

ПЕРСПЕКТИВНАЯ КОНСТРУКЦИЯ РЕКУПЕРАТИВНОГО СЕДЕЛЬНО-СЦЕПНОГО УСТРОЙСТВА ЛЕСОВОЗНОГО ТЯГАЧА С ПОЛУПРИЦЕПОМ

доктор технических наук, профессор **В.И. Посметьев**

кандидат технических наук, доцент **В.О. Никонов**

кандидат физико-математических наук, доцент **В.В. Посметьев**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Российская Федерация

Рассмотрена роль совершенствования конструкций седельно-сцепных устройств (ССУ) лесовозных тягачей (ЛТ) с полуприцепами (ПП) для увеличения объемов транспортирования лесоматериалов. Описаны последствия возникающих в ССУ динамических нагрузок при эксплуатации ЛТ с ПП в сложных дорожных условиях. Обоснована перспективность использования рекуперативных механизмов, направленная на снижение расхода топлива и сокращение токсичности выхлопных газов ЛТ с ПП. Представлена схема основных узлов ССУ, описаны два применяемых в зависимости от способа сцепки ЛТ с ПП типа ССУ. Приведены конструктивные особенности наиболее распространенных на российском рынке моделей ССУ, выпускаемых отечественными и европейскими производителями. Особое внимание уделено обеспечению необходимой гибкости между отдельными звеньями ЛТ с ПП, влияющей на возможность возникновения поломок в ССУ и ходовой части ЛТ. Рассмотрены основные нормативные документы, регламентирующие требования к изготовлению, установке, испытанию, эксплуатации и замене конструктивных элементов ССУ. Представлены зависимости влияния замедления и коэффициента распределения тормозных сил на величину продольных усилий в ССУ ЛТ с ПП, влияния максимальных нагрузок в ССУ на силы трения в нем. Предложена перспективная конструкция рекуперативного ССУ ЛТ с ПП, позволяющая накапливать и повторно использовать гидравлическую энергию в технологическом процессе погрузки-разгрузки сортиментов гидравлическим манипулятором. Выявлено, что использование рекуперативного ССУ позволит снизить расход топлива ЛТ с ПП, повысить его надежность и улучшить плавность хода при движении по недостаточно обустроенным дорогам.

Ключевые слова: рекуперативное седельно-сцепное устройство, лесовозный тягач, полуприцеп, рекуперация, гидравлическая энергия, гидравлический манипулятор, пневмогидравлический аккумулятор

PERSPECTIVE DESIGN OF RECOVERABLE FIFTH-WHEEL COUPLING FOR A HAULING TRUCK WITH A SEMI-TRAILER

DSc (Engineering), Professor **V.I. Posmetyev**

PhD (Engineering), Associate Professor **V.O. Nikonov**

PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor **V.V. Posmetyev**

FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov",
Voronezh, Russian Federation

Abstract

The role of improving the design of fifth-wheel coupling (FWC) of hauling trucks (HT) with semi-trailers (ST) to increase the volume of timber transportation has been considered. The consequences of the dynamic loads arising in the FWC during the operation of HT with ST in difficult road conditions have been described. The prospects of using regenerative mechanisms aimed at reducing fuel consumption and reducing the toxicity of HT exhaust gases have been substantiated. A diagram of the main FWC components is presented. Two components, used depending on the method of coupling HT with ST have been described. Design features of the most common FWC models on the Russian market, produced by domestic and European manufacturers, are presented. Particular attention is paid to providing the necessary

flexibility between HT links with ST, which affects the possibility of breakdowns in the FWC and HT chassis. The basic regulatory documents governing the requirements for the manufacture, installation, testing, operation and replacement of structural elements of FWC have been considered. The dependences of the influence of deceleration and brake force distribution coefficient on the magnitude of the longitudinal forces in FWC of HT with ST, the influence of maximum loads in FWC on the friction forces are presented. A promising design of regenerative FWC of HT with ST has been proposed, which allows accumulating and reusing hydraulic energy in the technological process of loading and unloading assortments with a hydraulic manipulator. It has been revealed that the use of recuperative FWC reduces fuel consumption of HT with ST, increase its reliability and improve ride smoothness when driving on underdeveloped roads.

Keywords: recoverable fifth-wheel coupling, hauling truck, semi-trailer, recuperation, hydraulic energy, hydraulic manipulator, pneumohydraulic accumulator

Введение

Важную роль в увеличении объемов перевозок лесоматериалов играют полуприцепы (ПП), эффективность которых в известной мере сдерживается конструктивными недостатками некоторых узлов и агрегатов лесовозных тягачей (ЛТ) и, в частности, седельно-сцепных устройств (ССУ). В процессе трогания ЛТ с ПП, его разгоне, торможении и движении в сложных дорожных условиях в ССУ возникают повышенные динамические нагрузки, которые приводят к снижению скорости ЛТ с ПП, повышению его расхода топлива, и как следствие к ухудшению производительности. Повышенные нагрузки в ССУ способствуют увеличению износа его сопряженных деталей, ухудшают устойчивость ЛТ с ПП при торможении, и при установленных исходных углах между продольными осями ЛТ и ПП являются источником складывания звеньев ЛТ с ПП [1, 2, 5].

Совершенствование ССУ ЛТ с ПП, направленное на снижение расхода топлива ЛТ, требует глубокого изучения и обобщения имеющегося фактического материала по конструкции ССУ, накопленного как у нас в стране, так и за рубежом. Результаты многочисленных исследований подтверждают перспективность направления по сокращению расхода топлива ЛТ с ПП путем использования в его конструкции различных recuperативных механизмов.

В работах [3, 4] авторами для снижения расхода топлива и токсичности выхлопных газов лесовозного сортиментовоза предложена конструкция recuperативного гидропривода, позволяющая также с помощью recuperативных механизмов, установленных в стреле, рукояти, опорно-поворотном

устройстве, гидромоторах колес и подвеске, накапливать в пневмогидравлическом аккумуляторе и повторно использовать энергию сжатой рабочей жидкости в технологическом процессе погрузки и разгрузки лесоматериалов.

В статье [6] авторами для повышения эффективности лесовозного автомобиля с прицепом (ЛАП) за счет снижения расхода топлива, повышения надежности вследствие улучшенных демпфирующих свойств гидросистемы, снижения динамических нагрузок на ЛАП, улучшения плавности хода при движении ЛАП по недостаточно обустроенным дорогам предложена конструкция recuperативного тягово-сцепного устройства.

В работах [7, 8] авторами для снижения расхода топлива многофункционального автомобиля предлагается recuperативный гидропривод с подсистемой аккумулялирования энергии сжатого воздуха, позволяющий также использовать неограниченный объем рабочего тела, уменьшать нагрузки путем демпфирования в пневмогидравлических цилиндрах recuperативного гидропривода энергии сжатого воздуха.

