный энергоаккумулятор  
**Fig. 10.** Rear tandem axle АМК-03 АМКОДОР 2661-01: *1* — crankcase of centre gear and inter wheel differential; *2* — cross bar; *3* — balancer housing; *4* — crankcase of planetary reducer; *5* — spring energy accumulator

В настоящее время мировым лидером в производстве tandemных мостов с шестеренчатым приводом колес является немецкая компания NAF AG, которая продвигает модульную конструкцию tandemных мостов (рис. 8).

К особенностям таких tandemных мостов относятся следующие:

- увеличенный эксцентриситет для обеспечения необходимого клиренса;
- увеличенный угол качания балансира для улучшения проходимости;
- наличие блокировки дифференциала;
- наличие в центральном корпусе моста системы постоянной балансировки tandemа — PBBS, запатентованной фирмой NAF AG;
- наличие в центральном корпусе моста тормозных механизмов, работающих в масле;
- изготовленные методом литья корпусные детали tandemного моста, в том числе балансиры.

Модульный принцип, заложенный в конструкцию tandemных мостов компании NAF AG, позволяет, имея фиксированный набор серийно производимых компонентов, получить широкую линейку ведущих мостов с различными характеристиками (рис. 9). Кроме того, модульная конструкция значительно



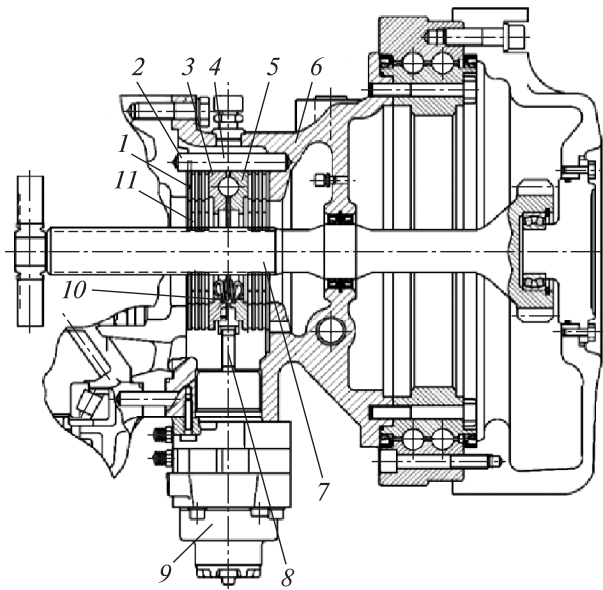
**Рис. 11.** Центральная передача тандемного моста АМК-03: 1 — шарик; 2 — нажимной диск; 3, 10, 16, 18 — подшипниковая опора; 4, 14 — крышка картера центральной передачи; 5 — корпус межколесного дифференциала; 6, 7 — сателлит; 8 — крестовина сателлита; 9 — зубчатое колесо полуоси; 11 — зубчатая муфта; 12 — муфта блокировки; 13, 25 — полуось; 15, 23 — балка тандемного моста; 17 — фланец центральной передачи; 19 — ведущий вал-шестерня центральной передачи; 20 — картер центральной передачи; 21 — ведомое колесо центральной передачи; 22 — пружинный энергоаккумулятор; 24 — клиновидный шток; 26 — подвижный тормозной диск; 27 — неподвижный тормозной диск; 28 — палец тормозного механизма

**Fig. 11.** Centre gear of AMK-03 tandem axle: 1 — ball; 2 — pressure plate; 3, 10, 16, 18 — bearing support; 4, 14 — cover of the central gear cage; 5 — inter wheel differential housing; 6, 7 — satellite; 8 — satellite cross; 9 — gear wheel of the semi-axle; 11 — gear clutch; 12 — locking clutch; 13, 25 — semi-axle; 15, 23 — beam of the tandem axle; 17 — flange of the central gear; 19 — driving shaft-pinion of the central gear; 20 — crankcase of the central gear; 21 — idler wheel of the central gear; 22 — spring energy accumulator; 24 — wedge-shaped rod; 26 — movable brake disc; 27 — fixed brake disc; 28 — pin of the brake mechanism

упрощает ремонт и техническое обслуживание, сокращая общее время простоя машины, позволяет проводить модернизацию отдельных элементов ведущего моста, не меняя конструкцию в целом [27, 28].

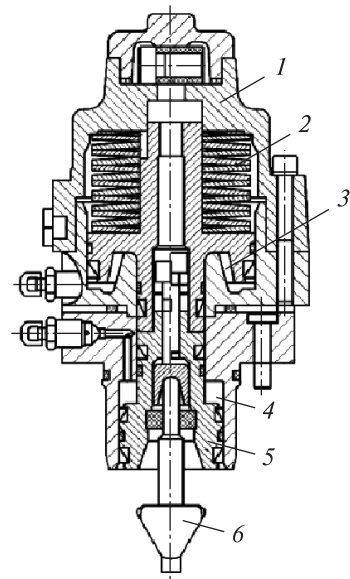
Рассмотрим планетарный тандемный мост с возвышением NAF АМК-03, используемый на форвардере АМКОДОР 2661-01 (рис. 10). К особенностям его конструкции относятся

следующие: механизм блокировки межколесного дифференциала с одинарной конической центральной передачей; комбинированная конечная передача, состоящая из рядовой цилиндрической зубчатой передачи (далее «гитара») и одинарного планетарного редуктора 4; многодисковый тормозной механизм, с пружинным энергоаккумулятором 5, работающий в масле.



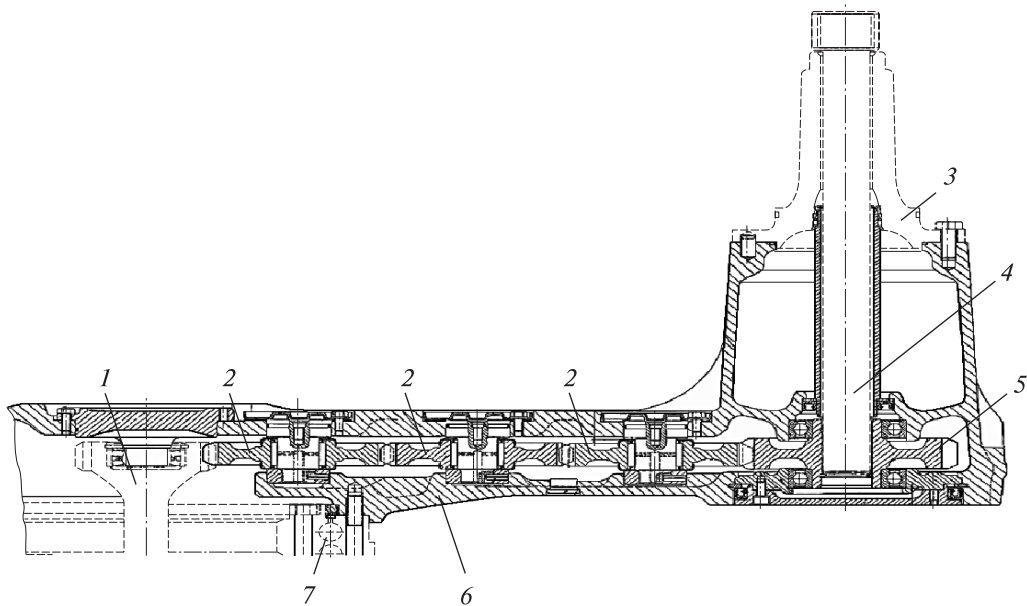
**Рис. 12.** Тормозной механизм tandemного моста АМК-03: 1, 11 — фрикционные диски; 2 — палец тормозного механизма; 3, 5 — нажимные диски; 4 — шарик; 6 — балка; 7 — полуось центральной передачи; 8 — клиновидный шток; 9 — пружинный энергоаккумулятор; 10 — возвратная пружина

