



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ РЕКУПЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ ЛЕСОВОЗНОГО ТЯГАЧА С ПРИЦЕПОМ-РОСПУСКОМ

Валерий И. Посметьев¹, posmetyev@mail.ru, 0000-0001-9878-7451

Вадим О. Никонов¹ ✉, 8888nike8888@mail.ru, 0000-0002-7380-9180

Виктор В. Посметьев¹, victorvpo@mail.ru, 0000-0001-6622-5358

Алексей Е. Матяшов¹, matyashov-a@bk.ru, 0000-0002-3505-7483

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия

Рассмотрено место автомобильного транспорта в лесозаготовительном производстве. Описаны основные преимущества использования лесовозных тягачей с прицепами-ропусками в сравнении с другими компоновочными схемами лесовозных автопоездов. Приведены последствия воздействующих на шкворень поворотного коника лесовозной площадки динамических нагрузок от частого торможения лесовозного тягача с прицепом-ропуском. Обоснована на основе анализа научных работ зарубежных ученых перспективность направления исследования в области рекуперации различных видов энергии в автомобильном транспорте, позволяющего снизить динамические нагрузки при торможении в шкворне поворотного коника и одновременно накапливать с последующим полезным использованием непроизводительно рассеиваемую в окружающую пространство энергию от сил энергии прицепа-ропуски с пачкой хлыстов. Описаны конструкции основных производителей лесовозных площадок для лесовозных тягачей с прицепами-ропусками. Рассмотрены требования, предъявляемые к лесовозным тягачам с прицепами-ропусками, эксплуатируемыми по дорогам общего пользования. Проанализированы основные силы, действующие на звенья лесовозного тягача с прицепом-ропуском при торможении. Приведены схемы взаимных положений лесовозного тягача с прицепом-ропуском при движении по лесовозной дороге на подъеме, спуске и повороте. Выполнен анализ зависимостей усилий, возникающих в шкворне поворотного коника лесовозной площадки при движении лесовозного тягача с прицепом-ропуском, от радиуса поворота и скорости движения. Предложена перспективная конструкция рекуперативного коникового устройства лесовозной площадки, позволяющая накапливать гидравлическую энергию при частых торможениях лесовозного тягача с прицепом-ропуском с последующим ее полезным использованием в процессе погрузки и разгрузки лесоматериалов гидроманипулятором.

Ключевые слова: вывозка лесоматериалов, лесовозный тягач, прицеп-ропуск, рекуперация гидравлической энергии, коник лесовозного тягача, лесовозная дорога.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Совершенствование системы рекуперации энергии лесовозного тягача с прицепом-ропуском / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев, А. Е. Матяшов // Лесотехнический журнал. – 2021. – Т. 11. – № 2 (42). – С. 149–165. – Библиогр.: с. 162–165 (20 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.2/14>.

Поступила: 23.03.2021 **Принята к публикации:** 05.06.2021 **Опубликована онлайн:** 01.07.2021

IMPROVEMENT OF THE ENERGY RECOVERY SYSTEM OF A TIMBER TRACTOR WITH A LUMBER TRUCK

Valery I. Posmetyev¹, posmetyev@mail.ru,  0000-0001-9878-7451

Vadim O. Nikonov¹ , 8888nike8888@mail.ru,  0000-0002-7380-9180

Viktor V. Posmetyev¹, victorvpo@mail.ru,  0000-0001-6622-5358

Alexey E. Matyashov¹, matyashov-a@bk.ru,  0000-0002-3505-7483

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 8, Timiryazeva street, Voronezh, 394087, Russian Federation

Abstract

The place of road transport in logging production has been considered. The main advantages of using timber tractors with timber drags in comparison with other layout schemes of timber road trains have been described. Consequences of dynamic loads acting on the pivot of the turning bunk of a timber-carrying area from frequent braking of a timber tractor with a timber drag have been given. Based on the analysis of scientific works of foreign scientists, the promising direction of research in the field of recuperation of various types of energy in road transport is substantiated, which makes it possible to reduce dynamic loads during braking in the pivot pin and at the same time accumulate, with subsequent useful use, energy unproductively dissipated into the surrounding space from the energy forces of the trailer with a pack of whips. The design of the main manufacturers of platforms for timber haulers with timber drags has been described. The requirements for timber haulers with timber drags operated on public roads have been considered. The main forces acting on the links of a timber tractor with a timber drag during braking have been analyzed. Diagrams of the mutual positions of a timber tractor with a timber drag when moving along a timber road on the rise, downhill and turn have been given. The analysis of the dependences of the forces arising in the pivot of the swivel bunk of a timber platform during the movement of a timber tractor with a timber drag on the turning radius and speed of movement has been carried out. A promising design of a recuperative bolster device for a timber haulage site has been proposed. It enables to accumulate hydraulic energy during frequent braking of a timber tractor with a timber drag, followed by its use in the process of loading and unloading timber by a hydraulic manipulator.

Keywords: timber haulage, timber tractor, timber drag, hydraulic energy recovery, timber tractor bolster, timber road

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Posmetyev V. I., Nikonov V. O., Posmetyev V. V., Matyashov A. E. (2021) Improvement of the energy recovery system timber tractor with a dismantling trailer. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering journal], Vol. 11, No. 2 (42), pp. 149-165 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.2/14>.

Received: 23.03.2021 **Accepted for publication:** 05.06.2021 **Published online:** 01.07.2021

Введение

Одним из основополагающих звеньев лесозаготовительного производства, от функционирования которого во многом зависит эффективность работы лесозаготовительных предприятий, является лесовозный автомобильный транспорт. Общая доля вывозимых им лесоматериалов от доли вывозимых лесоматериалов всеми видами транспорта составляет порядка 80-85 %.

Это обстоятельство приводит к тому, что перед исследователями и конструкторами, основная область работы которых связана с лесовозными автомобилями, первоочередной задачей является разработка и внедрение мероприятий, направленных на повышение экономической эффективности их функ-

ционирования на основе увеличения скорости, грузоподъемности, сокращения расхода топлива, повышение надежности, безопасности, а также ресурса основных его агрегатов и систем.

Несмотря на то что в европейской части нашей страны заготовка лесоматериалов в виде хлыстов в большинстве случаев не используется, лесозаготовительные предприятия, расположенные на Дальнем Востоке и в Сибири, заготавливают с помощью этой технологии путем вывозки длинномерных лесоматериалов на нижние лесопромышленные склады порядка 20 % всей древесины.

Наиболее эффективным направлением, способствующим повышению производительности лесовозных автомобилей, перевозящих длинномерные лесоматериалы в виде хлыстов, является использование лесовозных автопоездов, включающих в себя буксирный лесовозный тягач, оснащенный поворотным коником, установленным на лесовозной площадке, в который укладывается передняя часть длинномерных лесоматериалов, и прицеп-ропуск, в поворотный коник которого укладывается задняя часть длинномерных лесоматериалов.

Комплектование для вывозки длинномерных лесоматериалов такого лесовозного автопоезда лесовозным тягачом с достаточно мощным двигателем при отсутствии резких подъемов, ограничивающих массу вывозимых длинномерных лесоматериалов, позволяет лесовозному тягачу с прицепом-ропуском вывозить утроенную по сравнению с грузоподъемностью тягового лесовозного тягача массу длинномерных лесоматериалов. Это обстоятельство позволяет лесовозным тягачам с прицепами-ропусками быть более конкурентными по энергетическим затратам при вывозке длинномерных лесоматериалов в сравнении с лесовозными тягачами с полуприцепами и лесовозными автомобилями с прицепами. Кроме этого, при одинаковом среднем расстоянии вывозки сменная выработка лесовозного тягача с прицепом-ропуском превосходит такую же выработку одиночных лесовозных автомобилей или лесовозных автомобилей с двухосными прицепами. Также транспортная работа и расход топлива на единицу выполненной работы лесовозным тягачом с прицепом-ропуском, несмотря на незначительное снижение средней скорости движения, аналогично

превосходит транспортную работу и расход топлива в сравнении с рассматриваемыми лесовозными автомобилями [1].

При движении лесовозного тягача с прицепом-ропуском по недостаточно обустроенным лесовозным дорогам с преобладанием частых подъемов, спусков и поворотов в лесовозной площадке в результате скручивания рамы лесовозного тягача возникают повреждения. Кроме этого, поворотный коник, установленный на этой площадке, воспринимает предельные нагрузки, создаваемые пачкой длинномерных лесоматериалов, вызывающие повышенный износ, дефекты и поломки его основных элементов, которые приводят к снижению надежности лесовозного тягача с прицепом-ропуском при транспортировании длинномерных лесоматериалов. Дополнительно к этому коник лесовозной площадки воспринимает силы инерции массы прицепа-ропуска при разгоне и торможении, изгибающие и скручивающие силы, передаваемые транспортируемыми лесоматериалами при движении лесовозного тягача с прицепом-ропуском по недостаточно обустроенной лесовозной дороге. Эти силы инерции приводят к появлению тепловых потерь в парах трения деталей коника, которые непроизводительно рассеиваются в окружающее пространство.