Lianpeng Xia (2018) в своих исследованиях для повышения энергоэффективности экскаватора предлагает использовать recuperативный гидропривод, который позволяет преобразовывать потенциальную энергию стрелы при ее опускании в гидравлическую энергию сжатой рабочей жидкости и накапливать ее в пневмогидравлическом аккумуляторе. Использование предлагаемого recuperативного гидропривода позволяет снизить потребление энергии на 50,1 % [9].

В статье Yunxiao Hao (2018) приводится описание recuperативной гидравлической системы

экскаватора GPER с гидроцилиндром HPES. На основании проведенных экспериментов было выявлено, что при работе экскаватора рекуперативный гидропривод стрелы позволяет восстанавливать около 43,9 % энергии. По сравнению с оригинальной системой энергопотребления гидравлического привода исследуемая система позволяет снизить энергопотребление за тот же рабочий цикл на 26,2 % [10].

Kimihiko Nakano (2004) в своей работе предлагает конструкцию рекуперативного шарико-винтового электромагнитного амортизатора, который включает в себя двигатель постоянного тока, шариковый винт и гайку. Линейные движения системы демпфирования, вызванные наездом колесом на препятствия, преобразуются во вращательное движение с помощью шарикового винта и гайки. Вращательное движение передается двигателю постоянного тока, который генерирует ток и после накапливает его в электрическом конденсаторе [11].

В работе Rafael Rivelino Silvo Bravo (2018) представлена новая рекуперативная система накопления гидравлической и пневматической энергии торможения транспортного средства в пневмогидравлическом аккумуляторе и воздушном ресивере. Результаты исследований, выполненных на основе имитационного моделирования, показали, что предлагаемая рекуперативная система способна восстанавливать 69 % энергии во время полной остановки транспортного средства [12].

Несмотря на простоту конструкций известных рекуперативных механизмов, используемых для снижения расхода топлива транспортных средств, на сегодняшний момент времени все еще отсутствуют удовлетворительные схемные решения рекуперативных ССУ ЛТ с ПП. В этой связи для повышения эффективности ЛТ с ПП представляется важной разработка и исследование его ССУ, позволяющего накапливать и повторно использовать в технологическом процессе погрузки-разгрузки сортиментов непроизводительно рассеиваемую в окружающую среду энергию.

Целью исследования является разработка рекуперативного гидравлического ССУ, обеспечивающего повышение эффективности ЛТ с ПП.

Материалы и методы

Исследование базировалось на принципах системного подхода с использованием методов сбора и анализа информации. Основой выполненного исследования являются научные труды отечественных, зарубежных ученых и специалистов, занимающихся разработкой и исследованием гидрофицированных технологических машин и оборудования с рекуперативными механизмами.

Результаты и обсуждение

ССУ применяются для буксировки ПП, они воспринимают продольные усилия, а также передают на ЛТ значительные вертикальные нагрузки от веса буксируемого ПП, одновременно выполняя функции поворотного механизма. ССУ состоит из: разъемно-цепного механизма, механизма гибкости, механизма амортизации и узла крепления (рис. 1) [1].

В зависимости от способа сцепки ЛТ с ПП находят применение два типа ССУ: у первого фиксации сцепки осуществляется шкворнем, у второго – роликами. Сцепная пара ССУ первого типа формируется захватом и шкворнем. Разъемно-цепные механизмы сцепной пары ССУ первого типа различаются следующими особенностями: видом выполнения сцепки (автоматическая или полуавтоматическая сцепка); количеством захватов (1 или 2); возможностью устранения зазоров (автоматическое устранение зазоров, ручное и без устранения). Сцепная пара ССУ второго типа формируется роликами и крюками. Такая конфигурация ССУ предоставляет возможность выполнения сцепки под различными углами, а также обеспечивает снижение в 2 раза сопротивления сцепки. Тем не менее, ССУ этого типа из-за сложной конструкции испытывают необходимость в более качественном обслуживании и многократных регулировках.

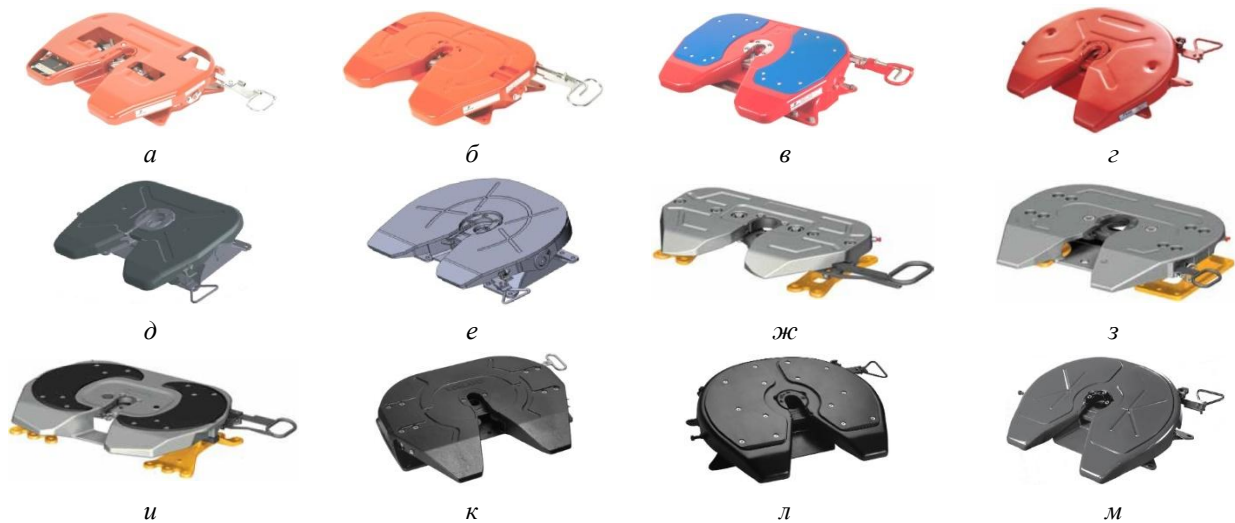
Наиболее широкое распространение на российском рынке нашли ССУ, выпускаемые ОАО «Гидромаш», а также ССУ европейских производителей Auger, ConMet, Jost, Georg, Fisher, Fontaine, Fuwa, Saf-Holland, V.Orlandi, Marshall и др. У каждого производителя имеется широкая номенклатура моделей ССУ под широкую номенклатуру транспортных средств и условия эксплуатации. Наиболее перспективные и самые распространенные модели ССУ, выпускаемые европейскими производителями, представлены на рис. 2.