**Fig. 12.** Braking mechanism of tandem axle АМК-03: 1, 11 — friction discs; 2 — brake mechanism pin; 3, 5 — pressure discs; 4 — ball; 6 — beam; 7 — central gear axle; 8 — wedge-shaped rod; 9 — spring energy accumulator; 10 — return spring



**Рис. 13.** Пружинный энергоаккумулятор: 1 — корпус пружинного энергоаккумулятора; 2 — пакет мембранных пружин; 3 — полость выключения тормозного механизма; 4 — полость включения тормозного механизма; 5 — рабочий поршень; 6 — клиновидный шток

**Fig. 13.** Spring brake: 1 — spring brake body; 2 — diaphragm spring package; 3 — brake mechanism switching-off cavity; 4 — brake mechanism switching-on cavity; 5 — working piston; 6 — wedge-shaped rod



**Рис. 14.** «Гитара» tandemного моста АМК-03: 1 — полуось центральной передачи; 2 — паразитные зубчатые колеса «гитары»; 3 — цапфа; 4 — выходной вал «гитары»; 5 — ведомое зубчатое колесо гитары; 6 — картер «гитары»; 7 — шарнирное сочленение

**Fig. 14.** «Guitar» of the tandem axle АМК-03: 1 — half axle of the central transmission; 2 — parasitic gear wheels of the «guitar»; 3 — trunnion; 4 — output shaft of the «guitar»; 5 — idler gear wheel of the guitar; 6 — crankcase of the «guitar»; 7 — articulated joint

Центральная передача с межколесным дифференциалом тандемного моста NAF AMK-03 установлена внутри картера центральной передачи 1 соединенного с корпусом балансира 3 посредством балок 2 (см. рис. 10). Центральная передача заднего моста AMK-03 (рис. 11) содержит ведущий вал-шестерню центральной передачи 19, установленную на подшипниковых опорах 16, 18 в картере центральной передачи 20 и находящуюся в зацеплении с ведомым колесом центральной передачи 21, жестко соединенным с помощью болтов с корпусом межколесного дифференциала 5, смонтированным в крышках картера центральной передачи 4, 14 на подшипниковых опорах 3 и 10. Межколесный дифференциал моста AMK-03 симметричный конический с механизмом принудительной блокировки зубчатой муфтой с гидравлическим приводом [29, 30].

Многодисковый тормозной механизм (рис. 12), установленный в балках 2, соединяющих картер центральной передачи моста AMK-03 с корпусом балансира (см. рис. 10) работает в масле.

Тормозной механизм приводится в действие пружиной 2, расположенной в корпусе 1 энергоаккумулятора (рис. 13), его разблокировка осуществляется под действием гидравлического давления в полости выключения тормозного механизма 3. При отсутствии давления в гидравлической системе тормоза остаются включенными. Клиновидный шток привода тормозного механизма 8, двигаясь под действием пружинного энергоаккумулятора 9, вращает нажимные диски 3 и 5 в противоположные стороны, при этом шарики 4 выкатываются из наклонных лунок и раздвигают нажимные диски 3, 5 в осевом направлении, сжимая пакет фрикционных дисков 1 и 11. Половина фрикционных дисков связана с полуосью центральной передачи 7 с помощью шлицевого соединения, а вторая половина зафиксирована от поворота внутри балки 6 тандемного моста с помощью четырех цилиндрических пальцев 2. При возвращении клиновидного штока в исходное положение нажимные диски 3 и 5 стягиваются пружиной, освобождая фрикционные диски (см. рис 12).

Комбинированная конечная передача тандемного моста AMK-03 состоит из рядовой цилиндрической зубчатой передачи («гитары») (рис. 14) и одинарного планетарного колесного редуктора (рис. 15).

Изготовленный методом литья картер «гитары» 6 (см. рис. 15) установлен на балке с использованием двухрядного подшипника тандема 7. Полуось центральной передачи 1, выполненная заодно с ведущей шестерней

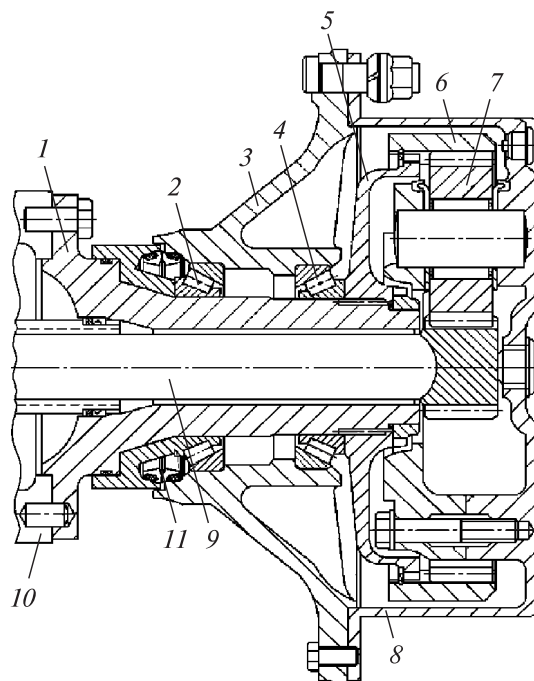


Рис. 15. Планетарный редуктор конечной передачи моста AMK-03: 1 — цапфа; 2, 4 — ступичные подшипниковые опоры; 3 — картер планетарного редуктора; 5 — шлицевая втулка; 6 — эпициклическое колесо; 7 — спутник; 8 — водило; 9 — выходной вал гитары; 10 — картер гитары; 11 — уплотнение конечной передачи

Fig. 15. Planetary reducer of final gear of AMK-03 axel: 1 — trunnion; 2, 4 — hub bearing supports; 3 — planetary reducer crankcase; 5 — splined bushing; 6 — epicyclic wheel; 7 — satellite; 8 — spider; 9 — guitar output shaft; 10 — guitar crankcase; 11 — final gear seal

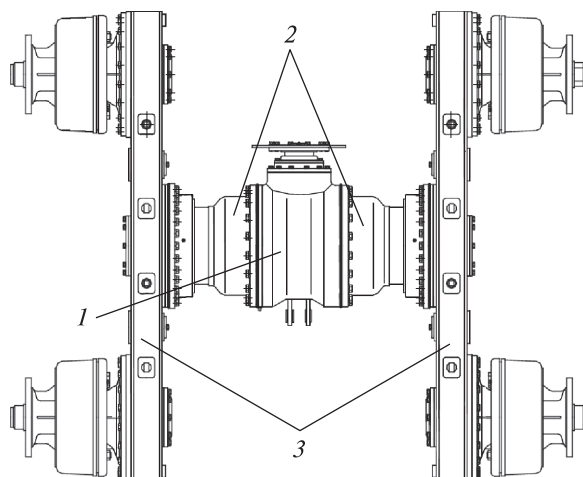
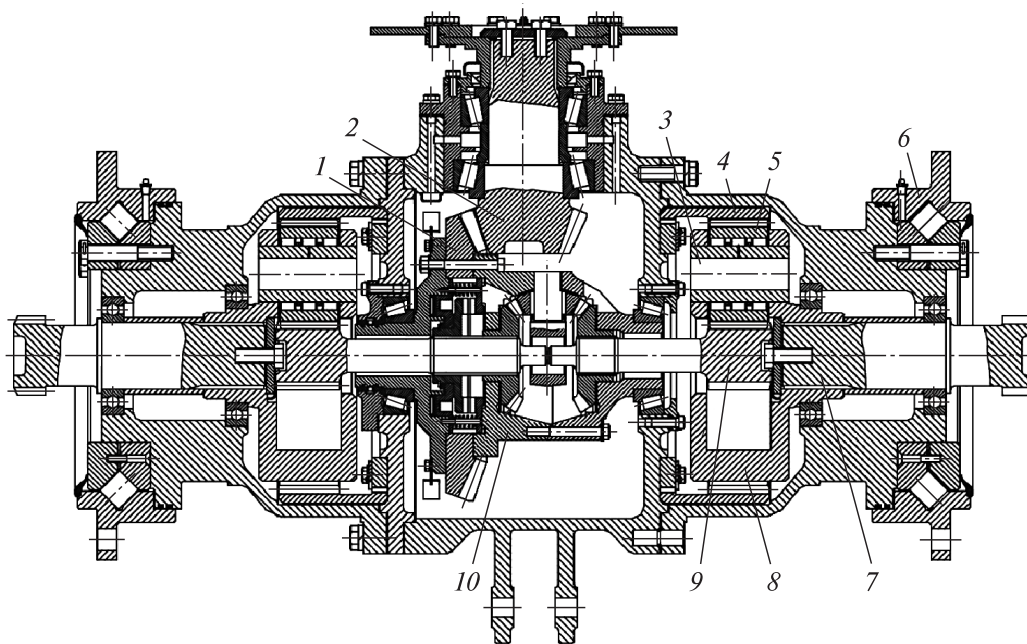