Для совершенствования конструкции коника лесовозной площадки в направлении, позволяющем сократить расход топлива лесовозным тягачом с прицепом-ропуском, необходимо выполнить основательный анализ и обобщение существующей информации, имеющейся в научной литературе, а также информации, накопленной по аналогичным конструкциям в патентных ведомствах как зарубежных стран, так и России. Анализ многих научных работ российских и зарубежных исследователей подтверждает актуальность и перспективность научного направления, связанного с сокращением расхода топлива лесовозного тягача с прицепом-ропуском на основе внедрения в его конструкцию различных по исполнению рекуперативных механизмов и систем.

M.G. Read (2015) в своей статье исследует устройство маховичного накопителя энергии, соединенного с механической трансмиссией, позволяющее рекуперировать энергию положения авто-

транспортного средства и увеличивать его мощность при разгоне. В последние годы в связи с низкой стоимостью и длительным сроком эксплуатации маховичные накопители энергии получили широкое внимание исследователей. Выполненная в работе оптимизация геометрических параметров маховика и глубины разряда позволила обеспечить баланс между высокой эффективностью трансмиссии, минимальной массой системы, используемой в конкретных условиях эксплуатации автотранспортного средства [2].

Yuxin Zhang (2015) в своей работе с целью совершенствования конструкции автомобиля, улучшения комфорта его управления выполнил исследование на основе математического моделирования главных характеристик предлагаемой рекуперативной подвески. Выявлено, что оптимальное значение рекуперированной мощности, вырабатываемой каждой отдельной подвеской, составляет 33,4 Вт [3].

В работе Prabhat Ranjan (2020) предлагается перспективная гибридная система, позволяющая использовать потенциальную гравитационную энергию в процессе функционирования гидравлического привода стрелы экскаватора в виде энергии давления рабочей жидкости, накапливаемой в пневмогидравлическом аккумуляторе. Выполненное исследование этой системы показало, что она на 10 % энергоэффективнее по сравнению с использованием традиционной системы [4].

Yuri I. A. Morangueira (2020) в своей статье приводит результаты исследования рекуперации энергии в подвеске транспортного средства, которое основано на преобразовании вибраций при движении транспортного средства по неровностям дороги электромагнитными и пьезоэлектрическими устройствами в электрическую энергию с последующим ее накоплением и использованием для питания встроенных электронных устройств транспортного средства [5].

Wei Yu (2019) в своей работе выполнил комплексное исследование одновременно используемых в автомобиле с гибридным приводом технологий рекуперации энергии торможения, вибрации подвески и выхлопа. Предложенная

стратегия управления рекуперацией этих видов энергии позволяет повысить эффективность функционирования системы за счет оптимального хранения и использования накапливаемой энергии [6].

Emiliano Pipitone (2020) выполнил исследование системы рекуперации кинетической энергии для автомобиля с двигателем внутреннего сгорания. Предварительная оценка этой системы, проведенная на основе численного моделирования, позволила определить, что использование суперконденсаторов в качестве накопителей энергии дает возможность экономить до 20 % энергии [7].

Junyi Zou (2019) в своих исследованиях предлагает для повышения комфорта езды с одновременной возможностью рекуперации энергии использовать в конструкции транспортного средства гидравлически взаимосвязанную подвеску на основе энергоэффективных амортизаторов. Результаты, полученные путем использования математического моделирования, подтверждают улучшение комфортности езды, а также эффективность накопления и повторного использования энергии для питания электрооборудования автомобиля [8].

Jiansong Li (2021) в своей работе выполнил анализ гибридных гидроприводов, используемых в транспортных средствах с электрическими, гидравлическими и маховичными системами рекуперации энергии. Результаты показали, что использование маховичных систем рекуперации в сравнении с другими системами обладает большей удельной мощностью, энергоэффективностью, сроком службы, а также меньшим воздействием на окружающую среду [9].

Ding Luo (2019) рассматривает эффективность применения в транспортных средствах термоэлектрических генераторов, позволяющих напрямую преобразовывать отработанное тепло, выбрасываемое двигателем, в электричество. Согласно результатам, полученным с помощью математической модели, установлено, что мощность термоэлектрических генераторов при рекуперации энергии сильно зависит от температуры и массового расхода выхлопных газов [10].

Vyacheslav Rasov (2020) в своей статье предлагает метод оценки влияния рекуперативного торможения с учетом применяемого ездового цикла на изменение расхода топлива, выбросы загрязняющих веществ в окружающую среду транспортными средствами, эксплуатируемыми в условиях, приводящих к частым ускорениям и замедлениям. Согласно полученным результатам выявлено, что выбросы в окружающую среду снижаются до 6,3 %, а расход топлива при циклических ускорениях и замедлениях в диапазоне скоростей от 0 до 40 км/ч снижается на 6-8 % [11].

В работе [12] В.И. Посметьевым предложена новая перспективная конструкция рекуперативного пружинно-гидравлического седельно-сцепного устройства, используемого в лесовозном тягаче с полуприцепом. Разработанная имитационная модель позволила установить, что использование такого устройства при эксплуатации лесовозного тягача с полуприцепом по недостаточно обустроенным лесовозным дорогам позволит обеспечить среднюю рекуперированную мощность от 7 до 8,4 кВт.

В статье [13] В.О. Никонова предлагается разработанная перспективная конструкция пневмогидравлического тягово-сцепного устройства, позволяющая накапливать и повторно использовать в технологическом процессе энергию рабочей жидкости. Данная конструкция монтируется на лесовозных автомобилях с прицепами, условия эксплуатации которых характеризуются наличием на лесовозной дороге неровностей, препятствий, дефектов, а также частых подъемов и спусков. Предварительные исследования, выполненные на основе разработанной компьютерной программы, позволили определить, что максимальная рекуперированная мощность, составляющая 4,7 кВт, достигается при диаметре плунжерной полости предлагаемого устройства 49 мм.

Учитывая существующие конструкторские разработки в области рекуперативных систем и механизмов, используемых в автомобильных транспортных средствах для повышения их энергоэффективности, можно заключить, что в настоящее время еще не создано удовлетворяющих требованиям потребителей рекуперативных ко-

никовых устройств лесовозных площадок, устанавливаемых на лесовозных тягачах с прицепами-ропусками. В этой связи приобретает актуальность разработка и исследование удовлетворяющих требованиям потребителей систем и механизмов, позволяющих повысить их эффективность за счет процессов накопления кинетической энергии, возникающей при торможении автопоезда, с дальнейшим ее использованием при функционировании технологического гидравлического оборудования лесовозного тягача с прицепом-ропуском.

Целью исследования является разработка с учетом условий эксплуатации, требований, предъявляемых к лесовозным автопоездам, и нагрузок, возникающих при торможении в их звеньях, перспективной конструкции рекуперативного коникового устройства лесовозного тягача с прицепом-ропуском.

Материалы и методы

Основу исследования составил анализ научных работ как зарубежных, так и российских ученых, занимающихся вопросами повышения эффективности автомобильных транспортных средств путем использования в их конструкции различных рекуперативных механизмов и систем, основанных на накоплении и повторном применении различных видов энергии.

Результаты и обсуждение

Лесовозные тягачи с прицепами-ропусками с учетом требований, представленных в техническом регламенте Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств» (ТР ТС 018/2011), с целью повышения эффективности и безопасности транспортирования длинномерных лесоматериалов должны оснащаться специальными лесовозными площадками, включающими в себя ограждения для защиты кабины от возможных ударов, случайных задеваний ее комлями стволов в процессе погрузки и вывозки длинномерных лесоматериалов, подковой рамой со смонтированными на ней поворотными кониками, тягово-сцепным устройством для соединения с дышлом прицепа-ропуски. Кроме этого, стойки поворотных коников лесовозного тягача с прицепом-ропуском должны быть оснащены специальными замками, которые

могут открываться с противоположной стороны относительно разгружаемых длинномерных лесоматериалов. Кроме этого, лесовозный тягач с прицепом-ропуском должен быть оснащен инвентарными увязочными приспособлениями для обвязки длинномерных лесоматериалов между поворотными кониками. Увеличение высоты поворотных коников путем их наращивания, нарушение креплений стоек поворотных коников, крестовой сцепки, цепей и троса стоек поворотного коника не допускается.

Коник лесовозного тягача, являющийся поворотным устройством, обеспечивает передачу нагрузки на подкониковую раму и раму лесовозного тягача от размещаемых на нем длинномерных лесоматериалов. Поворотные коники позволяют при маневрировании по недостаточно обустроенным лесовозным дорогам повысить устойчивость пакета лесоматериалов за счет его удержания, препятствуя скатыванию и перемещению, а также обеспечить более устойчивое движение лесовозного тягача с прицепом-ропуском за счет равномерного распределения нагрузки от пакета лесоматериалов. Кроме этого, использование поворотных коников позволяет увеличить высоту бортов и вместимость лесовозного тягача с прицепом-ропуском. Классификация вертикальных поворотных коников, используемых в конструкциях лесовозных автомобилей, прицепов, полуприцепов, прицепов-ропусков приведена на рис. 1.