Свыше 95 % всех современных ССУ имеют шкворневую конструкцию, состоящую из опорной плиты, разъемно-сцепного механизма, воспринимающих совместно с устройством крепления ССУ усилия при движении, ускорении и торможении ЛТ с ПП. Кроме этого конструкция ССУ включает в себя узел обеспечения гибкости. Сцепка ЛТ с ПП осуществляется путем установки шкворня в отверстие опорной плиты с дальнейшей фиксацией шарнирно установленными на пальцах захватами. Опорные плиты

ССУ изготавливают штампованными и литыми. Наиболее распространены литые опорные плиты ССУ, выполненные из чугуна с шаровидным графитом, обладающие малой массой и высокой жесткостью. Материалом для изготовления шкворней ССУ выступают высокопрочные стали. После изготовления поверхностный слой шкворня подвергается специальной термообработке. Срок службы современных ССУ шкворневого типа составляет 1,5-2 млн км [13].



Рис. 1. Основные узлы ССУ



Fontaine: *a* – 150SP, *б* – 163CI, *в* – 3000LM; Fuwa: *г* – FW78Q, *д* – FW79HCQ, *е* – FW79HZ; SafHolland: *ж* – GC6, *з* – SK-S 36.20W, *и* – SK-HD 38.36; V.Orlandi: *к* – RV02/E, *л* – RS08, *м* – MarshallM240

Рис. 2. ССУ, выпускаемые европейскими производителями

Европейские производители Auger, ConMet, Jost, Georg, Fisher, Fontaine, Fuwa, Saf-Holland, V.Orlandi, Marshall и др. для обеспечения высокой безопасности и надежности конструкции ССУ используют в основном однозахватные разъемно-сцепные механизмы, воспринимающие тяговые уси-

лия массивным запорным кулаком и захватом. Также современные конструкции ССУ предусматривают многоточечную систему смазки для уменьшения износа и обеспечения долговечности работы, а также исключают наличие быстро изнашиваемых компонентов, что обеспечивает повышенную надежность

и продлевает срок службы ССУ при эксплуатации в неблагоприятных дорожных условиях.

К ССУ ЛТ с ПП одновременно с такими общими требованиями, как малая стоимость, простота конструкции, небольшой вес, характерными для различных машин и механизмов, дополнительно предъявляются индивидуальные требования, среди которых выделяют обеспечение требуемой гибкости между звеньями ЛТ с ПП, возможность производства быстрых и безопасных для обслуживающего персонала операции по сцепке ЛТ с ПП и надлежущая амортизация нагрузок в ССУ.

Для ЛТ с ПП гибкость (рис. 3) определяется углами горизонтальной и вертикальной поворотливости ССУ ПП по отношению к продольной оси ЛТ.

Углы β и γ характеризуют возможность движения ЛТ с ПП по неровным дорогам со значительными по величине неровностями. Угол α определяет маневренные свойства ЛТ с ПП и его способность совершать крутые повороты и разворачиваться в условиях ограниченной площади. Если параметры гибкости неудовлетворительны, то при движении ЛТ с ПП по неровным дорогам с крутыми поворотами неизбежны серьезные поломки ССУ и деталей ходовой части. Для ЛТ с ПП угол вертикальной гибкости β должен быть не менее $\pm 8^\circ$, а угол горизонтальной гибкости $\alpha = \pm 90^\circ$, угол независимости ходов (поперечная гибкость) $\gamma = \pm 3^\circ$.

В соответствии с техническим регламентом таможенного союза ТР ТС 018/2011, ССУ ЛТ с ПП должно отвечать следующим требованиям: после сцепки ССУ ЛТ с ПП его замок должен закрыться автоматически; самопроизвольное расцепление ЛТ с ПП должно устраняться автоматической или ручной блокировкой ССУ; отсутствие в ССУ деталей, их креплений, дефекты опорной плиты, сцепного шкворня, гнезда шкворня в форме трещин, разрушений, деформаций и разрывов не допускаются; для ПП с максимальной технической допустимой массой до 40 т диаметр сцепного шкворня должен составлять в диапазоне от предельно допустимого, равного 48,3 мм, до номинального – 50,9 мм, а внутренний диаметр рабочих поверхностей захватов ССУ должен составлять от 50,8 мм до 55 мм; для ПП с максимальной технической допустимой массой до 55 т диаметр сцепного шкворня с клино-

вым замком должен составлять в диапазоне от предельно допустимого, равного 49 мм, до номинального – 50 мм, а для ПП с максимальной технической допустимой массой более 55 т диаметр сцепного шкворня с клиновым замком должен составлять в диапазоне от 86,6 мм до 89,1 мм соответственно [14].

Типы, основные размеры и технические требования, предъявляемые к ССУ, регламентируются международными и отечественными стандартами. Подбор ССУ для нового ЛТ с ПП осуществляется также согласно рекомендациям и допускам конкретного автопроизводителя.

ГОСТ 12105-74 регламентирует размеры, определяющие расположение ССУ на ЛТ и сцепного шкворня на ПП, свободное пространство ЛТ и ПП, а также допустимые углы наклона ПП по отношению к ЛТ в продольном (α и β) и поперечном (γ) направлениях. Для обеспечения взаимозаменяемости отечественных ЛТ и ПП ГОСТ 12017-81 регламентирует единые размеры сцепного шкворня и захватов разъемно-сцепного механизма седла. ГОСТ 28247-89 устанавливает типы ССУ в зависимости от типа сцепного шкворня, регламентирует применение ССУ в зависимости от приходящейся на них полной массы ЛТ и ПП, основные размеры ССУ, диапазон поворота ССУ и его маркировку. ГОСТ Р 50586-93 устанавливает технические требования к изготовлению сцепных шкворней и методам их испытаний. ГОСТ Р 41.55-2005 устанавливает требования, которым должны соответствовать ССУ и их элементы, для того чтобы их можно было рассматривать в качестве взаимозаменяемых с иностранными аналогами [15-19].

Для ССУ ЛТ с ПП, шкворень которых изготовлен по требованиям международного стандарта ISO-337, разработан и применяется международный стандарт ISO-3842, регламентирующий требования к диаметру отверстий креплений ССУ на ЛТ с ПП, их количеству и взаимному месторасположению. Международный стандарт ISO-1726 регламентирует: расстояние между кабиной ЛТ или установленных за ней агрегатов до оси отверстия ССУ для установки сцепного шкворня; расстояние от механизма опорного устройства до сцепного шкворня, радиус габарита передней части ПП и задней части ЛТ; высоту от уровня поверхности

дороги до верхней плоскости ССУ ЛТ под номинальной нагрузкой; угол наклона α в вертикальной поперечной плоскости опорной плиты в обе стороны не более 3° ; угол наклона опорной плиты ССУ вперед-назад в вертикальной продольной плоскости β не менее 8° . ISO 4086 определяет характеристики шкворня ССУ ПП диаметром 89 мм (3,5 дюйма), используемого для сцепления транспортных средств большой грузоподъемности, а также регламентирует размерные характеристики, необходимые для монтажа и взаимозаменяемости [20-23].