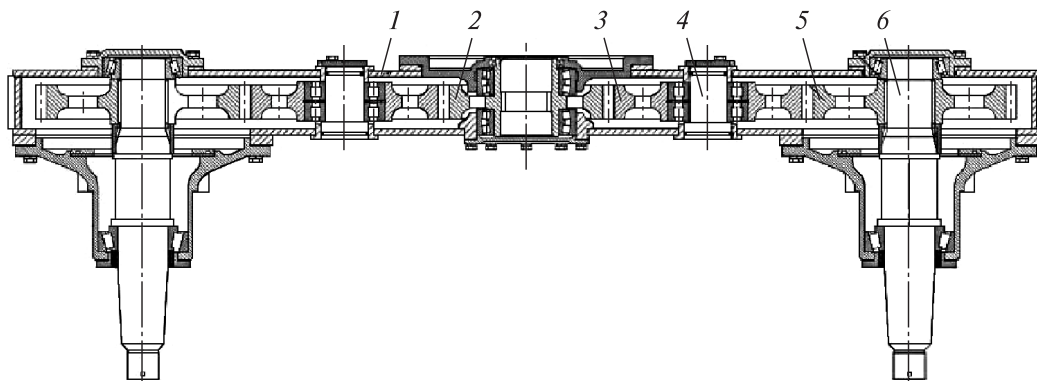
Рис. 16. Тандемная тележка МТЗ МЛ-131: 1 — редуктор; 2 — рукава; 3 — балансиры

Fig. 16. Tandem carrier MTZ ML-131: 1 — reducer; 2 — arms; 3 — balancers



**Рис. 17.** Редуктор заднего моста лесной машины МТЗ МЛ-131: 1 — ведомая шестерня; 2 — ведущая шестерня; 3 — ось сателлита; 4 — коронная шестерня; 5 — сателлит; 6 — фланец; 7 — полуось; 8 — водило; 9 — вал-шестерня; 10 — корпус дифференциала

**Fig. 17.** Rear axel reducer of MTZ ML-131 forest machine: 1 — driven gear; 2 — driving gear; 3 — satellite axle; 4 — crown gear; 5 — satellite; 6 — flange; 7 — semi-axle; 8 — driver; 9 — pinion shaft; 10 — differential housing

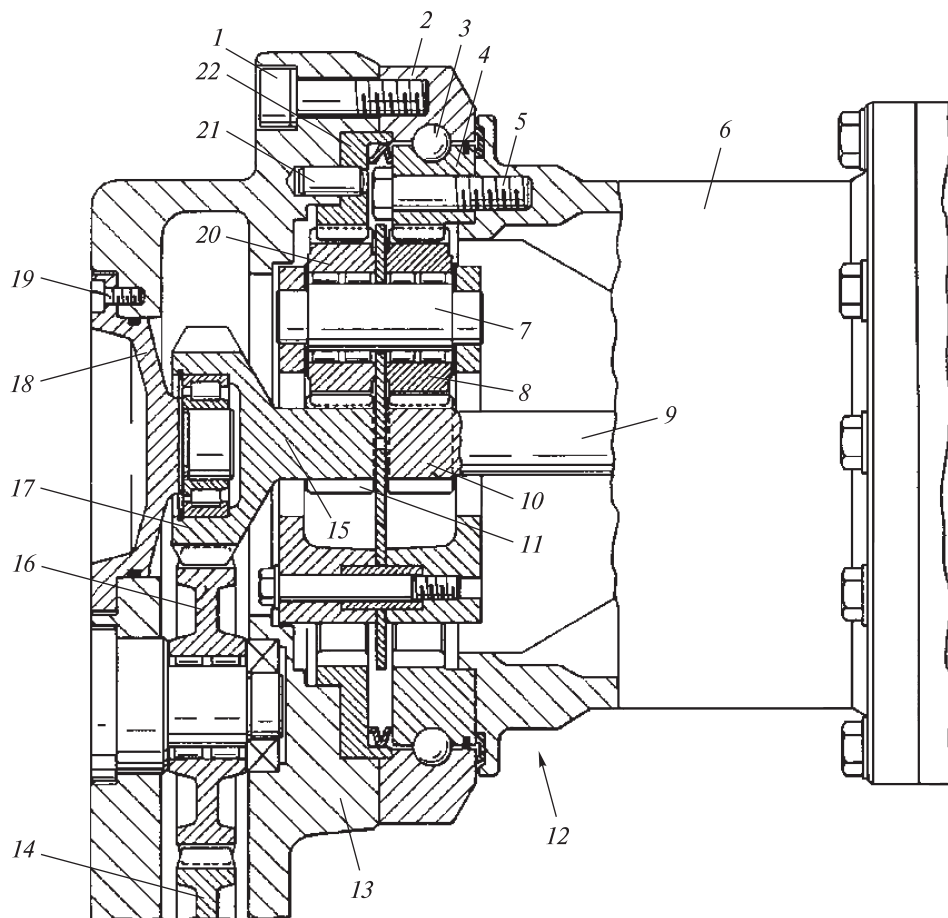


**Рис. 18.** «Гитара» заднего моста МЛ-131: 1 — корпус «гитары»; 2 — ведущая шестерня; 3 — промежуточная шестерня; 4 — ось; 5 — шестерня ведомая; 6 — вал

**Fig. 18.** «Guitar» rear axel ML-131: 1 — housing «guitar»; 2 — drive pinion; 3 — intermediate pinion; 4 — axle; 5 — pinion driven; 6 — shaft

«гитары», входит в зацепление с паразитными зубчатыми колесами «гитары» 2 передающими крутящий момент на ведомые колеса «гитары» 5 установленные на шлицах выходного вала «гитары» 4. Цапфа 3 служит опорой для картера колесного планетарного редуктора и передает нагрузки от колес машины на балансир и далее через подшипник тандема и балку на раму машины, выходные валы «гитары» 4 в данной конструкции разгружены [31, 32].