Основные конструкции лесовозных площадок, устанавливаемых на лесовозных тягачах с прицепами-ропусками, представлены на рис. 2 [14].

Лесовозные тягачи с прицепами-ропусками могут эксплуатироваться в процессе вывозки длинномерных лесоматериалов по магистральным дорогам, временным подъездным дорогам с упрощенным покрытием, по дорогам бетонного и колейного типа, преодолевая затяжные подъемы, спуски, неровности, дефекты и имеющиеся на лесовозных дорогах препятствия. Использование лесовозных тягачей с прицепами-ропусками при вывозке длинномерных лесоматериалов по дорогам общего пользования имеет ограничения. Нормативами установлены ограничения на максимальную высоту h загруженного лесовозного

тягача с прицепом-ропуском ($h \leq 4$ м), длину l автопоезда ($l \leq 20$ м), его ширину b ($b \leq 2,55$ м), а также на длину l_c свеса длинномерных лесоматериалов относительно заднего габарита прицепа-ропуски ($l_c \leq 2$ м).

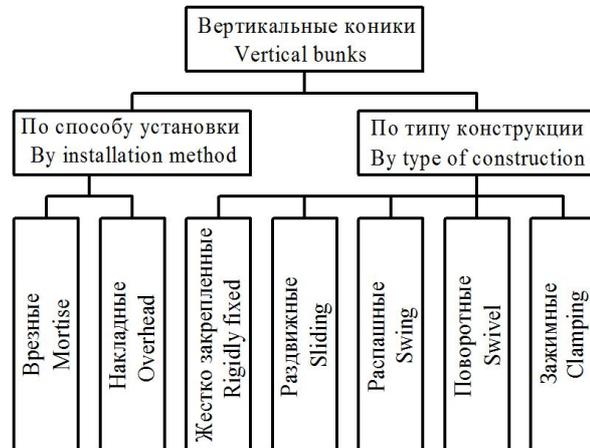


Рис. 1. Классификация вертикальных коников

Figure 1. Classification of vertical bunks

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

Также для обеспечения условий безопасности при преодолении лесовозным тягачом с прицепом-ропуском поворотов малого радиуса расстояние s между торцами длинномерных лесоматериалов, размещенных на поворотном конике лесовозного тягача и защитным ограждением, не должно быть менее 0,6 м (рис. 3)

Минимальное расстояние между лесовозным тягачом и прицепом-ропуском зависит от их конструктивного исполнения. На практике в процессе вывозки длинномерных лесоматериалов по дорогам общего пользования поворотные коники лесовозного тягача обычно перегружены, а поворотные коники прицепа-ропуски, наоборот, недогружены. В процессе же вывозки длинномерных лесоматериалов лесовозным тягачом с прицепом-ропуском по лесовозным дорогам нагрузки на поворотные коники лесовозного тягача и прицепа-ропуски распределяются более равномерно, так как свес l_c вершинной части длинномерных лесоматериалов за балку поворотного коника прицепа-ропуски больше, чем 2 м. Однако для исключения возможности соприкосновения длинномерных лесоматериалов с

лесовозной дорогой в процессе их вывозки необходимо, чтобы длина свеса l_c при движении лесовозного тягача с прицепом-ропуском по горизонтальному участку лесовозной дороги обеспе-

чивала просвет s между лесовозной дорогой и длинномерными лесоматериалами не менее 0,6 м [15].

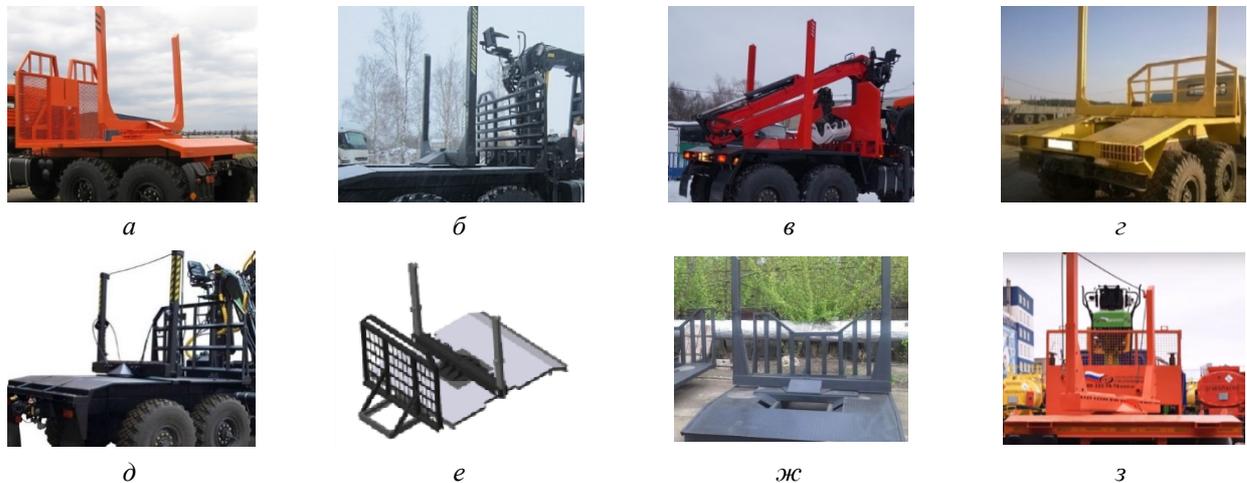


Рис. 2. Лесовозные площадки для ЛТ с ПР: *a* – «АВТОПРИЦЕП»; *б* – «ЯРЛЕСМАШ»;
в – ООО «НАБИ»; *г* – ООО «ПСК ТРАСТ»; *д* – ООО «РУССКИЙ ГРУЗОВИК»; *е* – «ТЭК-КРАН»;
ж – «АВТОСПЕЦТЕХНИК»; *з* – «УРАЛЬСКИЙ ЗАВОД СПЕЦТЕХНИКИ»
 Figure 2. Timber sites for LT with PR: *a* – "AUTO TRAILER"; *b* – "YARLESMASH"; *c* – LLC "NABI";
d – LLC PSK TRUST; *e* – LLC RUSSKIY GRUZOVIK; *f* – "TEK-KRAN"; *g* – "AUTOSPETSTECHNIK";
h – "URAL SPECIAL EQUIPMENT PLANT"

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

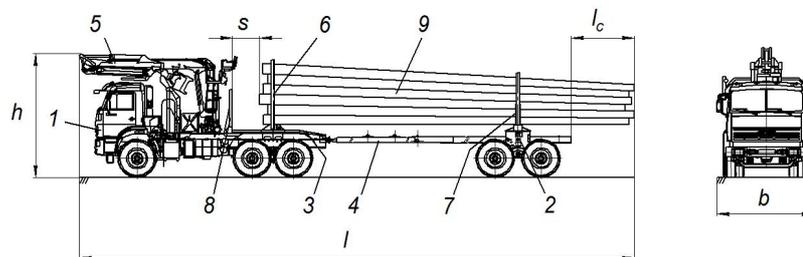


Рис. 3. Общий вид лесовозного тягача с прицепом-ропуском, используемого на дорогах общего пользования:
l – лесовозный тягач; 2 – прицеп-ропуск; 3 – лесовозная площадка; 4 – дышло; 5 – гидроманипулятор;
б – коник лесовозной площадки; 7 – коник прицепа-ропуска; 8 – защитное ограждение кабины;
9 – пакет длинномерных лесоматериалов; *h* – высота лесовозного тягача с прицепом-ропуском в погруженном состоянии; *l* – длина лесовозного тягача с прицепом-ропуском; *b* – ширина лесовозного тягача с прицепом-ропуском; *s* – зазор между защитным ограждением кабины лесовозного тягача и торцами комлевой части пакета длинномерных лесоматериалов; *l_c* – свес пакета длинномерных лесоматериалов сзади за габарит прицепа-ропуска

Figure 3. General view of a timber tractor with a dismantling trailer used on public roads use: *l* – timber tractor; 2 – dismantling trailer; 3 – logging site; 4 – drawbar; 5 – hydraulic manipulator; *б* – bunks of the logging site; 7 – bunk of the trailer-dissolution; 8 – protective cab fencing; 9 – a package of long timber; *h* – the height of the timber tractor with a submerged dismantling trailer; *l* – the length of the logging tractor with a dismantling trailer; *b* – the width of the timber tractor with a dismantling trailer; *s* – the gap between the cab guard timber tractor and butt ends of a package of long timber; *l_c* – overhang of a package of long timber at the rear beyond the size of the dismantling trailer