Звенья ЛТ с ПП в большинстве случаев не имеют в ССУ упругой связи, и зазоры между шкворнем ПП и захватами седла ЛТ минимальные. Рассмотрим силы, действующие на ЛТ с ПП при торможении (рис. 4)[24].

Сила взаимодействия $P_{кр}$ в ССУ между ЛТ и ПП даже при установившихся режимах движения ЛТ с ПП не сохраняется постоянной. Это связано с тем, что наличие неровностей на дороге и изменение состояния дорожных покрытий способствует изменению сопротивлений качения ЛТ с ПП. При неустановившихся режимах движения ЛТ с ПП в результате изменения тормозных сил происходит появление в горизонтальном продольном направлении перемещения звеньев ЛТ с ПП относительно друг друга. Эти перемещения, имеющие заметно выраженный колебательный характер, оказывают значительное влияние на эксплуатационные свойства ЛТ с ПП.

Я.Х. Закиным на основании проведенных исследований было получено выражение для расчета усилия $P_{кр}$, возникающего в ССУ при торможении ЛТ с ПП [24]:

$$P_{кр} = \frac{G_{II}}{g} j_{ан} \left(1 - \frac{\chi}{m}\right),$$

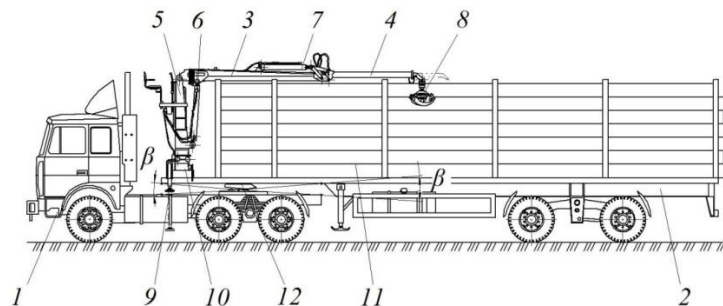
где G_{II} – сила тяжести ПП, Н; g – ускорение свободного падения, м/с²; $j_{ан}$ – ускорение ЛТ с ПП, м/с²; χ – отношение $P_{II} / (P_T + P_{II})$ (P_T и P_{II} – тормозные силы на колесах звеньев ЛТ с ПП); m – коэффициент весовой характеристики.

Данное выражение указывает на то, что при одном и том же замедлении или ускорении ЛТ с ПП в ССУ может быть как усилие растяжения, так и сжатия. Опыт эксплуатации подтверждает целесообразность поддерживать ЛТ с ПП в несколько растянутом состоянии на тормозном и в режиме движения, так как при этом повышается устойчивость его движения и предотвращается складывание.

В результате расчетов, выполненных на основании выше приведенного выражения, получена зависимость нагрузки в ССУ ЛТ массой 3870 кг и ПП массой 9525 кг от коэффициента χ для различных значений ускорений торможения $j_{ан}$, представленная на рис. 5. При увеличении значения коэффициента χ при заданном ускорении торможения усилие в ССУ снижается. Для ускорений торможения, не превышающих $j_{ан} = 2,72$ м/с², усилие в ССУ может менять знак. При ускорениях торможения, больших чем $3,7$ м/с², в ССУ рассматриваемого ЛТ и ПП могут быть только усилия сжатия.

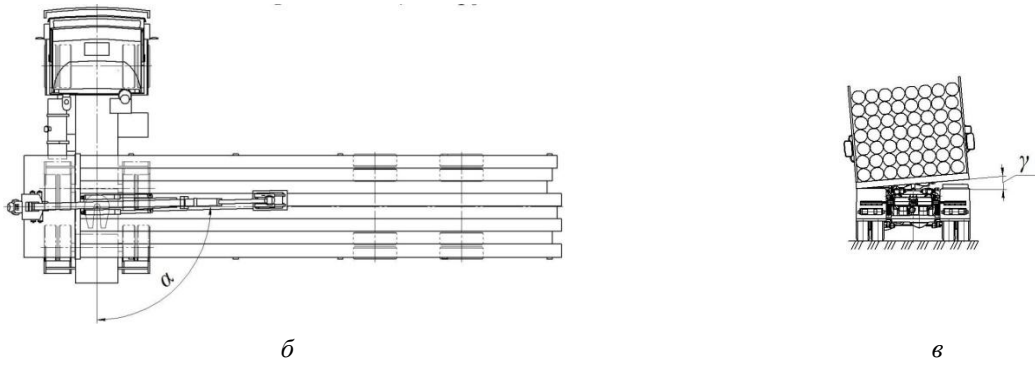
Влияние сил трения сказывается на уменьшении амплитуд собственных колебаний. Применительно к ЛТ МАЗ-504 с ПП это наглядно видно из графика, представленного на рис. 6.

Увеличение коэффициента трения в ССУ от 0 до 0,2 приводит к снижению максимальных нагрузок в среднем на 25-35 %. Однако повышение трения является нежелательным из-за снижения износостойкости и ухудшения условий сцепки ЛТ и ПП.



а

Рис. 3



α – угол складывания; β – угол продольной гибкости; γ – угол поперечной гибкости; 1 – ЛТ; 2 – ПП; 3, 4, 5 – стрела, рукоять и колонна гидроманипулятора; 6, 7 – гидроцилиндры стрелы и рукояти; 8 – челюстной захват; 9 – аутригер; 10 – насосно-аккумуляторный узел; 11 – сортименты; 12 – ССУ
Рис. 3 (окончание). Углы гибкости ЛТ с ПП, оснащенным гидроманипулятором