Задний ведущий мост МТЗ МЛ-131, выполненный в виде планетарной тандемной тележки (рис. 16) состоит из центрального редуктора 1, рукавов 2 и двух балансиров 3 [33–35]. Основное отличие данного тандемного моста от конструкции АМК-03 заключается в технологии изготовления балансиров 3 методом сварки, а также в отсутствии тормозных механизмов в корпусе моста и установке балансиров на рукавах 2 центральной части моста 1



**Рис. 19.** Система постоянной балансировки тандема: 1, 5, 19 — винт; 2 — наружная обойма подшипника тандема; 3 — шарик; 4 — коронная шестерня первой планетарной передачи; 6 — корпус тандемного моста; 7 — ось сателлитов; 8 — первая планетарная передача; 9 — вал приводной; 10 — солнечная шестерня первой планетарной передачи; 11 — солнечная шестерня второй планетарной передачи; 12 — солнечная шестерня второй планетарной передачи; 13 — планетарная передача; 14 — корпус балансира; 15, 16 — зубчатые колеса гитары тандемного моста; 17 — ведущая шестерня гитары тандемного моста; 18 — крышка; 20 — вторая планетарная передача; 21 — штифт; 22 — коронная шестерня второй планетарной передачи

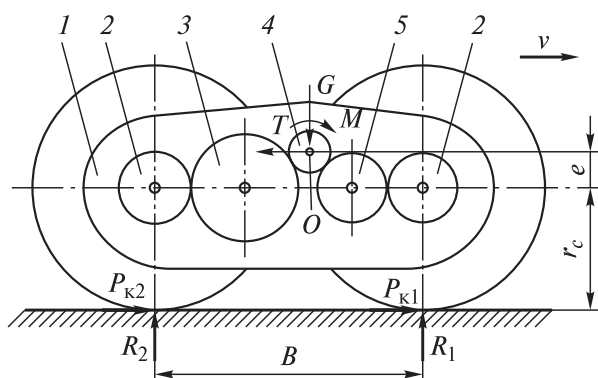
**Fig. 19.** Tandem permanent balancing system: 1, 5, 19 — screw; 2 — tandem bearing outer cage; 3 — ball; 4 — crown gear of the first planetary gear; 6 — tandem axle housing; 7 — satellite axel; 8 — first planetary gear; 9 — drive shaft; 10 — sun gear of the first planetary gear; 11 — sun gear of the second planetary gear; 12 — sun gear of the second planetary gear; 13 — planetary gear; 14 — balancer housing; 15, 16 — gear wheels of the tandem axel guitar; 17 — driving gear of the tandem axel guitar; 18 — cover; 20 — second planetary gear; 21 — pin; 22 — crown gear of the second planetary gear

посредством роликовых опорно-поворотных подшипников.

Рукав тандемного моста МТЗ МЛ-131 (рис. 17) включает в себя планетарную передачу, солнечная шестерня которой выполнена в виде вала-шестерни 9 и является ведущей. Коронная шестерня 4 связана с корпусом рукава и представляет собой неподвижное звено планетарной передачи. Водило 8 — это ведомое звено, установленное на шлицах полуоси 7, передаю-

щей крутящий момент на ведущую шестерню «гитары» 2 (рис. 18).

Корпус балансира моста МЛ-131 (см. рис. 18) имеет сварную конструкцию и установлен на фланце опорно-поворотного подшипника 6 (см. рис. 17), что позволяет ему качаться вокруг оси моста и обеспечивает необходимую артикуляцию подвески при движении машины по сложному рельефу. «Гитара» тандемного моста МЛ-131 состоит из передачи рядного



**Рис. 20.** Балансир несимметричной тележки с шестеренчатым приводом: 1 — корпус балансирующего привода; 2 — ведомые шестерни колес; 3, 5 — промежуточные шестерни; 4 — ведущая центральная шестерня; 6 — вертикальная нагрузка на шарнир балансира;  $P_{к1}$ ,  $P_{к2}$  — окружные силы ведущих колес;  $R_1$ ,  $R_2$  — вертикальные реакции опорной поверхности на ведущие колеса;  $T$  — горизонтальная нагрузка в шарнире балансира;  $M$  — крутящий момент подводимый к центральной ведущей звездочке цепного привода балансира;  $O$  — ось подвеса балансира;  $e$  — эксцентриситет балансира (расстояние между осью подвеса балансира  $O$  и осью ведущих колес);  $B$  — расстояние между центрами ведущих колес балансира;  $r_c$  — силовой радиус колеса

**Fig. 20.** Balancer of asymmetrical carriage with pinion drive: 1 — body of the balancer drive; 2 — idler pinions of wheels; 3, 5 — intermediate pinions; 4 — driving central pinion; 6 — vertical load on the balancer joint;  $P_{к1}$ ,  $P_{к2}$  — circumferential forces of the driving wheels;  $R_1$ ,  $R_2$  — vertical reactions of the supporting surface on the driving wheels;  $T$  — horizontal load in the balancer joint;  $M$  — torque applied to the central driving sprocket of the balancer chain drive;  $O$  — balancer suspension axis;  $e$  — balancer eccentricity (distance between the balancer suspension axis  $O$  and the axis of the driving wheels);  $B$  — distance between the centres of the driving wheels of the balancer;  $r_c$  — power radius of the wheel



**Рис. 21.** Активный привод Робсона  
**Fig. 21.** Robson active drive

типа, включающей в себя три шестерни, одна из которых является паразитным звеном (см. рис. 18).

В связи с тем что зубчатые колеса и шестерни «гитары» не испытывают осевых усилий, наибольшее распространение при производстве tandemных мостов для машин разных классов получили цилиндрические прямозубые передачи.

Рассмотренные конструкции tandemных мостов АМК-03 и МЛ-131, являются симметричными и не имеют устройств балансировки тандема, в связи с чем под действием реактивного момента в процессе движения машины происходит перераспределение нормальных реакций между передним и задним колесами балансира и, как следствие, возникает явление циркуляции паразитной мощности.

Для решения данной проблемы компания NAF AG применяет в своих tandemных мостах систему постоянной балансировки тандема РВВВ. Устройство и принцип работы данной системы описан в патенте EP 0 520 389 В1 (рис. 19) [36].

Данная система состоит из двух планетарных передач, сателлиты 8 и 20 которых имеют общую ось 7 и водило. Солнечная шестерня 10 первой относительно главной планетарной передачи выполнена заодно с полуосью 9, а коронная шестерня 4 посредством болтового соединения 5 жестко зафиксирована на корпусе моста 6. Солнечная шестерня второй планетарной передачи 11 выполнена заодно с ведущей шестерней «гитары» tandemного моста 12, коронная шестерня 21 жестко зафиксирована на корпусе балансира 14.

В процессе движения машины приводное усилие от ведущего вала 9 через солнечную шестерню 10 и сателлит 8 через общую ось 7 передается на сателлит 20 второй планетарной передачи и далее через солнечную шестерню 11 на ведущую шестерню «гитары» 17.

Данная конструкция позволяет компенсировать часть возникающего реактивного момента путем передачи его на корпус балансира и, как следствие, уменьшить эффект перераспределения нормальных реакций под передним и задним колесом балансира, однако не исключает влияние реактивного момента полностью.

Еще один вариант решения проблемы перераспределения нормальных реакций под колесами балансира предложен в патенте RU2727224C1 [37], в котором описана конструкция несимметричной балансирующей тележки с шестеренчатым приводом (рис. 20).

Привод работает следующим образом. Ведущая центральная шестерня 4, взаимодействуя с промежуточными шестернями 3 и 5, одна из



Рис. 22. Форвардер Vimek 610 на базе мини-трактора и прицепа  
 Fig. 22. Vimek 610 forwarder based on mini-tractor and trailer



*a*



*b*

Рис. 23. Активный привод Робсона: *a* — ролик соосный шарниру балансира; *b* — ролик с изменяемым положением оси

Fig. 23. Robson active drive: *a* — roller coaxial to the balancer joint; *b* — roller with variable axis position

которых (3) имеет больший диаметр в отличие от другой (5), передает вращение ведомым шестерням 2 колес.

При таком варианте конструкции обеспечивается равная угловая скорость ведущих колес балансирной тележки, а также за счет исполнения промежуточной шестерни переднего колеса меньшего размера, чем заднего и смещения оси подвеса балансира происходит выравнивание нормальных реакций  $R_1$  и  $R_2$ . Однако учитывая, что координаты центральной ведущей шестерни фиксированы, эффективность данной конструкции ограничена и не позволяет полностью решить проблему перераспределения нормальных реакций.