Источник: собственная схема авторов

Source: authors' own schema

Для вписывания лесовозного тягача с прицепом-ропуском в повороты малого радиуса, а также для достижения совпадения пути следования колес лесовозного тягача с колесами прицепа-ропуска устанавливают дополнительно к жесткой дышлавой сцепке тросовую крестообразную сцепку. Кроме этого, с целью обеспечения безопасности движения лесовозного тягача с прицепом-ропуском на поворотах малого радиуса конструкция поворотного коника предусматривает вращение в горизонтальной плоскости на угол до 45° . Для исключения возможности воздействий на раму лесовозного тягача длинномерных лесоматериалов в точках *A* и *B* в процессе их вывозки по недостаточно обустроенным лесовозным дорогам за счет изменения расстояния на значение *x* и *y* между поворотными кониками и длинномерными лесоматериалами при подъеме и спуске необходимо, чтобы поворотный коник лесовозного тягача обеспечивал более высокое размещение этих лесоматериалов (рис. 4, *a*, *b*). В процессе поворота лесовозного тягача с прицепом-ропуском расстояние между поворотными кониками лесовозного тягача и прицепом-ропуском уменьшается, что приводит к возникновению растягивающих усилий в дышле и длинномерных лесоматериалах. При большой величине этих усилий происходит проскальзывание длинномерных лесоматериалов по коникам, поворот в вертикальной плоскости рамы прицепа-ропуска, продольный прогиб длинномерных лесоматериалов, а также боковое скольжение прицепа-ропуска и лесовозного тягача. Так, при повороте лесовозного тягача с прицепом-ропуском на угол α проскальзывание пачки длинномерных лесоматериалов на поворотном конике изменяется на величину *z* (рис. 4, *в*) [16, 17].

В процессе движения лесовозного тягача с прицепом-ропуском по недостаточно обустроенной лесовозной дороге происходит непрерывное взаимодействие его звеньев между собой, которое обусловлено несовпадением ускорений центров масс лесовозного тягача и прицепа-ропуска с длинномерными лесоматериалами. Наибольшие

продольные силы возникают при торможении лесовозного тягача с прицепом-ропуском [18]. Схема основных сил, действующих на звенья лесовозного тягача с прицепом-ропуском при торможении, приведена на рис. 5.

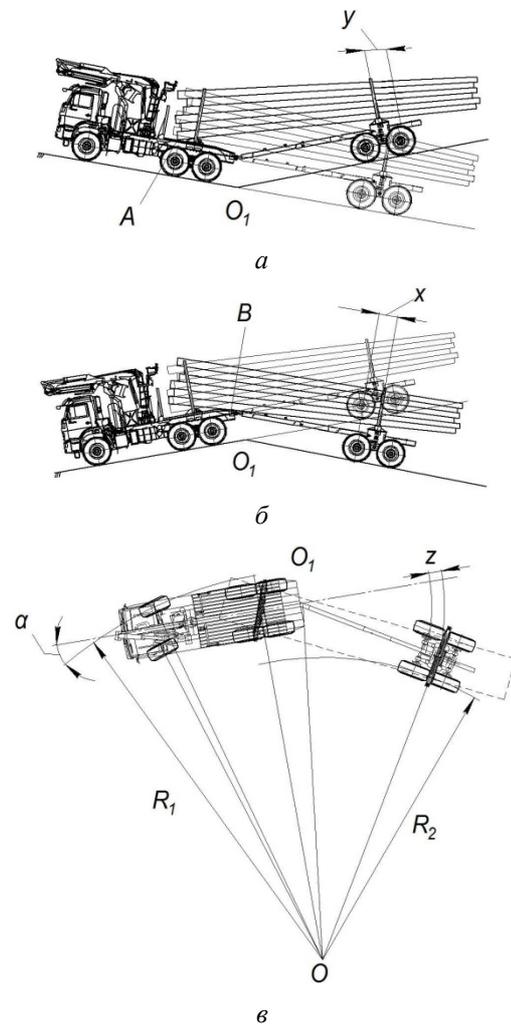


Рис. 4. Схемы возможных взаимных положений лесовозного тягача с прицепом-ропуском при движении по недостаточно обустроенным лесовозным дорогам: с подъемом – *a*; со спуском – *b*; на повороте – *в*

Figure 4. Schemes of possible mutual the positions of the timber tractor with the dismantling trailer when driving on is not enough equipped logging roads: with a rise – *a*; with descent – *b*; on the bend – *c*

Источник: собственные схемы авторов
Source: authors' own schemes

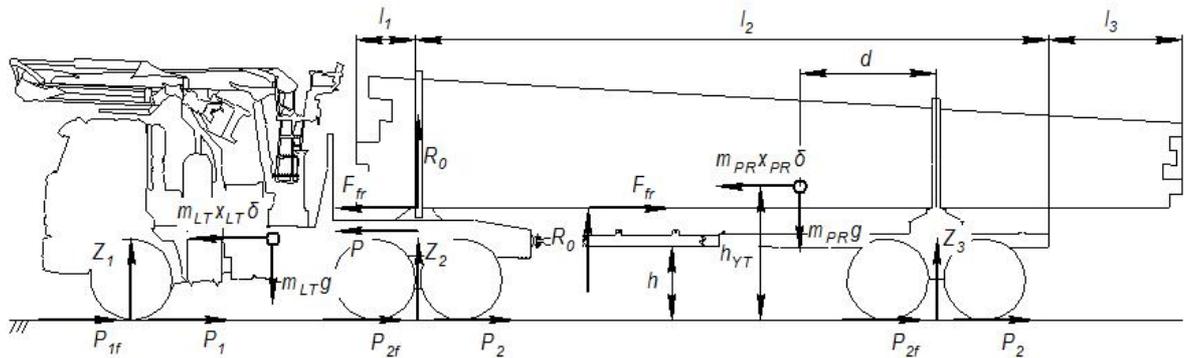


Рис. 5. Схема основных сил, действующих на звенья лесовозного тягача с прицепом-ропуском при торможении:

F_{fr} – сила трения между опорой лесовозного тягача и длинномерными лесоматериалами;

P – усилие в соединении поворотный коник лесовозного тягача – лесовозный тягач; R_0 – силы реакции опоры;

P_1, P_2, P_3 – тормозные силы, приложенные к колесам лесовозного тягача с прицепом-ропуском; P_{1f}, P_{2f}, P_{3f} – силы сопротивления качению лесовозного тягача с прицепом-ропуском; l_1 – передний свес длинномерных лесоматериалов;

l_2 – межопорная длина лесоматериалов; l_3 – задний свес длинномерных лесоматериалов; x_{LT} и x_{PR} – координаты центра масс лесовозного тягача и прицепа-ропуску; Z_1, Z_2, Z_3 – реакции лесовозной дороги на оси лесовозного тягача с прицепом-ропуском; h – расстояние от дышла прицепа-ропуску до опорной поверхности лесовозной дороги; h_{YT} – высота центра масс ведомого звена лесовозного тягача с прицепом-ропуском; d – расстояние от центра масс ведомого звена лесовозного тягача с прицепом-ропуском до условной опоры прицепа-ропуску; m_{LT} – масса лесовозного тягача; m_{PR} – масса ведомого звена лесовозного тягача с прицепом-ропуском; δ и δ_1 – коэффициенты, учитывающие изменение масс лесовозного тягача и прицепа-ропуску за счет инерции вращающихся масс лесовозного тягача с прицепом-ропуском; g – ускорение свободного падения

Figure 5. Diagram of the main forces acting on the links of a timber tractor with a dismantling trailer when braking: F_{fr} – friction force between the support of the timber tractor and long timber; R_0 – support reaction forces; P_1, P_2, P_3 – braking forces applied to the wheels of a timber tractor with by a dismantling trailer; P_{1f}, P_{2f}, P_{3f} – rolling resistance forces of a timber tractor with a dismantling trailer; l_1 – front overhang of long timber; l_2 – inter-support length of timber; l_3 – rear overhang of long timber; x_{LT} and x_{PR} – coordinates of the center of mass of the timber tractor and the dismantling trailer; Z_1, Z_2, Z_3 – reactions of a timber road on the axle of a timber tractor with a dismantling trailer; h – the distance from the drawbar of the dismantling trailer to the supporting surface of the timber road; h_{YT} – the height of the center of mass of the driven link of the timber tractor with a dismantling trailer; d – the distance from the center of mass of the driven link of the timber tractor with by the dismantling trailer to the conditional support of the dismantling trailer; m_{LT} – the mass of the timber tractor; m_{PR} – mass a driven link of a timber tractor with a dismantling trailer; δ and δ_1 – coefficients that take into account the change in the masses of the timber tractor and the dismantling trailer due to the inertia of the rotating masses of the timber a tractor with a dismantling trailer; g – acceleration of gravity