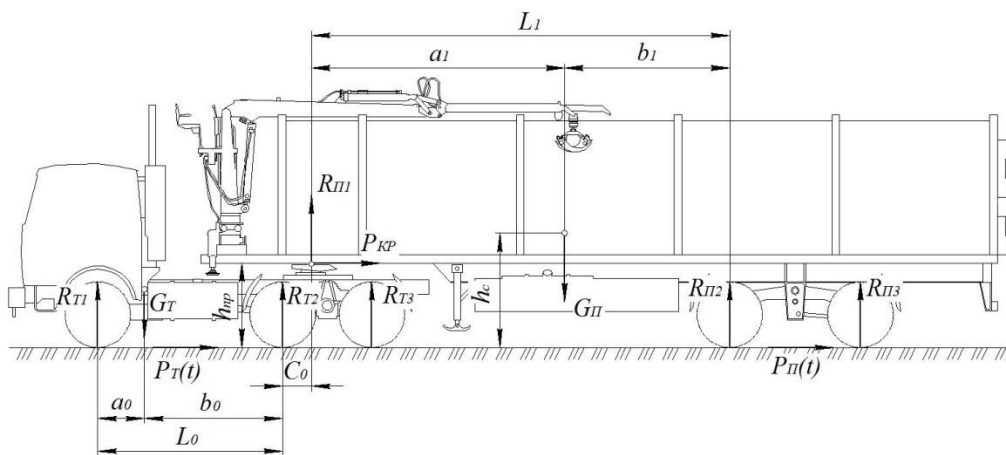
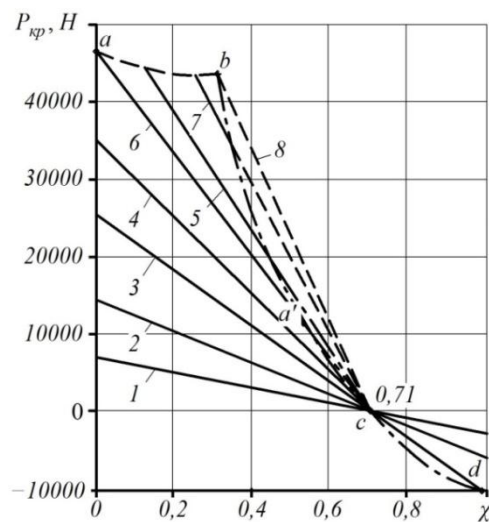


Рис. 4. Схема сил, действующих на звенья ЛТ с ПП при торможении



1 – $j_{an} = 0,75 \text{ м/с}^2$; 2 – $j_{an} = 1,50 \text{ м/с}^2$; 3 – $j_{an} = 2,72 \text{ м/с}^2$; 4 – $j_{an} = 3,70 \text{ м/с}^2$; 5 – $j_{an} = 4,85 \text{ м/с}^2$;
6 – $j_{an} = 5,60 \text{ м/с}^2$; 7 – $j_{an} = 7,10 \text{ м/с}^2$; 8 – $j_{an} = 7,85 \text{ м/с}^2$; $G_a = 3870 \text{ кг}$; $G_n = 9525 \text{ кг}$; $h_c = 1,6 \text{ м}$; $h_{np} = 1,2 \text{ м}$;
 $L_1 = 4,34 \text{ м}$; $a_1 = 2,6 \text{ м}$; $m = 0,71$; $\varphi = 0,8$

Рис. 5. Зависимости силы $P_{кр}$ от ускорения торможения j_{an} и коэффициента распределения тормозных сил χ

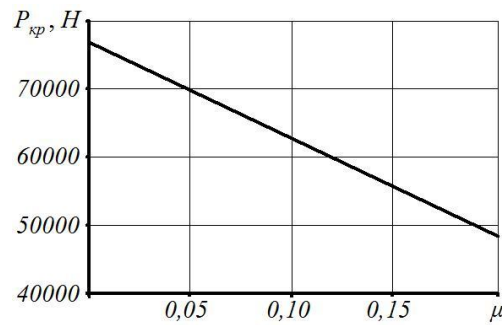


Рис. 6. Зависимость величины максимальных нагрузок в ССУ от сил трения

В эксплуатационных условиях коэффициент трения обычно составляет $\mu = 0,08-0,12$, что дает снижение пиковых нагрузок примерно на 10-15 % [25].

На основании исследований, проводимых на кафедре производства, ремонта и эксплуатации машин ВГЛТУ имени Г.Ф. Морозова, авторами предлагается перспективная конструкция рекуперативного ССУ ЛТ с ПП, схема которого представлена на рис. 7 [3-8].

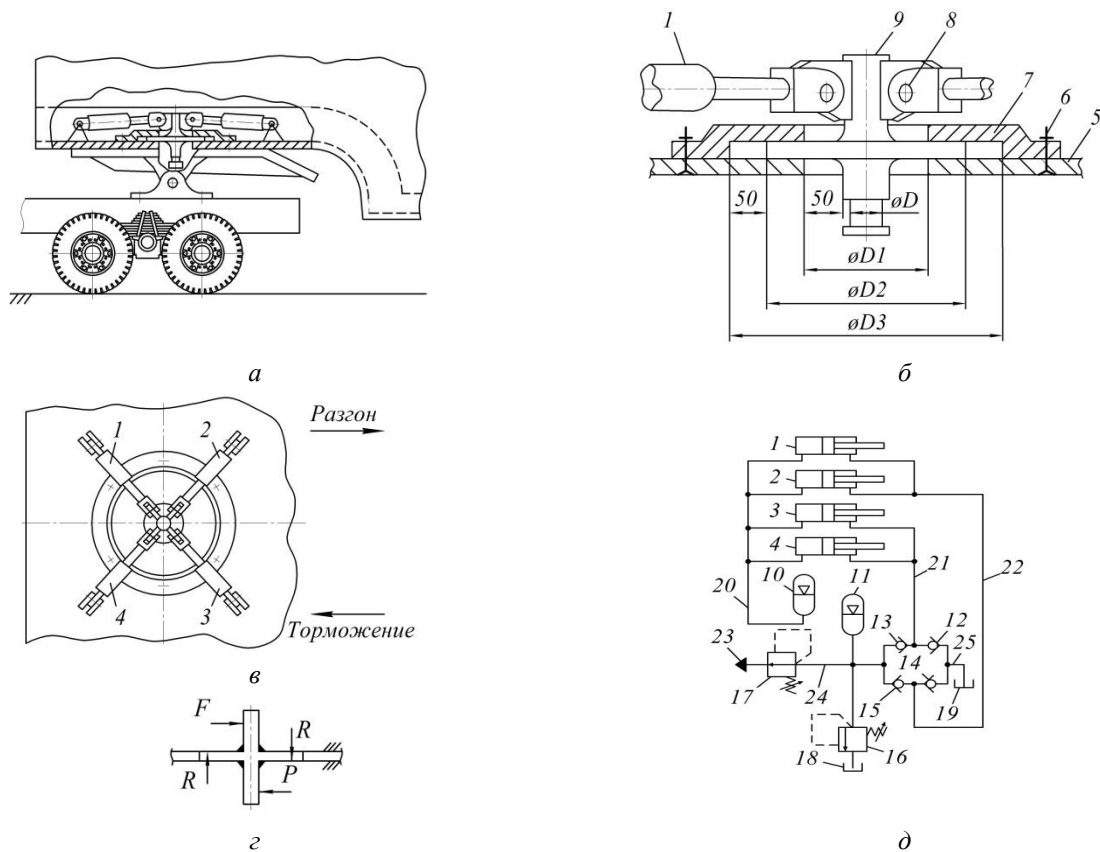
Работа рекуперативного ССУ ЛТ с ПП основана на использовании кинетической энергии, возникающей от силы инерции массы ПП при торможении, разгоне, поворотах, переключении передач и наезде на препятствия в процессе движения. Рекуперативное ССУ позволяет накапливать и повторно использовать гидравлическую энергию в технологическом процессе погрузки-разгрузки сортиментов гидроманипулятором, установленным на ЛТ с ПП.