**Тандемные тележки с приводом Робсона.** Привод Робсона обеспечивает передачу крутящего момента к ведущим колесам посредством цилиндрического фрикционного или зубчатого ролика. В производстве лесных машин применяется активный привод Робсона, при котором ролик находится в постоянном зубчатом зацеплении с протектором колес, передавая крутящий момент от двигателя сразу на оба колеса балансира (рис. 21).

Несмотря на простую конструкцию привода колес по сравнению с цепным или шестеренчатым вариантом, привод Робсона нашел применение не более чем в 5 % балансирных тележек лесных машин [3].



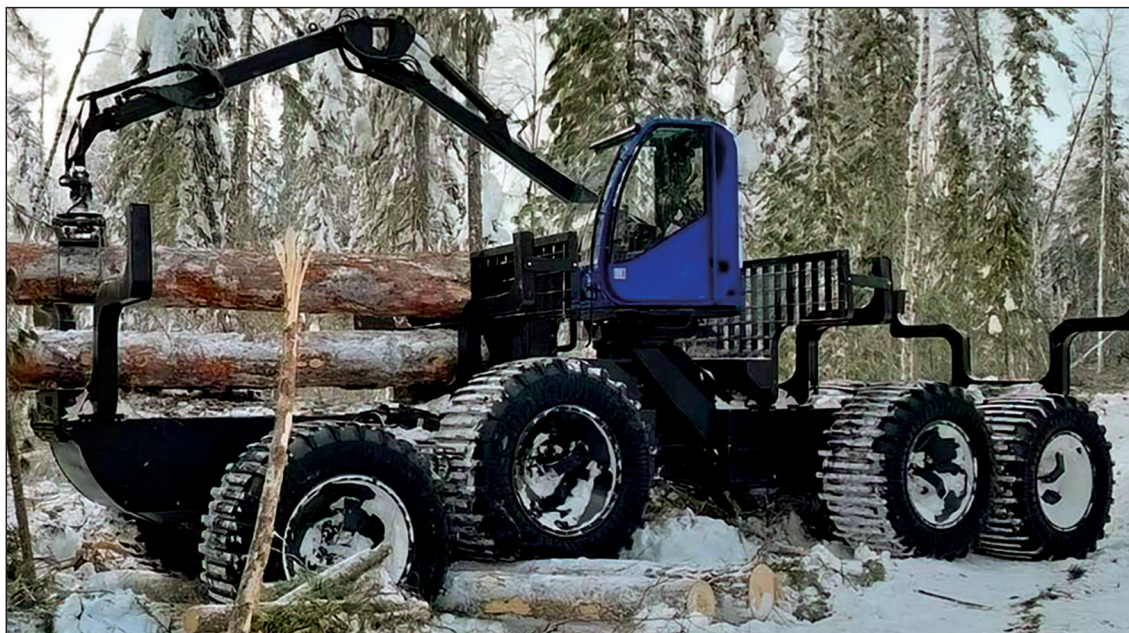


Рис. 24. Форвардер «Тром-20 УЭС»

Fig. 24. Forwarder «Trom-20 UES»

К недостаткам данного привода, существенно ограничивающим его применение, относятся проскальзывание ролика при возрастании крутящего момента и, как следствие, меньший ресурс протектора колес, а также ограниченная величина максимальной касательной силы тяги. Повышенное сопротивление в зацеплении ролика с колесом приводит к значительному нагреву ролика при длительном движении машины, а также увеличению расхода топлива. Особенности зацепления ролика и колеса также ограничивают максимальную скорость движения машины, она составляет не более 25 км/ч.

Однако несмотря на перечисленные недостатки, привод Робсона достаточно успешно применяется при проектировании и производстве малогабаритных лесных машин на базе мини-трактора и прицепа (рис. 22), на базе мотовездехода и прицепа, а также пешеходно-управляемых мини-машин.

Конструктивно тандемный мост с роликовым приводом представляет собой шарнирно закрепленный на раме машины двуплечий рычаг, выполненный в виде балки замкнутого сечения. Форма и габаритные размеры балансира в данном случае определяются массой, габаритами и назначением машины. Ролик может быть установлен соосно с шарниром балансира (рис. 23, а), параллельно оси балансира, либо, как показано на рис. 23, б, иметь оси с изменяемым положением, что позволяет вводить приводной ролик в зацепление с колесами в случае необходимости и отключать привод

колес тандемного моста при движении машины по дорогам общего пользования.

Привод Робсона также применяется на лесных машинах, условно относящихся к легкому классу, наиболее ярким примером которых может служить форвардер «Тром-20 УЭС» на шинах низкого давления грузоподъемностью 10 т (рис. 24). Данная машина является болотоходной и предназначена для работы на грунтах со слабой несущей способностью. Конструкция данной машины уникальна и защищена патентом. Форвардер имеет две погрузочные платформы и может одновременно вывозить сортимент длиной 4 и 6 м. Такое решение позволило конструкторам создать машину, имеющую равномерное распределение веса по осям как в пустом, так и в груженом состоянии, что в совокупности с шинами низкого давления, обеспечивающими большую площадь контакта с опорной поверхностью и как следствие, малое давление на грунт — не более 300 г/см<sup>2</sup>, способствует высокой проходимости машины по опорным основаниям с малой несущей способностью.

## Выводы

Анализ конструкций тандемных мостов лесных машин показал, что наиболее распространен вариант симметричного тандемного моста с шестеренчатым приводом колес. Данная конструкция используется при производстве

подавляющего большинства лесных машин, относящихся как к легкому так к среднему и тяжелому классам. Благодаря применению модульной компоновки тандемного моста, а также использованию различных технологий изготовления отдельных конструктивных элементов (модулей) производитель получает широкую линейку мостов с различными техническими характеристиками.

Наиболее предпочтительной является модульная конструкция симметричного тандемного моста с литыми корпусами балансиров, обеспечивающими требуемый эксцентриситет (возвышение) для увеличения площади погружки форвардера, и компенсации разности в размерах колес машин колесной формулы 6×6. Также в состав тандемного моста могут быть включены порталные редукторы для обеспечения необходимого дорожного просвета и планетарные конечные передачи. Важным элементом конструкции тандемного моста является система балансировки тандема, позволяющая компенсировать действие реактивного момента и минимизировать перераспределение нормальных реакций под колесами балансира.

При проектировании и производстве лесных машин малого класса, а также специальных лесных машин, обладающих специфическими потребительскими качествами, применение тандемных мостов с шестеренчатым приводом приводит к необоснованному усложнению конструкции, а также увеличению металлоемкости и массы. В связи с этим применяются цепной привод колес балансира и привод Робсона.

*Исследование выполнено в АлтГТУ им. И.И. Ползунова при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения №075-11-2021-039 от 25 июня 2021 г.*