Источник: собственная схема авторов

Source: authors' own scheme

В работе В.В. Петрухина (2018) установлено, что при увеличении силы тяжести лесовозного тягача с прицепом-ропуском суммарная тормозная сила и продолжительность ее нарастания повышается до тех пор, пока на всех осях тормозные силы не будут ограничены моментами. Распределение веса лесовозного тягача с прицепом-ропуском по осям при торможении определяется на основании следующих зависимостей [19]:

$$Z_1 = \frac{G_{LT} \cdot C_{LT}}{B} + \frac{G_{PL} \cdot l_0 - C_{PL} \cdot b}{l_0 \cdot B} + \frac{G_{PL} \cdot h_{PL} \cdot b}{g \cdot l_0 \cdot B} \cdot j +$$

$$+ \frac{G_{LT} \cdot h_{LT}}{g \cdot B} \cdot j + \frac{G_{PL} \cdot H}{g \cdot B} \cdot j + \frac{G_{PR} \cdot h_{PR}}{g \cdot B} \cdot j;$$

$$Z_1 = \frac{G_{LT} \cdot (B - C_{LT})}{B} + \frac{G_{PL} \cdot l_0 - C_{PL} \cdot (B - b)}{l_0 \cdot B} +$$

$$+ \frac{G_{PL} \cdot h_{PL} \cdot (B - b)}{g \cdot l_0 \cdot B} \cdot j - \frac{G_{LT} \cdot h_{LT}}{g \cdot B} \cdot j -$$

$$- \frac{G_{PL} \cdot H}{g \cdot B} \cdot j - \frac{G_{PR} \cdot h_{PR}}{g \cdot B} \cdot j;$$

$$Z_3 = G_{PR} + \frac{G_{PL} \cdot C_{PL}}{l_0} - \frac{G_{PL} \cdot h_{PL} \cdot j}{g \cdot l_0},$$

где G_{LT} – сила тяжести лесовозного тягача; G_{PL} – вес пачки длинномерных лесоматериалов; G_{PR} – вес прицепа-ропуса; l_0 – расстояние между поворотными кониками; C_{LT} – координата центра тяжести лесовозного тягача от задней оси; H – высота коника от поверхности лесовозной дороги; b – смещение поворотного коника лесовозного тягача; h_{LT} – высота центра тяжести лесовозного тягача; h_{PL} – высота центра тяжести пачки длинномерных лесоматериалов; h_{PR} – высота центра тяжести прицепа-ропуса; C_{PL} – координата центра тяжести пакета длинномерных лесоматериалов от поворотного коника; B – база лесовозного тягача; j – установившееся замедление; g – ускорение свободного падения.

Распределение силы тяжести перевозимых длинномерных лесоматериалов по элементам лесовозного тягача с прицепом-ропусом оказывает значительное влияние как на надежность функционирования лесовозного тягача с прицепом-ропусом, так и на его эксплуатационные показатели. Эксплуатация лесовозного тягача с прицепом-ропусом с неравномерной загрузкой поворотных коников лесовозного тягача и прицепа-ропуса недопустима, так как является причиной ускоренного износа и частых поломок основных узлов и деталей лесовозного тягача с прицепом-ропусом, а также быстрого разрушения лесовозной дороги из-за превышения нормативных значений осевых нагрузок, что в совокупности способствует снижению экономической эффективности лесовозного тягача с прицепом-ропусом. Практика вывозки длинномерных лесоматериалов лесовозными тягачами с прицепами-ропусами показывает, что рама лесовозного тягача воспринимает значительную нагрузку от лесоматериалов, размещенных на поворотном конике. Воспринимаемая рамой лесовозного тягача нагрузка приводит к появлению трещин на верхних полках лонжеронов подкониковой рамы. Также при эксплуатации лесовозного тягача с прицепом-ропусом наблюдается возникновение прогиба основания поворотного коника и отрыв шкворня от гнезда подкониковой рамы лесовозного тягача.

Движение лесовозного тягача с прицепом-ропусом по лесовозной дороге со значительной

кривизной как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости приводит к вращению длинномерных лесоматериалов, их уплотнению, оседанию, вызывающему эффект распираания поворотных коников, сопровождающегося появлением значительных напряжений в тяговых балках и стойках лесовозного тягача и прицепа-ропуса, их преждевременному износу и поломкам. При ускоренном движении лесовозного тягача с прицепом-ропусом на подъем нагрузка на поворотный коник лесовозного тягача уменьшается, а на поворотный коник прицепа-ропуса увеличивается. Кроме этого, при преодолении лесовозным тягачом с прицепом-ропусом поворота малого радиуса стойка поворотного коника воспринимает центробежную силу от массы погруженных на лесовозный тягач с прицепом-ропусом длинномерных лесоматериалов.

Кинематическое несоответствие элементов крестообразной сцепки заделок поворотных коников лесовозного тягача и прицепа-ропуса, дышла и буксирной рамки способствует значительному росту нагрузок и напряжений в этих звеньях, особенно при движении по кривым минимальных радиусов и, как следствие, ухудшению поворотливости лесовозного тягача с прицепом-ропусом, перетяжению этих звеньев, значительному износу и преждевременным отказам этих узлов [14].

Возникающие в дышле лесовозного тягача с прицепом-ропусом горизонтальные и вертикальные усилия, имеющие знакопеременный характер, зависят от массы транспортируемых лесоматериалов и дышла, воздействующей на соединение буксирная рамка – наконечник дышла. Кроме этого, они зависят от тягового усилия, воспринимаемого дышлом в процессе прямолинейного движения, а также от возникающего усилия сжатия дышла, проявляющегося при кинематическом несоответствии конструктивных параметров лесовозного тягача с прицепом-ропусом и крестообразной сцепки. Данное кинематическое несоответствие способствует изменению значения горизонтальной составляющей усилия на поворотном конике лесовозного тягача P [20].

В связи с кинематическим рассогласованием крестообразной сцепки существенное влияние на усилие P в соединении поворотный коник лесовозного тягача – лесовозный тягач оказывает радиус

поворота лесовозного тягача с прицепом-ропуском (рис. 6).

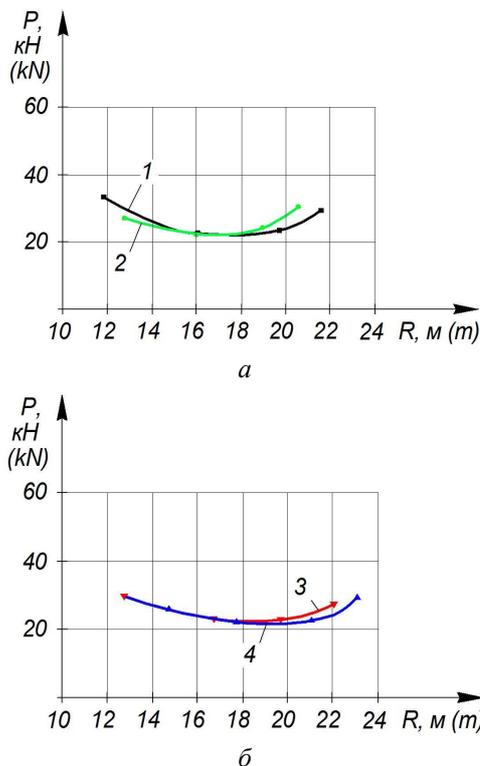


Рис. 6. Зависимости усилий P в соединении поворотный коник лесовозного тягача – лесовозный тягач от скорости V движения лесовозного тягача с прицепом-ропуском: a – изменение усилий P от радиуса R при $V = 1,88-1,98$ м/с (1) и $V = 2,02-2,19$ м/с (2); $б$ – изменение усилий P от радиуса R при $V = 4,1-4,12$ м/с (3) и $V = 6,15-6,17$ м/с (4)

Figure 6. Dependencies of efforts P in the connection pivoting bunk of a timber tractor – timber tractor from the speed V of the movement of the timber tractor with trailer-dismantling: a – change of efforts P from radius R at $V = 1.88-1.98$ m / s (1) and $V = 2.02-2.19$ m / s (2); $б$ – change of efforts P from radius R at $V = 4.1-4.12$ m / s (3) and $V = 6.15-6.17$ m / s (4)

Источник: собственные вычисления авторов
Source: authors' own calculations

Усилие Q , направленное вдоль оси вывозимых длинномерных лесоматериалов, определяющее напряжение в шкворневых узлах поворотных коников лесовозного тягача и прицепа-ропуски, с ростом радиуса уменьшается существенно, достигая своего максимума в 35 кН при R_{min} .