Рекуперативное ССУ устанавливается в передней части рамы ПП (рис. 7, а). В неподвижном состоянии ЛТ с ПП опорная плита ССУ находится в зацепленном состоянии со шкворневым устройством ПП (рис. 7, а). При этом шкворень 9 установлен в круглое отверстие рамы 5 ПП в положение, при котором между его основанием и контурами отверстия предусмотрительно образован зазор 50 мм, обеспечиваемый демпферным механизмом (рис. 7, б).

При торможении ЛТ с ПП работа рекуперативного ССУ заключается в следующем. ПП перемещается под воздействием силы инерции от своей движущейся массы в сторону тормозящего ЛТ, вследствие этого происходит перемещение влево шкворня с соединенными с ним штоками гидроци-

линдров, штоки гидроцилиндров 2 и 3, перемещаясь влево, сжимают рабочую жидкость в штоковых полостях, которая посредством гидравлических магистралей 21 и 22, обратных клапанов 12-14 и напорного трубопровода 24 поступает в пневмогидравлический аккумулятор 11. Этим обеспечивается рекуперация энергии рабочей жидкости, которая под возросшим давлением поступает либо непосредственно потребителю через гидравлический порт 23, либо в случае полной зарядки пневмогидравлического аккумулятора 11 сбрасывается через предохранительный клапан 16 в гидравлический бак 18. Штоки гидроцилиндров 1 и 4, перемещаясь влево, сжимают рабочую жидкость в поршневых полостях, которая посредством гидравлической магистрали 20 поступает в пневмогидравлический аккумулятор 10, выполняющий функции демпферного механизма.

Возвращение гидравлических цилиндров 1 и 4 в исходное положение после окончания торможения происходит за счет давления рабочей жидкости в пневмогидравлическом аккумуляторе 10 демпферного механизма. Возвращение гидроцилиндров 2 и 3 в исходное положение происходит за счет взаимной связи всех штоков при возвращении в исходное состояние гидроцилиндров 1 и 4, при этом из-за образующегося разряжения в штоковых полостях гидроцилиндров 2 и 3 рабочая жидкость поступает в нее из гидравлического бака 19 посредством гидравлических магистралей 21 и 22, обратных клапанов 12, 13, 15 и всасывающего трубопровода 25.



а, б, в – общий вид ССУ; г – силовая схема при разгоне; д – рекуперативный гидропривод; 1-4 – гидравлические цилиндры; 5 – плита; 6 – крепления; 7 – крышка, 8 – ось; 9 – шкворень; 10, 11 – пневмогидравлические аккумуляторы; 12-15 – обратные клапаны; 16, 17 – предохранительные клапаны; 18, 19 – гидравлические баки; 20-22 – гидравлические магистрали; 23 – потребители гидравлической энергии; 24 – напорный трубопровод; 25 – всасывающий трубопровод

Рис. 7. Рекуперативное ССУ ЛТ с ПП

При трогании ЛТ с ПП рассмотренные ранее рабочие циклы рекуперативного ССУ повторяются, только рекуперация энергии рабочей жидкости происходит в этом случае в 1 и 4 гидравлических цилиндрах. Далее, при движении ЛТ с ПП с ускорениями и замедлениями, обусловленными многочисленными факторами, воздействующими на ЛТ с ПП, рабочие циклы рекуперативного ССУ ЛТ с ПП чередуются аналогично приведенному выше описанию.

Выводы

В результате проведенного исследования было установлено:

- эффективность использования лесовозных тягачей с полуприцепами зависит от совокупности их свойств и в значительной мере сдерживается конструктивными недостатками некоторых узлов и

агрегатов тягачей, в частности, конструктивным несовершенством ССУ;

- в настоящее время на российском рынке наибольшее распространение получили шкворневые ССУ европейских производителей с однозахватными разъемно-сцепными механизмами, в которых для повышения их срока службы при эксплуатации в неблагоприятных дорожных условиях предусмотрена многоточечная система смазки;

- при несоответствии углов гибкости ЛТ с ПП нормативным значениям неизбежны серьезные поломки ССУ и деталей ходовой части ЛТ;

- при увеличении значения коэффициента распределения тормозных сил ЛТ с ПП при заданном замедлении усилие, возникающее в ССУ при торможении ЛТ с ПП, снижается. Увеличение коэффициента трения в ССУ в диапазоне от 0 до 0,2

приводит к снижению максимальных нагрузок в нем на 25-35 %;

– практическое использование предлагаемого авторами рекуперативного ССУ позволит снизить расход топлива ЛТ с ПП, повысить надежность ЛТ с ПП за счет демпфирующих свойств гидравлического

рекуперативного ССУ, улучшить плавность хода при движении ЛТ с ПП по недостаточно обустроенным дорогам и обеспечить, таким образом, более благоприятные условия труда водителю.