## Список литературы

- [1] Состояние лесных ресурсов в России // Бюллетень Ассоциации «ЛЕСТЕХ» №15, 2024 г. URL: <https://alestech.ru/bulletin/article/171> (дата обращения 28.10.2024 г.).
- [2] Лесное хозяйство России: обзор на начало 2017 года // ПроДерево, Лесное хозяйство, 23.04.2018. URL: <https://proderevo.net/industries/forestry/lesnoe-khozyajstvo-rossii-obzor-na-nachalo-2017-goda.html> (дата обращения 28.10.2024 г.).
- [3] Александров В.А. Механизация лесосечных работ в России. СПб.: Изд-во СПбЛТА, 2000. 286 с.
- [4] Можяев Д.В., Илошкин С.Н. Механизация лесозаготовок за рубежом. М.: Лесная пром-сть, 1988. 296 с.
- [5] Машинная заготовка древесины по скандинавской технологии / под ред. И.В. Григорьева. СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2019. 192 с.
- [6] Матвейко А.П. Технология и оборудование лесозаготовительного производства. Минск: Техноперспектива, 2006. 447 с.
- [7] Большаков Б.М., Андрушин М.И., Дороничева Е.В. Развитие технологий и машин при рубках ухода за лесом в Финляндии и Швеции // Лесохозяйственная информация, 2019. № 2. С. 111–128.
- [8] Просужих А.А. Повышение производительности колесных форвардеров обоснованием их параметров и режимов работы: дис. ... канд. тех. наук: 05.21.01. Ухта, 2020. 158 с.
- [9] Клубничкин В.Е., Клубничкин Е.Е., Шишов Е.В. Разработка перспективной ходовой системы для колесных машин лесопромышленного комплекса // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика, 2014. Т. 2. № 3–2 (8–2). С. 249–252.
- [10] Лисняк А.А., Кухар И.В. К вопросу компоновки лесных тракторов // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки. Всерос. науч.-практ. конф. (с междунар. участием): Сборник статей студентов, аспирантов и молодых ученых, Красноярск, 19–20 мая 2016 года. Т. 1. Красноярск: Изд-во СибГТУ, 2016. С. 157–159.
- [11] Козьмин С.Ф. Исследование компоновки лесных колесных тракторов с шарнирной рамой конструкции ЛТА. Лесные тракторы МТЗ-82Л и Т-150КЛ с колесной формулой 6×6 и их модификации. СПб.: Изд-во СПбГЛТА, 2011. 96 с.
- [12] Козьмин С.Ф. Исследование компоновки лесных колесных тракторов с шарнирной рамой конструкции ЛТА. Лесные тракторы Т-25АЛ и Т-40АЛ с колесной формулой 4×4 и их модификации. СПб.: Изд-во СПбГЛТА, 2010. 100 с.
- [13] Григорьев И.В., Чураков А.А., Никифорова А.И., Цыгаров М.В. Перспективная колесная база для лесных машин // Леса России в XXI веке, Санкт-Петербург, 08–10 октября 2014 г. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, 2014. С. 32–38.
- [14] Анисимов Г.М., Кочнев А.М. Лесотранспортные машины. СПб.: Лань, 2021. 448 с.
- [15] Пятакин В.И. Технология и машины лесосечных работ. СПб.: Изд-во СПбГЛТУ, 2012. 362 с.
- [16] Федоренчик А.С., Турлай И.В. Харвестеры. Минск: Изд-во БГТУ, 2002. 172 с.
- [17] Герасимов Ю.Ю., Сюнев В.С. Лесосечные машины для рубок ухода: компьютерная система принятия решений. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1998. 236 с.
- [18] Котиков В.М., Еремеев Н.С., Ерхов А.В. Лесозаготовительные и трелевочные машины. М.: Лесная пром-сть, 2004. 336 с.
- [19] Кочегаров В.Г., Бит Ю.А., Меньшиков В.Н. Технология и машины лесосечных работ. М.: Лесная пром-ть, 1990. 392 с.
- [20] Редькин А.К., Никишов В.Д., Смехов С.Н. Технология и оборудование лесозаготовок. М: МГУЛ, 2010. 181 с.
- [21] Сюнев В.С., Селиверстов А.А., Герасимов Ю.Ю., Соколов А.П. Лесосечные машины в фокусе биоэнергетики: конструкции, проектирование, расчет. Йёнссу: НИИ леса Финляндии METLA, 2011. 143 с.

- [22] Instruction Manual Alstor 8×8 for models 822 and 834. Alstor AB, 48 p.
- [23] Сивков Е.Н. Обоснование параметров колесного трелевочного трактора с целью снижения циркуляции мощности в трансмиссии: дис. ... канд. тех. наук. 05.21.01. Санкт-Петербург, 2014. 173 с.
- [24] Гудков В.В., Сокол П.А., Ляпич Е.Н. Колесные движители. Балансирные приводы. Воронеж: Изд-во Воронежского ЦНТИ – филиала ФГБУ «РЕА» Минэнерго России, 2015. 182 с.
- [25] Деревягин А.М. Балансирная ходовая тележка для транспортного средства. Патент № 114292 РФ, МПК В60К 17/36 (2006.01), № 2011151456/11, 7 с.
- [26] Жулай В.А., Тюнин В.Л., Щиенко А.Н., Кожакин Е.В. Несимметричный регулируемый балансирный привод ведущих колес наземных транспортно-технологических машин. Патент № 2749429 РФ, МПК В60К 17/34 (2006.01), В60К 17/36 (2006.01), № 2020135540, 6 с.
- [27] ТанDEMные мосты для работы ваших машин в тяжелых условиях // NAF Neunkirchener Achsenfabrik AG. URL: <https://ru.nafaxles.com/wp-content/uploads/2021/12/bogieaxle-product-brochure-nafaxles-ru-2019.pdf> (дата обращения 28.10.2024 г.).
- [28] Бобровник А.И., Волуевич А.С., Попченко П.А., Швец А.Н. Особенности эксплуатации лесных машин с тандемным мостом // Наука — производству. Минск: Изд-во Белорусского национального технического университета, 2017. С. 81–85.
- [29] Герасимович А.К., Герман А.А., Гуменников Л.Л., Вашкевич Г.М., Кондратчик Л.В., Меляшкевич А.И., Самущенко Л.А. Форвардеры Амкодор 2661, Амкодор 2661-01. Руководство по эксплуатации 2661.00.00.000РЭ. Минск: Изд-во ОАО «Амкодор», 2008. 224 с.
- [30] Вашкевич Г.М., Герасимович А.К., Герман А.А., Гуменников Л.Л., Меляшкевич А.И., Самущенко Л.А. Харвестер Амкодор 2551. Руководство по эксплуатации 2551.00.00.000РЭ. Минск: Изд-во ОАО «Амкодор», 2013. 225 с.
- [31] John Deere 770D, 1070D, 1270D, 1470D Forestry Equipment. URL: <https://www.deere.com/assets/pdfs/common/products/wheeled-harvesters/wheeled-harvesters-d-series-dka1070wh.pdf> (дата обращения 16.11.2023).
- [32] Руководство по эксплуатации харвестер 1270D OMF069318, 2005. 320 с.
- [33] Жуков А.В., Клоков Д.В., Лой В.Н. Погрузочно-транспортная машина МЛ-131 // Труды БГТУ. Сер. 2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность, 2008. № 8. С. 82–88.
- [34] Машина лесная погрузочно-транспортная «Беларус» МЛ-131. Руководство по эксплуатации МЛ131-0000010 РЭ. М.: ОАО «МТЗ», 2009. 233 с.
- [35] Машина лесная погрузочно-транспортная «Беларус» МЛПТ-344. Руководство по эксплуатации 344-0000010 Р. М.: ОАО «МТЗ», 2009. 197 с.
- [36] Patent № EP 0 520 389 B1 Europäische Patentschrift, В60К 17/36, В60К 1 7/32. Antriebsvorrichtung für Tandemachsen : № 92110596.1 : Anmeldetag 24.06.1992: Veröffentlichungstag der Anmeldung 30.12.1992 / Erfinder: Auer, Ernst, Dipl.-Ing. W-8000 München 60 (DE): Patentinhaber: Neunkirchner Maschinenund Achsenfabrik GmbH & Co. KG D-81245 München (DE)
- [37] Жулай В.А., Тюнин В.Л., Феденев А.А., Андрухов Д.И. Несимметричный балансирный привод ведущих колес наземных транспортно-технологических машин. Патент № 2727224 РФ, заявл. 21.10.2019. 5 с.

## Сведения об авторах

**Горбачев Александр Владимирович**✉ — канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова» (АлтГТУ), [aleks\\_gorb@mail.ru](mailto:aleks_gorb@mail.ru)

**Коростелев Сергей Анатольевич** — д-р техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова» (АлтГТУ), [korsan73@mail.ru](mailto:korsan73@mail.ru)

**Ченских Сергей Анатольевич** — аспирант, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова» (АлтГТУ), [csa-74@yandex.ru](mailto:csa-74@yandex.ru)

**Колотилин Владимир Евгеньевич** — канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексева» (НГТУ)

**Кулепов Виктор Федорович** — д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексева» (НГТУ), [kulepov@dpinntu.ru](mailto:kulepov@dpinntu.ru)

Поступила в редакцию 11.05.2024.