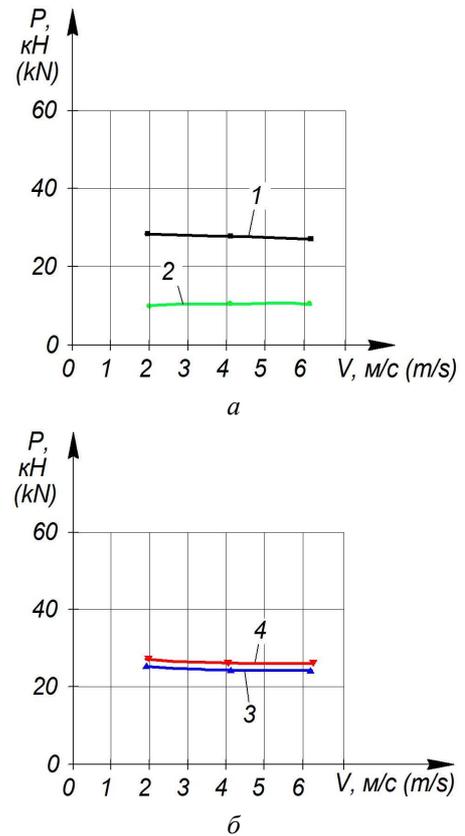


Рис. 7. Зависимости усилий P в соединении поворотный коник лесовозного тягача – лесовозный тягач от радиуса R поворота лесовозного тягача с прицепом-ропуском: a – при радиусе поворота $R = 13$ м (1), при $R = 18$ м (2); $б$ – при радиусе поворота $R = 21$ м (3), при $R = 23$ м (4)

Figure 7. Dependencies of efforts P in the connection pivoting bunk of a logging tractor – a logging tractor from the turning radius R of a logging tractor with a dismantling trailer: a – at a turning radius $R = 13$ m (1), with $R = 18$ m (2); $б$ – at radius turn $R = 21$ m (3), with $R = 23$ m (4)

Источник: собственные вычисления авторов
Source: authors' own calculations

Из анализа кривых (рис. 7), описывающих силовое взаимодействие между поворотным коником лесовозного тягача и лесовозным тягачом при изменении скорости движения лесовозного тягача с прицепом-ропуском, видно, что почти во всех рассматриваемых случаях с увеличением скорости движения лесовозного тягача с прицепом-ропуском под влиянием вибраций и центробежных сил перемещения длинномерных лесоматериалов в процессе их

вывозки относительно поворотных коников, в том числе при их взаимном перемещении, значение усилий Q остается почти постоянными.

Результаты анализа, а также множественные исследования, выполненные авторами, позволили с целью повышения эффективности и уровня конструк-

тивного совершенства лесовозных автопоездов разработать перспективную конструкцию рекуперативного коникового устройства лесовозной площадки для лесовозного тягача с прицепом-ропуском, схема которого приведена на рис. 8.

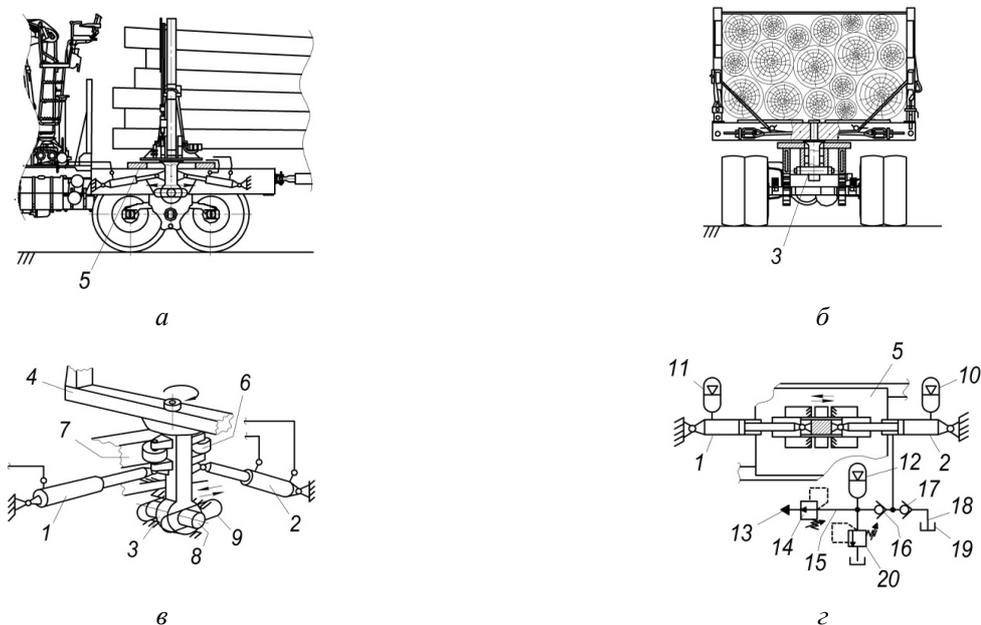


Рис. 8. Предлагаемое рекуперативное кониковое устройство лесовозной площадки лесовозного тягача с прицепом-ропуском: *a, б* – общий вид расположения на лесовозном тягаче рекуперативного коникового устройства; *в* – схема основных конструктивных элементов рекуперативного коникового устройства; *г* – гидропривод рекуперативного коникового устройства; 1 – гидроцилиндр одностороннего действия; 2 – гидроцилиндр двустороннего действия; 3 – шкворень; 4 – поворотный коник лесовозной площадки; 5 – усиленная опорная плита; 6 – ролик; 7 – опорная поверхность скольжения; 8 – ограничитель; 9 – направляющие пазы; 10-12 – пневмогидравлические аккумуляторы; 13 – порт подачи гидравлической энергии потребителю; 14 – регулируемый редукционный клапан; 15 – напорный трубопровод; 16, 17 – обратные клапаны; 18 – всасывающий трубопровод; 19 – гидробак; 20 – регулируемый предохранительный клапан

Figure 8. The proposed recuperative conical device of the logging site of the logging tractor with by a dismantling trailer: *a, b* – general view of the location of the recuperative conical device on the timber tractor; *c* – a diagram of the main structural elements of the recuperative conical device; *d* – hydraulic drive recuperative conical device; 1 – single-acting hydraulic cylinder; 2 – hydraulic cylinder double-acting; 3 – kingpin; 4 – swivel bunk of the logging area; 5 – reinforced base plate; 6 – roller; 7 – supporting sliding surface; 8 – limiter; 9 – guide grooves; 10-12 – pneumohydraulic accumulators; 13 – port for supplying hydraulic energy to the consumer; 14 – adjustable pressure reducing valve; 15 – pressure pipeline; 16, 17 – check valves; 18 – suction pipeline; 19 – hydraulic tank; 20 – adjustable safety valve

Источник: собственные схемы авторов

Source: authors' own schemes

Работа рекуперативного коникового устройства лесовозной площадки лесовозного тягача с прицепом-ропуском заключается в накоплении, преобразовании и полезном использовании кинетической энергии от массы прицепа-ропуска с длинномерными лесоматериалами, возникающей при торможении лесовозного тягача с прицепом-ропуском в процессе движения по недостаточно обустроенным лесовозным дорогам. Накопленная в процессе функционирования рекуперативного коникового устройства энергия рабочей жидкости в дальнейшем используется в технологическом гидравлическом оборудовании лесовозного тягача с прицепом-ропуском.

Рекуперативное кониковое устройство монтируется в средней части рамы лесовозного тягача (рис. 8, а, б). В неподвижном состоянии лесовозного тягача с прицепом-ропуском шкворень 3 поворотного коника 4 находится в нейтральном состоянии за счет усилия, создаваемого с левой стороны гидроцилиндром одностороннего действия 1 и с правой стороны гидроцилиндром двустороннего действия 2 (рис. 8, в). При этом шкворень 3 поворотного коника 4 установлен в круглое отверстие усиленной опорной плиты 5 лесовозной площадки в положение, при котором между его основанием и контурами отверстия предусмотрен зазор 70 мм. Шкворень 3 установлен с возможностью перемещения в горизонтальной плоскости вперед и назад за счет предусмотренных в конструкции роликов 6, скользящих по опорной поверхности 7, а также ограничителей 8, перемещающихся в направляющих пазах 9.

Функционирование рекуперативного коникового устройства лесовозной площадки при движении лесовозного тягача с прицепом-ропуском с отрицательным ускорением при торможении заключается в следующем. Под воздействием на лесовозный тягач силы инерции со стороны массы движущегося прицепа-ропуска с пачкой длинномерных лесоматериалов происходит перемещение шкворня в горизонтальной плоскости влево (например, на рис. 8, г) с соединенными шарнирно с ним штоками одностороннего 1 и двустороннего 2 гидроцилиндров. Шток гидроцилиндра 1 двустороннего действия 2, перемещаясь влево, сжимает рабочую жидкость в што-

ковой полости, которая за счет гидравлической магистрали, обратного клапана 16 поступает в пневмогидравлический аккумулятор 12. Этим обеспечивается рекуперация энергии рабочей жидкости, которая под возросшим давлением поступает либо непосредственно потребителю через порт 13, либо в случае полной зарядки пневмогидравлического аккумулятора 12 сбрасывается через регулируемый предохранительный клапан 20 в гидробак 19. Шток одностороннего гидроцилиндра 1, перемещаясь влево, сжимает рабочую жидкость в поршневой полости, которая посредством гидравлической магистрали поступает в пневмогидравлический аккумулятор 11, выполняющий функции демпферного механизма.