Библиографический список

1. Щукин, М. М. Сцепные устройства автомобилей и тягачей / М. М. Щукин // МАШГИЗ, Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы. – Москва, Ленинград, 1961. – 211 с.
2. Ким, В. А. Математическая модель ударного нагружения шарнирного пальца сцепного устройства седельного автопоезда / В. А. Ким, А. А. Полунгян // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». – 2004. – № 2. – С. 51–61.
3. Посметьев, В. И. Повышение эффективности лесовозного автомобиля с помощью рекуперативного гидропривода / В. И. Посметьев, В. О. Никонов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 131(07).
4. Патент на изобретение № 2668093 РФ, МПК А01G 23/00, В66F 9/22. Рекуперативный гидропривод лесовозного автомобиля / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев, М. А. Латышева ; заявитель ФГБОУ ВО ВГЛТУ имени Г.Ф. Морозова. – № 2017136631 ; заявл. 17.10.2017 ; опубл. 26.09.2018.
5. Разработка принципов повышения устойчивости автопоездов при экстренном торможении на прямолинейном участке и отказе тормозной системы прицепного звена / Г. Г. Анкинович, А. Н. Вержбицкий, М. М. Жилейкин, Г. И. Скотников // Известия высших учебных заведений. Машиностроение, № 5 (674), 2016. – С. 23–29.
6. Никонов, В. О. Анализ конструктивных особенностей тягово-сцепных устройств грузовых автомобилей с прицепами / В. О. Никонов, В. И. Посметьев, Р. В. Журавлев // Воронежский научно-технический вестник. – 2018. – Т. 4, № 4 (26). – С. 13–24. – URL: <http://vestnikvglta.ru/arhiv/2018/4-4-26-2018/13-24.pdf>.
7. Посметьев, В. И. Повышение эффективности гидропривода многофункционального автомобиля для ухода за пологими лесными полосами / В. И. Посметьев, В. О. Никонов // Вестник ВГАУ. – 2017. – № 4 (55). – С. 140–149.
8. Posmetev, V. I. Investigation of the energy-saving hydraulic drive of a multifunctional automobile with a subsystem of accumulation of compressed air energy / V. I. Posmetev, V. O. Nikonov, V. V. Posmetev // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering, ISPCIEТ'2018, № 441 (2018) 012041. Article ID 57204207263, 7 pages. DOI : 10.1088/1757-899X/441/1/012041.
9. Energy efficiency analysis of integrated drive and energy recuperation system for hydraulic excavator boom / Lianpeng Xia, Long Quan, Lei Ge, Yunxiao Hao // Energy Conversion and Management, 156, 2018, Article ID 57196457880, pp. 680-687. DOI : 10.1016/j.enconman.2017.11.074.
10. Potential energy directly conversion and utilization methods used for heavy duty lifting machinery / Yunxiao Hao, Long Quan, Hang Cheng [et al.] // Energy, 155(2018), Article ID 57188722118, pp. 242-251. DOI: 10.1016/j.energy.2018.05.015.
11. Kimihiko Nakano. Combined type self-powered active vibration control of truck cabins / Kimihiko Nakano // Vehicle System Dynamics 41.6 (2004), Article ID 7402011387, pp. 449-473. DOI: 10.1080/00423110512331383858.
12. Rafael Rivelino Silva Bravo. Design and analysis of a parallel hydraulic-pneumatic regenerative braking system for heavy-duty hybrid vehicles / Rafael Rivelino Silva Bravo, Victor Juliano De Negri, Amir Antonio Martins Oliveira //

Applied Energy 225 (2018), Article ID 57201819693, pp. 60-77.DOI : 10.1016/j.apenergy.2018.04.102.

13. Васильев, В. Седельно-сцепное устройство (ССУ) Часть 1 / В. Васильев. URL: <https://os1.ru/article/7250-sedelno-stsepnnoe-ustroystvo-ssu-sedlat-tyagachi-ch-1>.

14. Технический регламент таможенного союза ТРТС 018/2011. О безопасности колесных транспортных средств. – 465 с.

15. ГОСТ 12105-74. Тягачи седельные и полуприцепы. Присоединительные размеры : издание официальное : дата введения 1975-01-01. – Москва : Государственный комитет СССР по стандартам, 1974. – 5 с.

16. ГОСТ 12017-81. Шкворни сцепные автомобильных полуприцепов. Типы и основные размеры : издание официальное : дата введения 1983-01-01. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1981. – 4 с.

17. ГОСТ 28247-89. Устройства седельно-сцепные седельных тягачей. Типы, основные размеры и технические требования : издание официальное : дата введения 1991-01-01. – Москва : Стандартиформ, 2006. – 4 с.

18. ГОСТ Р 50586-93. Шкворни сцепные автомобильных полуприцепов. Технические требования и методы испытаний : издание официальное : дата введения 1995.01.01. – Москва : Госстандарт России, 1995. – 8 с.

19. ГОСТ Р 41.55-2005 (Правила ЕЭК ООН № 55). Единообразные предписания, касающиеся механических сцепных устройств составов транспортных средств : издание официальное : дата введения 2006-07-01. – Москва : Стандартиформ, 2006. – 55 с.

20. ISO 337-1981. Road vehicles – 50 semi-trailer fifth wheel coupling pin – Basic and mounting / interchangeability dimensions. – Introduced 1981-12-01.

21. ISO 1726. Road vehicles – Mechanical coupling between tractors and semi-trailers – Interchangeability. – Introduced 2000-05-15.

22. ISO 4086. Road vehicles – 90 semi-trailer fifth wheel kingpin – Interchangeability. – Introduced 2001-10-15.

23. ISO 3842. Road vehicles – Fifth wheels – Interchangeability. – Introduced 2006-12-15.

24. Закин, Я. Х. Прикладная теория движения автопоезда / Я. Х. Закин. – Москва: Транспорт, 1967. – 258 с.

25. Конструирование и расчет автомобильных поездов / Я. Х. Закин, М. М. Щукин, С. Я. Марголис, П. П. Ширяев, А. С. Андреев. – Ленинград : Машиностроение, 1968. – 332 с.

References

1. Schukin M. M. *Scepnnoe ustroystvo avtomobilei i tyagachei. Konstrukciya, teoriya, raschet* [Coupling car and tractor. Construction, theory, calculation]. MASHGIZ, Gosudarstvennoe nauchno-tehnicheskoe izdatelstvo mashinostroitelnoi literature, Moskva [MASHGIZ, State Scientific and Technical Publishing House of Engineering Literature, Moscow], 1961, 211 p. (In Russian).

2. Kim V. A., Polungyan A. A. *Matematicheskaya model udarnogo nagrujeniya sharnirnogo palcascepnogo ustroystva sedelnogo avtopoezda* [Mathematical model of shock loading of the articulated pin of the fifth wheel coupling]. *Vestnik MGTU im. N. E. Baumana. Ser. «Mashinostroenie»* [Bulletin MGTU them. N. E. Bauman. Ser. "Engineering"], 2004, № 2, pp. 51-61. (In Russian).

3. Posmetev V. I., Nikonov V. O. *Povishenie effektivnosti lesovoznogo avtomobilya s pomoschyu rekuperativnogo gidroprivoda* [Increasing the efficiency of a forest truck with a recuperative hydraulic drive]. *Politematicheski i setevoi elektronii nauchnii jurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University], 2017, № 131(07), 14 p. (In Russian).

4. Posmetev V. I., Nikonov V. O., Posmetev V. V., Latisheva M. A. *Rekuperativni i gidroprivod lesovoznogo avtomobilya* [Recuperative hydraulic drive of a forest truck]. Patent RF, no. 2668093, 2018.