Одобрено после рецензирования 06.11.2024.

Принята к публикации 27.11.2024.

## DESIGN FEATURES OF FOREST MACHINES TANDEM AXELS

A.V. Gorbachev<sup>1✉</sup>, S.A. Korostelev<sup>1</sup>, S.A. Chenskih<sup>1</sup>,  
A.V. Kolyako<sup>2</sup>, V.F. Kulepov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Altai State Technical University, named after I.I. Polzunov, 46, Lenina av., 656038, Barnaul, Siberian Federal District, Altai Territory, Russia

<sup>2</sup>BMSTU, 5, building 1, 2nd Baumanskaya st., 105005, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Nizhny Novgorod State Technical University, n. a. R.E. Alekseev, 24, Minina st., 603155, Nizhny Novgorod, Russia

aleks\_gorb@mail.ru

The design features analysis of tandem axels of forest machines is carried out. The classification of forest machines is given depending on their purpose and characteristics. The designs of tandem axels with chain and gear drive, as well as with a Robson drive, are considered, conclusions are drawn about the applicability of each of them in the design and production of forest machines of different classes. The advantages and disadvantages of the considered structural schemes of tandem axels are revealed. The directions of improving the design of tandem axels are determined.

**Keywords:** tandem axel, tandem axel balancer, forest machine, chain drive, gear drive, Robson drive

**Suggested citation:** Gorbachev A.V., Korostelev S.A., Chenskih S.A., Kolotilin V.E., Kulepov V.F. *Konstruktivnye osobennosti tandemnykh mostov lesnykh mashin* [Design features of forest machines tandem axels]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 1, pp. 62–83.  
DOI: 10.18698/2542-1468-2025-1-62-83

## Reference

- [1] *Sostoyanie lesnykh resursov v Rossii* [The state of forest resources in Russia]. Byulleten' Assotsiatsii «LESTEKH» [Bulletin of the LESTECH Association], no. 15, 2024. Available at: <https://alestech.ru/bulletin/article/171> (accessed 28.10.2024).
- [2] *Lesnoe khozyaystvo Rossii: obzor na nachalo 2017 goda* [Forestry in Russia: an overview at the beginning of 2017]. ProDerevo, Forestry, 23.04.2018. Available at: <https://proderevo.net/industries/forestry/lesnoe-khozyajstvo-rossii-obzor-na-nachalo-2017-goda.html> (accessed 28.10.2024).
- [3] Aleksandrov V.A. *Mekhanizatsiya lesosechnykh rabot v Rossii* [Mechanization of logging operations in Russia]. St. Petersburg: SPbLTA, 2000, 286 p.
- [4] Mozhaev D.V., Ilyushkin S.N. *Mekhanizatsiya lesozagotovok za rubezhom* [Mechanization of logging abroad]. Moscow: Lesnaya prom-st [Forestry industry], 1988, 296 p.
- [5] *Mashinnaya zagotovka drevesiny po skandinavskoy tekhnologii* [Machine harvesting of wood using Scandinavian technology]. Ed. I.V. Grigoriev. St. Petersburg: Izdatel'sko-poligraficheskaya assotsiatsiya vysshikh uchebnykh zavedeniy [Publishing and Printing Association of Higher Educational Institutions], 2019, 192 p.
- [6] Matveyko A.P. *Tekhnologiya i oborudovanie lesozagotovitel'nogo proizvodstva* [Technology and equipment for logging production]. Minsk: Tekhnoperspektiva, 2006, 447 p.
- [7] Bol'shakov B.M., Andryushin M.I., Doronicheva E.V. *Razvitie tekhnologiy i mashin pri rubkakh ukhoda za lesom v Finlyandii i Shvetsii* [Development of technologies and machines for forest thinning in Finland and Sweden]. Lesokhozyaystvennaya informatsiya [Forestry information], 2019, no. 2, pp. 111–128.
- [8] Prosuzhikh A.A. *Povyshenie proizvoditel'nosti kolesnykh forvarderov obosnovaniem ikh parametrov i rezhimov raboty* [Increasing the productivity of wheeled forwarders by substantiating their parameters and operating modes]. Dis. Cand. Sci. (Tech.) 05.21.01. Ukhta, 2020, 158 p.
- [9] Klubnichkin V.E., Klubnichkin E.E., Shishov E.V. *Razrabotka perspektivnoy khodovoy sistemy dlya kolesnykh mashin lesopromyshlennogo kompleksa* [Development of a promising chassis system for wheeled machines of the forestry complex]. Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy KhKhI veka: teoriya i praktika [Current areas of scientific research in the 21st century: theory and practice], 2014, v. 2, no. 3–2 (8–2), pp. 249–252.
- [10] Lisnyak A.A., Kukhar I.V. *K voprosu komponovki lesnykh traktorov* [On the issue of the layout of forestry tractors]. Molodye uchenye v reshenii aktual'nykh problem nauki. Vseros. nauch.-prakt. konf. (s mezhd.uchastiem). sbornik statey studentov, aspirantov i molodykh uchenykh [Young scientists in solving current problems of science. All-Russian scientific and practical conf. (with international participation). collection of articles by students, graduate students and young scientists], Krasnoyarsk, May 19–20, 2016. T. 1. Krasnoyarsk: SibGTU, 2016, pp. 157–159.
- [11] Koz'min S.F. *Issledovanie komponovki lesnykh kolesnykh traktorov s sharnirnoy ramoy konstruktssii LTA. Lesnye traktory MTZ-82L i T-150KL s kolesnoy formuloy 6×6 i ikh modifikatsii* [Study of the layout of forest wheeled tractors with an articulated frame of the LTA design. Forestry tractors MTZ-82L and T-150KL with a 6×6 wheel arrangement and their modifications]. St. Petersburg: SPbGLTA, 2011, 96 p.
- [12] Koz'min S.F. *Issledovanie komponovki lesnykh kolesnykh traktorov s sharnirnoy ramoy konstruktssii LTA. Lesnye traktory T-25AL i T-40AL s kolesnoy formuloy 4×4 i ikh modifikatsii* [Study of the layout of forest wheeled tractors with an articulated frame of the LTA design. Forestry tractors T-25AL and T-40AL with a 4×4 wheel arrangement and their modifications]. St. Petersburg: SPbGLTA, 2010, 100 p.