Возвращение одностороннего 1 и двустороннего 2 гидроцилиндров в исходное положение после окончания торможения происходит за счет давления рабочей жидкости в пневмогидравлическом аккумуляторе 10 и 11, при этом из-за образующегося разрежения в штоковой полости двустороннего гидроцилиндра 2 рабочая жидкость поступает в нее из гидробака 19 через всасывающую магистраль 18 и обратный клапан 17. Далее в процессе дальнейшего движения лесовозного тягача с прицепом-ропуском при каждом торможении рабочие циклы функционирования рекуперативного коникового устройства лесовозного тягача с прицепом-ропуском повторяются аналогично приведенному выше описанию.

Выводы

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

– в настоящее время во всем мире активно ведутся научные и конструкторские разработки в области повышения топливной экономичности автомобильного транспорта на основе использования перспективных рекуперативных механизмов и систем, преобразующих и накапливающих различные виды энергии;

– рассмотренные условия эксплуатации в процессе вывозки длинномерных лесоматериалов лесовозным тягачом с прицепом-ропуском, характеризующиеся движением по недостаточно обустроенным лесовозным дорогам с наличием на них препятствий, дефектов, неровностей, крутых подъемов, спусков, поворотов малого радиуса, позволили выявить нежелательные последствия, возникающие

при торможении лесовозного тягача с прицепом-ропуском. С целью устранения этих последствий, снижающих надежность лесовозного тягача с прицепом-ропуском и проявляющихся в скручивании рамы лесовозного тягача, в возникновении трещин на верхних полках лонжеронов в местах окончания подкониковой рамы, в перегрузке поворотного коника лесовозного тягача, в появлении прогиба основания поворотного коника, в вырыве его шкворня из гнезда подкониковой рамы, была предложена перспективная конструкция рекуперативного коникового устройства лесовозной площадки;

– применение предлагаемого рекуперативного коникового устройства лесовозной площадки дает возможность при движении лесовозного тягача с прицепом-ропуском по недостаточно обустроенным лесовозным дорогам сократить расход топлива за счет рекуперации энергии рабочей жидкости с ее дальнейшим полезным использованием при функционировании гидроманипулятора в процессе погрузки и разгрузки длинномерных лесоматериалов;

– установка на лесовозный тягач с прицепом-ропуском предлагаемой конструкции позволяет за счет наличия в ее гидравлическом приводе пневмогидравлических аккумуляторов, демпфирующий эффект которых позволяет в несколько раз сократить величину динамических нагрузок на элементы конструкции лесовозного тягача с прицепом-ропуском при разгоне и торможении, повысить плавность хода лесовозного тягача с прицепом-ропуском в процессе движения по лесовозным дорогам с наличием на них неровностей, препятствий и дефектов, а также заметно улучшить условия работы водителя;

– использование предлагаемой конструкции рекуперативного коникового устройства позволяет повысить устойчивость лесовозного тягача с прицепом-ропуском за счет понижения центра тяжести лесовозного тягача, что снижает вероятность отрыва его передних колес от опорной поверхности лесовозной дороги в процессе вывозки длинномерных лесоматериалов при перегрузке поворотного коника лесовозного тягача.

Список литературы

1. Никонов В. О. Современное состояние, проблемы и пути повышения эффективности лесовозного автомобильного транспорта : монография. Воронеж, 2021. 203 с. *Библиогр.: с. 181-202 (196 назв.)*.
2. Read M. G., Smith R. A., Pullen K. R. Optimization of flywheel energy storage systems with geared transmission for hybrid vehicles. *Mechanism and Machine Theory*. 2015; 87: 191-209. DOI: 10.1016/j.mechmachtheory.2014.11.001.
3. Yuxin Zhang, Min Zhan, Konghui Guo, Fuquan Zhao, Zongwei Liu Study on a novel hydraulic pumping regenerative suspension for vehicles. *Journal of the Franklin Institute*. 2015; 352: 485-499. DOI: 10.1016/j.jfranklin.2014.06.005.
4. Prabhat Ranjan, Gyan Wrata, Mohit Bhola, Santosh Kr. Mishra, J. Das A novel approach for the energy recovery and position control of a hybrid hydraulic excavator. *ISA Transactions*. 2020; 99: 387-402. DOI: 10.1016/j.isatra.2019.08.066.
5. Morangueira Yuri I. A., Pereira J. C. C. Energy harvesting assessment with a coupled full car and piezoelectric model. *Energy*. 2020; 210: 118668. DOI: 10.1016/j.energy.2020.118668.
6. Wei Yu, Ruochen Wang Development and performance evaluation of a comprehensive automotive energy recovery system with a refined energy management strategy. *Energy*. 2019; 189: 116365. DOI: 10.1016/j.energy.2019.116365.
7. Pipitone E., Vitale G. A regenerative braking system for internal combustion engine vehicles using supercapacitors as energy storage elements – Part 1 : System analysis and modeling. *Journal of Power Sources*. 2020; 448: 227368. DOI 10.1016/j.jpowsour.2019.227368.
8. Junyi Zou, Xuexun Guo, Mohamed A. A. Abdalkareem, Lin Xu, Jie Zhang Modelling and ride analysis of a hydraulic interconnected suspension based on the hydraulic energy regenerative shock absorbers. *Mechanical systems and signal processing*. 2019; 127: 345-369. DOI: 10.1016/j.ymssp.2019.02.047.

9. Jiansong Li, Jiyun Zhao Energy recovery for hybrid hydraulic excavators : flywheel-based solutions. Automation in construction. 2021; 125: 103648. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103648.
10. Ding Luo, Ruochen Wang, Wei Yu, Zeyu Sun, Xiangpeng Meng Theoretical analysis of energy recovery potential for different types of conventional vehicles with a thermoelectric generator. Energy Procedia. 2019; 158: 142-147. DOI 10/1016/j.egypro.2019.01.061.
11. Rakov V., Kapustin A., Danilov I. Study of braking energy recovery impact on cost-efficiency and environment safety of vehicle. Transportation Research Procedia. 2020; 50: 559-565. DOI: 10.1016/j.trpro.2020.10.067.
12. Имитационное моделирование рекуперативного пружинно-гидравлического седельно-сцепного устройства лесовозного тягача с полуприцепом / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев, А. В. Авдюхин // Лесотехнический журнал. – 2020. – Т. 10. – № 4 (40). – С. 227–242. – Библиогр.: с. 239-240 (20 назв.). – DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.4/19.
13. Имитационная модель оценки эффективности лесовозного автопоезда, оснащенного рекуперативным пневмогидравлическим тягово-сцепным устройством / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев, И. В. Сизьмин // Лесотехнический журнал. – 2020. – Т. 10. – № 4 (40). – С. 181–196. – Библиогр.: с. 193-194 (20 назв.). – DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.4/15.
14. Посметьев В. И., Никонов В. О., Авдюхин А. В., Матяшов А. Е. Анализ эффективности конструкций лесовозных площадок, устанавливаемых на лесовозных тягачах с прицепами-ропусками. Воронежский научно-технический вестник. 2020; 1, 1 (31): 40-57. URL : <http://vestnikvglta.ru/arhiv/2020/1-31-2020/40-57.pdf>.
15. Соколов Г. М. Повышение транспортно-эксплуатационных качеств лесовозных автопоездов при движении на кривых : специальность 05.21.01 «Технология и машины лесного хозяйства и лесозаготовок» : дис. ... д-ра техн. наук / Г. М. Соколов ; Марийский государственный технический университет, Йошкар-Ола, 1998. 339 с. Библиогр.: с. 270-281 (166 назв.).
16. Смирнов М. Ю. Рациональные способы и параметры загрузки автомобильных поездов на вывозке лесоматериалов : специальность 05.21.01 «Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства» : дис. ... д-ра техн. наук / М. Ю. Смирнов ; Марийский государственный технический университет, Йошкар-Ола, 2011. 398 с. Библиогр.: с. 296-323 (312 назв.).
17. Насковец М. Т. Транспортное освоение лесов Беларуси и компоненты лесотранспорта. Минск : БГТУ, 2010. 178 с. – Библиогр.: с. 170-175 (53 назв.).
18. Акинин Д. В., Борисов В. А. Некоторые вопросы перераспределения осевых нагрузок между лесовозным тягачом и полуприцепом-ропуском. Resources and Technology. 2020; 17(1): 14-28. DOI: 10.15393/j2.art.2020.5122.
19. Петрухин В. В., Аникин Д. В., Борисов В. А. Влияние веса лесовозного автопоезда на тормозной путь. Resources and Technology. 2018; 15 (4): 77-89. DOI: 10.15393/j2.art.2018.4342.
20. Приходько В. И. Совершенствование конструкции лесовозных автопоездов КРАЗ на основе выполнения комплекса расчетных и экспериментально-конструкторских работ : специальность 05.06.02 «Машины и механизмы лесозаготовок, лесного хозяйства и деревообрабатывающих производств» : дис. ... канд. техн. наук / В. И. Приходько ; Кременчугское объединение по производству большегрузных автомобилей «АвтоКрАЗ». Кременчуг, 1984. 303 с. Библиогр. : с. 219-231 (141 назв.).