5. Ankinovich G. G., Verjbickii A. N., Jileikin M. M., Skotnikov G. I. *Razrabotka principov povisheniya ustoichivosti avtopoezdov pri ekstrennom tormojenii na pryamolineinom uchastke i otkaze tormoznoi sistemi pricepnogo* [Development of principles for improving the stability of road trains during emergency braking on a straight section and failure of the brake system of the trailer link] *Izvestiya visshih uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie* [Proceedings of higher educational institutions. Engineering], 2016, № 5 (674), pp. 23-29. (In Russian).
6. Nikonov V. O., Posmetev V. I., Juravlev R. V. *Analiz konstruktivnykh osobennostei i tyagovo-scepnih ustroystv gruzovykh avtomobilei s pricepami* [Analysis of the design features of the trailer coupling of trucks with trailers]. *Voronezhskii nauchno-tehnicheskii vestnik* [Voronezh Scientific and Technical Gazette], 2018, Vol. 4, №.4 (26).pp. 13-24. (In Russian).
7. Posmetev V. I., Nikonov V. O. *Povishenie effektivnosti gidroprivoda mnogofunktsionalnogo avtomobilya dlya uhoda za polezaschitnymi lesnymi polosami* [Improving the efficiency of the hydraulic drive of a multifunctional vehicle for the care of forest shelter belts]. *Voronezhskii gosudarstvennii agrarnii universitet im. Imperatora Petra I* [Voronezh State Agrarian University. Emperor Peter I], no4 (55), 2017, pp. 140-149. (In Russian).
8. Posmetev V. I., Nikonov V. O., Posmetev V. V. Investigation of the energy-saving hydraulic drive of a multifunctional automobile with a subsystem of accumulation of compressed air energy, IOP Conference Series : Materials Science and Engineering, ISPCJET'2018, № 441 (2018) 012041, Article ID 57204207263, 7 pages; doi : 10.1088/1757-899X/441/1/012041.
9. Lianpeng Xia, Long Quan, Lei Ge, Yunxiao Hao Energy efficiency analysis of integrated drive and energy recuperation system for hydraulic excavator boom, Energy Conversion and Management, 156, 2018, Article ID 57196457880, pp. 680-687 ;doi : 10.1016/j.enconman.2017.11.074.
10. Yunxiao Hao, Long Quan, Hang Cheng et al. Potential energy directly conversion and utilization methods used for heavy duty lifting machinery, Energy, 155(2018), Article ID 57188722118, pp. 242-251 ;doi: 10.1016/j.energy.2018.05.015.
11. Kimihiko Nakano Combined type self-powered active vibration control of truck cabins // Vehicle System Dynamics 41.6 (2004), Article ID 7402011387, pp. 449-473 ;doi: 10.1080/00423110512331383858.
12. Rafael Rivelino Silva Bravo, Victor Juliano De Negri, Amir Antonio Martins Oliveira Design and analysis of a parallel hydraulic-pneumatic regenerative braking system for heavy-duty hybrid vehicles, Applied Energy 225 (2018), Article ID 57201819693, pp. 60-77 ;. doi : 10.1016/j.apenergy.2018.04.102.
13. Vasilev, V. *Sedelno-scepnoe ustroystvo (SSU) Chast 1* [Fifth wheel coupling (SSU) Part 1] Available at : <https://os1.ru/article/7250-sedelno-stsepnoe-ustroystvo-ssu-sedlat-tyagachi-ch-1> (accessed 10 April 2019). (In Russian).
14. *Tehnicheskii reglament tamojennogo soyuza TRTS 018/2011. O bezopasnosti kolesnykh transportnykh sredstv* [Technical Regulations of the Customs Union TRTS 018/2011. On the safety of wheeled vehicles], 465 p. (In Russian).
15. GOST 12105-74. *Tyagachi sedelnye i polupricepi. Prisoedinitelnye razmeri* [State Standard 12105-74. Truck saddles and semi-trailers. Connecting dimensions]. Moscow, USSR State Committee on Standards, 1974, 5 p. (In Russian).
16. GOST 12017-81. *Shkvorn iscepnie avtomobilnykh polupricepov. Tipi i osnovnye razmeri* [State Standard 12017-81. Pins coupling automobile semi-trailers. Types and main sizes]. Moscow, IPK Publishing house of standards, 1981.4 p. (In Russian).
17. GOST 28247-89. *Ustroystva sedelno-scepnie sedelnykh tyagachei. Tipi, osnovnye razmeri i tehnicheckie trebovaniya* [State Standard 28247-89. Devices saddle-coupled truck tractor. Types, main dimensions and technical requirements]. Moscow, Standardinform, 2006.4 p. (In Russian).
18. GOST R 50586-93. *Shkvorni scepnie avtomobilnykh polupricepov. Tehnicheckie trebovaniya i metody ispitaniya* [State Standard R 50586-93. Pins coupling automobile semi-trailers. Technical requirements and test methods]. Moscow, State Standard of Russia, 1995. 8 p. (In Russian).
19. GOST R 41.55-2005 (*Pravila EEK OON № 55*). *Edinoobraznye predpisaniya, kasayushiesya mehanicheskikh scepnih ustroystv sostavov transportnykh sredstv* [State Standard R 41.55-2005 (UNECE Regulation No.

55).Uniform provisions for mechanical coupling devices of vehicles]. Moscow, Standardinform, 2006. 55 p. (In Russian).

20. ISO 337-1981. Road vehicles – 50 semi-trailer fifth wheel coupling pin – Basic and mounting / interchangeability dimensions. Introduced 1981-12-01.

21. ISO 1726. Road vehicles – Mechanical coupling between tractors and semi-trailers – Interchangeability. Introduced 2000-05-15.

22. ISO 4086. Road vehicles – 90 semi-trailer fifth wheel kingpin – Interchangeability. Introduced 2001-10-15.

23. ISO 3842. Road vehicles – Fifth wheels – Interchangeability. Introduced 2006-12-15.

24. Zakin Ya. H. *Prikladnaya teoriya dvizheniya avtopoezda* [Applied theory of movement of a train]. *Izdatelstvo «Transport», Moskva* [Publishing House "Transport", Moscow], 1967. 258 p.(InRussian).

25. Zakin Ya. H., Schukin M. M., Margolis S. Ya., Shiryaev P. P., Andreev A. S. *Konstrukcii i raschet avtomobilnih poezdov* [Constructions and calculation of car trains]. *Izdatelstvo Mashinostroenie, Leningrad* [Publishing Mashinostroeni, Leningrad], 1968, 106 p. (In Russian).

Сведения об авторах

Посметьев Валерий Иванович – профессор кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», доктор технических наук, профессор, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: posmetyev@mail.ru.

Никонов Вадим Олегович – доцент кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат технических наук, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: 8888nike8888@mail.ru.

Посметьев Виктор Валерьевич – доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат физико-математических наук, доцент, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: victorvpo@mail.ru.

Information about authors

Posmetev Valerii Ivanovich – Professor, department of production, repair and operation of cars, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", DSc (Engineering), Voronezh, Russian Federation; e-mail: posmetyev@mail.ru.

Nikonov Vadim Olegovich – Associate Professor, department of production, repair and operation of cars, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", PhD (Engineering), Voronezh, Russian Federation; e-mail: 8888nike8888@mail.ru.

Posmetev Viktor Valerevich – Associate Professor, department of mechanization of forestry and design of cars, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail:victorvpo@mail.ru.