- [13] Grigor'ev I.V., Churakov A.A., Nikiforova A.I., Tsygarov M.V. *Perspektivnaya kolesnaya baza dlya lesnykh mashin* [Promising wheelbase for forestry machines]. Lesa Rossii v XXI veke [Forests of Russia in the 21st century], St. Petersburg, October 08–10, 2014. St. Petersburg: S.M. Kirov. St. Petersburg State Forest Engineering University, 2014, pp. 32–38.
- [14] Anisimov G.M., Kochnev A.M. *Lesotransportnye mashiny* [Forestry transport machines]. St. Petersburg: Lan', 2021, 448 p.
- [15] Patyakin V.I. *Tekhnologiya i mashiny lesosechnykh rabot* [Technology and Machinery for Logging Works]. St. Petersburg: SPbGLTU, 2012, 362 p.
- [16] Fedorenchik A.S., Turlay I.V. *Kharvestery* [Harvesters]. Minsk: BSTU, 2002, 172 p.
- [17] Gerasimov Yu.Yu., Syuney V.S. *Lesosechnye mashiny dlya rubok ukhoda: komp'yuternaya sistema prinyatiya resheniy* [Logging machines for thinning: computer decision-making system]. Petrozavodsk: Publishing house of PetrSU, 1998, 236 p.
- [18] Kotikov V.M., Eremeev N.S., Erkhov A.V. *Lesozagotovitel'nye i trelevochnye mashiny* [Logging and Skidding Machines]. Moscow: Lesnaya Prom-st, 2004, 336 p.
- [19] Kochegarov V.G., Bit Yu.A., Men'shikov V.N. *Tekhnologiya i mashiny lesosechnykh rabot* [Technology and Machinery for Logging Works]. Moscow: Lesnaya Prom-t, 1990, 392 p.
- [20] Red'kin A.K., Nikishov V.D., Smekhov S.N. *Tekhnologiya i oborudovanie lesozagotovok* [Technology and Equipment for Logging]. Moscow: Moscow State University of Forestry, 2010, 181 p.
- [21] Syuney V.S., Seliverstov A.A., Gerasimov Yu.Yu., Sokolov A.P. *Lesosechnye mashiny v fokuse bioenergetiki: konstruksii, proektirovanie, raschet* [Logging machines in the focus of bioenergy: designs, engineering, calculation]. Joensuu: Finnish Forest Research Institute METLA, 2011, 143 p.
- [22] Instruction Manual Alstor 8×8 for models 822 and 834. Alstor AB, 48 p.
- [23] Sivkov E.N. *Obosnovanie parametrov kolesnogo trelevochnogo traktora s tsel'yu snizheniya tsirkulyatsii moshchnosti v transmissii* [Justification of the parameters of a wheeled skidder in order to reduce power circulation in the transmission]. Dis. Cand. Sci. (Tech.) 05.21.01. St. Petersburg, 2014, 173 p.
- [24] Gudkov V.V., Sokol P.A., Lyapich E.N. *Kolesnye dvizhiteli. Balansirnye privody* [Wheel propellers. Balance drives]. Voronezh: Voronezhskiy TsNTI — filial FGBU «REA» Minenergo Rossii [Voronezh Scientific and Technical Information Center — branch of the Federal State Budgetary Institution «REA» of the Ministry of Energy of Russia], 2015, 182 p.
- [25] Derevyagin A.M. *Balansirnaya khodovaya teleshka dlya transportnogo sredstva* [Balance beam undercarriage for a vehicle]. Patent No. 114292 RF, IPC B60K 17/36 (2006.01), No. 2011151456/11, 7 p.
- [26] Zhulay V.A., Tyunin V.L., Shchienko A.N., Kozhakin E.V. *Nesimmetrichnyy reguliruemyy balansirnyy privod vedushchikh koles nazemnykh transportno-tehnologicheskikh mashin* [Asymmetrical adjustable balance beam drive of driving wheels of ground transport and technological machines]. Patent No. 2749429 RF, IPC B60K 17/34 (2006.01), B60K 17/36 (2006.01), No. 2020135540, 6 p.
- [27] *Tandemnye mosty dlya raboty vashikh mashin v tyazhelykh usloviyakh* [Tandem axles for the operation of your machines in difficult conditions] NAF Neunkirchener Achsenfabrik AG. Available at: <https://ru.nafaxles.com/wp-content/uploads/2021/12/bogieaxle-product-brochure-nafaxles-ru-2019.pdf> (accessed 28.10.2024).
- [28] Bobrovnik A.I., Voluevich A.S., Popchenko P.A., Shvets A.N. *Osobennosti ekspluatatsii lesnykh mashin s tandemnym mostom* [Features of operation of forestry machines with a tandem axle]. Nauka – proizvodstvu [Science – production]. Minsk: Belarusian National Technical University, 2017, pp. 81–85.
- [29] Gerasimovich A.K., German A.A., Gumennikov L.L., Vashkevich G.M., Kondratchik L.V., Melyashkevich A.I., Samushchenko L.A. *Forvardery Amkodor 2661, Amkodor 2661-01. Rukovodstvo po ekspluatatsii 2661.00.00.000RE* [Forwarders Amkodor 2661, Amkodor 2661-01. Operation Manual 2661.00.00.000RE]. Minsk: OJSC Amkodor, 2008, 224 p.
- [30] Vashkevich G.M., Gerasimovich A.K., German A.A., Gumennikov L.L., Melyashkevich A.I., Samushchenko L.A. *Kharvester Amkodor 2551. Rukovodstvo po ekspluatatsii 2551.00.00.000RE* [Harvester Amkodor 2551. Operation Manual 2551.00.00.000RE]. Minsk: JSC Amkodor, 2013, 225 p.
- [31] John Deere 770D, 1070D, 1270D, 1470D Forestry Equipment. Available at: <https://www.deere.com/assets/pdfs/common/products/wheeled-harvesters/wheeled-harvesters-d-series-dka1070wh.pdf> (accessed 16.11.2023).
- [32] *Rukovodstvo po ekspluatatsii kharvester 1270D OMF069318* [Operation manual for harvester 1270D OMF069318], 2005, 320 p.
- [33] Zhukov A.V., Klokov D.V., Loy V.N. *Pogruzochno-transportnaya mashina ML-131* [Loading and transport machine ML-131]. Trudy BGTU. Ser. 2. Lesnaya i derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost' [Proceedings of BSTU. Series 2. Forestry and woodworking industry], 2008, no. 8, pp. 82–88.
- [34] *Mashina lesnaya pogruzochno-transportnaya «Belarus» ML-131. Rukovodstvo po ekspluatatsii ML131-0000010 RE* [Forestry loading and transport machine «Belarus» ML-131. Operation manual ML131-0000010 RE]. Moscow: OJSC «MTZ», 2009, 233 p.
- [35] *Mashina lesnaya pogruzochno-transportnaya «Belarus» MLPT-344. Rukovodstvo po ekspluatatsii 344-0000010 R* [Forestry loading and transport machine «Belarus» MLPT-344. Operating manual 344-0000010 R. M: OJSC «MTZ»], 2009, 197 p.
- [36] Patent No. EP 0 520 389 B1 Europäische Patentschrift, B60K 17/36, B60K 1 7/32. Antriebsvorrichtung für Tandemachsen: No. 92110596.1 : Anmeldetag 06/24/1992: Veröffentlichungstag der Anmeldung 12/30/1992 / Erfinder: Auer, Ernst, Dipl.-Ing. W-8000 München 60 (DE): Patentinhaber: Neunkirchner Maschinenund Achsenfabrik GmbH & Co. KG D-81245 Munich (DE)

- [37] Zhulay V.A., Tyunin V.L., Fedenev A.A., Andrukhov D.I. *Nesimmetrichnyy balansirnyy privod vedushchikh koles nazemnykh transportno-tekhnologicheskikh mashin* [Asymmetrical balance beam drive of driving wheels of ground transport and technological machines]. Patent no. 2727224 RF, declared. 21.10.2019, 5 p.

*The research was carried out at I.I. Polzunov AltSTU with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under Agreement No. 075-11-2021-039 dated 25 June 2021.*

## Authors' information

**Gorbachev Aleksander Vladimirovich**  — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Altai State Technical University, named after I.I. Polzunov, [aleks\\_gorb@mail.ru](mailto:aleks_gorb@mail.ru)

**Korostelev Sergey Anatol'evich** — Dr. Sci. (Tech.), Associate Professor, Altai State Technical University, named after I.I. Polzunov, [korsan73@mail.ru](mailto:korsan73@mail.ru)

**Chenskih Sergey Anatol'evich** — pg., Altai State Technical University, named after I.I. Polzunov, [csa-74@yandex.ru](mailto:csa-74@yandex.ru)

**Kolotilin Vladimir Evgenievich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Nizhny Novgorod State Technical University, named after R.E. Alekseev

**Kulepov Viktor Fedorovich** — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Nizhny Novgorod State Technical University, named after R.E. Alekseev, [kulepov@dpinntu.ru](mailto:kulepov@dpinntu.ru)

Received 11.05.2024.

Approved after review 06.11.2024.

Accepted for publication 27.11.2024.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

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

The authors declare that there is no conflict of interest