References

1. Nikonov V. O. Sovremennoe sostoyanie, problemi i puti povsheniya effektivnosti lesovoznogo avtomobilnogo transporta [Current state, problems and ways to improve the efficiency of timber road transport: Monograph]. Voronezh, 2021. 203 p. (In Russ.).
2. Read M. G., Smith R. A., Pullen K. R. Optimization of flywheel energy storage systems with geared transmission for hybrid vehicles. Mechanism and Machine Theory. 2015; 87: 191-209. DOI: 10.1016/j.mechmachtheory.2014.11.001.

3. Yuxin Zhang, Min Zhan, Konghui Guo, Fuquan Zhao, Zongwei Liu Study on a novel hydraulic pumping regenerative suspension for vehicles. *Journal of the Franklin Institute*. 2015; 352: 485-499. DOI: 10.1016/j.jfranklin.2014.06.005.
4. Prabhat Ranjan, Gyan Wrata, Mohit Bhola, Santosh Kr. Mishra, J. Das A novel approach for the energy recovery and position control of a hybrid hydraulic excavator. *ISA Transactions*. 2020; 99: 387-402. DOI: 10.1016/j.isatra.2019.08.066.
5. Morangueira Yuri I. A., Pereira J. C. C. Energy harvesting assessment with a coupled full car and piezoelectric model. *Energy*. 2020; 210: 118668. DOI: 10.1016/j.energy.2020.118668.
6. Wei Yu, Ruochen Wang Development and performance evaluation of a comprehensive automotive energy recovery system with a refined energy management strategy. *Energy*. 2019; 189: 116365. DOI: 10.1016/j.energy.2019.116365.
7. Pipitone E., Vitale G. A regenerative braking system for internal combustion engine vehicles using supercapacitors as energy storage elements – Part 1 : System analysis and modeling *Journal of Power Sources*. 2020; 448: 227368. DOI 10.1016/j.jpowsour.2019.227368.
8. Junyi Zou, Xuexun Guo, Mohamed A. A. Abdelkareem, Lin Xu, Jie Zhang Modelling and ride analysis of a hydraulic interconnected suspension based on the hydraulic energy regenerative shock absorbers. *Mechanical systems and signal processing*. 2019; 127: 345-369. DOI: 10.1016/j.ymsp.2019.02.047.
9. Jiansong Li, Jiyun Zhao Energy recovery for hybrid hydraulic excavators : flywheel-based solutions. *Automation in construction*. 2021; 125: 103648. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103648.
10. Ding Luo, Ruochen Wang, Wei Yu, Zeyu Sun, Xiangpeng Meng Theoretical analysis of energy recovery potential for different types of conventional vehicles with a thermoelectric generator. *Energy Procedia*. 2019; 158: 142-147. DOI 10/1016/j.egypro.2019.01.061.
11. Rakov V., Kapustin A., Danilov I. Study of braking energy recovery impact on cost-efficiency and environment safety of vehicle. *Transportation Research Procedia*. 2020; 50: 559-565. DOI: 10.1016/j.trpro.2020.10.067.
12. Posmetyev V. I., Nikonov V. O., Posmetyev V. V., Avdyuhin A. V. (2020) Imitacionnoe modelirovanie rekuperativnogo prujinno-gidravlicheskogo sedelno-scepnogo ustroystva lesovoznogo tyagacha s polupricepom [Simulation of a regenerative spring-hydraulic fifth wheel coupling of a timber tractor with a semitrailer]. *Lesotekhnicheskii zhurnal [Forestry Engineering journal]*, Vol. 10, No. 4 (40), pp. 227-242 (In Russ.). DOI: 10.34220/issn.2222-7962 / 2020.4 / 19.
13. Posmetyev V. I., Nikonov V. O., Posmetyev V. V., Sizmin I. V. (2020) Imitacionnaya model ocenki effektivnosti lesovoznogo avtopoezda, osnaschennogo rekuperativnim pnevmogidravlicheskim tyagovo-scepnim ustroystvom [A simulation model for assessing the efficiency of a timber road train equipped with a recuperative pneumohydraulic towing device]. *Lesotekhnicheskii zhurnal [Forestry Engineering journal]*, Vol. 10, No. 4 (40), pp. 181-196 (In Russ.). DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.4/15.
14. Posmetev V. I., Nikonov V. O., Avdyuhin A. V., Matyashov A. E. Analiz effektivnosti konstrukcii lesovoznih ploschadok, ustanavlivaemih na lesovoznih tyagachah s pricepami-rospuskami [Analysis of the effectiveness of the structures of logging sites installed on timber tractors with dismantling trailers]. *Voronezhskii nauchno-tehnicheskii vestnik = Voronezh Scientific and Technical Bulletin*. 2020; 1, 1 (31): 40-57 (In Russ.).
15. Sokolov G. M. Povishenie transportno-ekspluatatsionnih kachestv lesovoznih avtopoezdov pri dvizhenii na krivih [Improving the transport and operational qualities of timber road trains when driving on curves]. *Specialty 05.21.01 "Technology and machines of forestry and logging": dis. ... doct. tech. sciences ; Mari State Technical University, Yoshkar-Ola, 1998. 339 p. (In Russ.)*.
16. Smirnov M. Yu. Ratsionalnie sposobi i parametri zagruzki avtomobilnih poezdov na vivozke lesomaterialov [Rational methods and parameters of loading road trains for hauling timber]. *Specialty 05.21.01 "Technology and machines for logging and forestry": dis. ... doct. tech. sciences ; Mari State Technical University, Yoshkar-Ola, 2011. 398 p. (In Russ.)*.
17. Naskovec M. T. Transportnoe osvoenie lesov Belarusi i komponenti lesotransporta [Transport development of forests in Belarus and components of forest transport]. *Minsk: BSTU, 2010. 178 p.*

18. Akinin D. V., Borisov V. A. Nekotore voprosi pereraspredeleniya osevih nagruzok mejdju lesovoznim tyagachom i polupricepom-rospuskom [Some issues of redistribution of axle loads between a timber tractor and a semitrailer-dismantling]. Resources and Technology. 2020; 17 (1): 14-28 (In Russ.). DOI: 10.15393/j2.art.2020.5122.

19. Petrukhin V. V., Anikin D. V., Borisov V. A. Vliyanie vesa lesovoznogo avtopoezda na tormoznoi put [Influence of the weight of a timber road train on the braking distance]. Resources and Technology. 2018; 15 (4): 77-89 (In Russ.). DOI: 10.15393/j2.art.2018.4342.

20. Prihodko V. I. Sovershenstvovanie konstrukcii lesovoznih avtopoezdov KRAZ na osnove vipolneniya kompleksa raschetnih i eksperimentalno_konstruktorskih rabot [Improvement of the design of KRAZ timber trucks based on the implementation of a set of calculation and experimental design works]. Specialty 05.06.02 "Machines and mechanisms of logging, forestry and woodworking industries": dis. ... Cand. tech. Sciences ; Kremenchug association for the production of heavy vehicles "AvtoKRAZ". Kremenchug, 1984. 303 p. (In Russ.).

Сведения об авторах

Посметьев Валерий Иванович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9878-7451>, e-mail: posmetyev@mail.ru.

✉ *Никонов Вадим Олегович* – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7380-9180>, e-mail: 8888nike8888@mail.ru.

Посметьев Виктор Валерьевич – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6622-5358>, e-mail: victorvpo@mail.ru.

Матяшов Алексей Евгеньевич – аспирант кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3505-7483>, e-mail: matyashov-a@bk.ru.

Information about the authors

Posmetyev Valery Ivanovich – Dr. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Department of Production, Repair and Operation of Machines, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev st., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9878-7451>, e-mail: posmetyev@mail.ru.

✉ *Nikonov Vadim Olegovich* – Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Production, Repair and Operation of Machines, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev st., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7380-9180>, e-mail: 8888nike8888@mail.ru.

Posmetyev Viktor Valeryevich – Cand. Sci. (Physics and Mathematics), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Forestry Mechanization and Machine Design, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev st., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6622-5358>, e-mail: victorvpo@mail.ru.

Matyashov Aleksey Evgenyevich – Post-graduate student of the Department of Production, Repair and Operation of Machines, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev st., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3505-7483>, e-mail: matyashov-a@bk.ru.

✉ – Для контактов/Corresponding author