



**АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КОНСТРУКЦИИ ЛЕСОВОЗНОГО АВТОПОЕЗДА РЕКУПЕРАТИВНОГО ПРУЖИННО-ГИДРАВЛИЧЕСКОГО КОНИКОВОГО УСТРОЙСТВА**

**Посметьев Валерий Иванович**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры машиностроительных технологий ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ

✉<sup>1</sup>**Никонов Вадим Олегович**

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

**Матяшов Алексей Евгеньевич**

аспирант кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ

**Аннотация.**

Описаны преимущества, а также возможности, заложенные в лесовозные тягачи с прицепами-ропусками для достижения высоких технико-экономических показателей, существенно превышающих аналогичные показатели одиночных лесовозных автомобилей, а также других сравниваемых компоновок лесовозных автопоездов. Выполнен анализ научных работ зарубежных авторов, позволивший выявить наиболее значимые факторы, от которых зависит эффективность процесса вывозки длинномерных лесоматериалов лесовозными тягачами с прицепами-ропусками. Рассмотрены существующие усло-

**RELEVANCE OF THE DEVELOPMENT AND USE IN THE STRUCTURE OF A TILLER ROAD TRAIN OF A REGENERATIVE SPRING-HYDRAULIC BONED DEVICE**

**Posmetev Valerii Ivanovich**

doctor of technical sciences, professor, professor of the department of engineering technologies Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, RF

✉<sup>1</sup>**Nikonov Vadim Olegovich**

candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of production, repair and operation of cars Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, RF  
e-mail: 8888nike8888@mail.ru

**Matyashov Aleksei Evgenevich**

post-graduate student of department of production, repair and operation of cars Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, RF

**Annotation.**

The advantages are described, as well as the possibilities inherent in timber tractors with trailers-dissolutions to achieve high technical and economic indicators, significantly exceeding those of single timber vehicles, as well as other comparable layouts of timber haulers. The analysis of the scientific works of foreign authors was carried out, which made it possible to identify the most significant factors on which the efficiency of the process of hauling long-length timber products by timber tractors with dissolution trailers depends. The existing conditions for the hauling of long-length tim-

вия вывозки длинномерных лесоматериалов в РФ лесовозными тягачами с прицепами-ропусками, а также негативные последствия их эксплуатации в сложных дорожных и природно-климатических условиях. Установлено, что недостаточная обустроенность лесовозных дорог сопровождается для лесовозных автопоездов вынужденным неустановившимся режимом движения, который приводит к выходу из строя по причине воздействия знакопеременных нагрузок со стороны прицепа-ропуска с лесоматериалами шкворневого узла поворотного коникового устройства лесовозного тягача. Предложена с целью повышения эффективности лесовозных тягачей с прицепами-ропусками, а также сведения к минимуму негативного воздействия на шкворневой узел знакопеременных нагрузок от сил инерции прицепа-ропуска с лесоматериалами перспективная схема рекуперативного пружинно-гидравлического поворотного коникового устройства. Сформулированы необходимые и достаточные задачи для создания и практического использования предлагаемого устройства.

**Ключевые слова:** ПОВОРОТНОЕ КОНИКОВОЕ УСТРОЙСТВО, РЕКУПЕРАЦИЯ ЭНЕРГИИ, ПРИЦЕП-РОСПУСК, ЛЕСОВОЗНЫЙ ТЯГАЧ, ЛЕСОВОЗНАЯ ДОРОГА, ТОРМОЖЕНИЕ, ВЫВОЗКА ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ.

ber in the Russian Federation by timber tractors with a trailer, as well as the negative consequences of their operation in difficult road and climatic conditions, are considered. It has been established that the insufficient equipping of logging roads is accompanied for logging road trains by a forced unsteady mode of movement, which leads to failure due to the impact of alternating loads from the side of the trailer-dissolution with timber of the pivot assembly of the rotary conic devices of a timber tractor. In order to increase the efficiency of timber tractors with trailers-dissolutions, as well as to minimize the negative impact on the pivot assembly of alternating loads from the inertia forces of the trailer-dissolution with timber materials, a promising scheme of a recuperative spring-hydraulic rotary conical device is proposed. The necessary and sufficient tasks for the creation and practical use of the proposed device are formulated.

**Keywords:** TURNING BONED DEVICE, ENERGY RECOVERY, RELEASE TRAILER, TIMBER TRACTOR, TIMBER ROAD, BRAKING, TIMBER REMOVAL, EFFICIENCY.

<sup>1</sup>Автор для ведения переписки

### 1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Транспорт играет исключительно важную роль во всех сферах экономики, в том числе и в лесозаготовительной промышленности. Представляя собой наиболее трудоемкую и дорогостоящую операцию, вывозка лесоматериалов, также является решающей стадией лесозаготовительного производства, которая определяет успешную работу лесозаготовительных предприятий. Кроме этого, транспорт, используемый для вывозки лесоматериалов, выполняет важную связующую роль между производствами лесопромышленного комплекса РФ. Характерной особенностью развития в РФ транспорта леса является постоянное возрастание доли автомобильного транспорта, задействованного в процессе вывозки лесоматериалов, которая в настоящее время превысила уже 85 %. Также прослеживается возрастание расстояний вывозки лесоматериалов лесовозными автопоездами, по причине деконцентрации разрабатываемых лесосек. Кроме этого, вывозка лесоматериалов во многом определяет их конечную себестоимость. Транспортная составляющая в общей себестоимости заготовки лесоматериалов достигает 44-50 %. Самым распространенным способом повышения производительности процесса вывозки лесоматериалов, является использование лесовозных автопоездов. Для вывозки длинномерных лесоматериалов в виде хлыстов наиболее широкое распространение получили лесовозные тягачи с прицепами-ропусками. Это связано, прежде всего, с преимуществами таких лесовозных автопоездов, а также с возможностями, заложенными в них для достижения высоких технико-экономических

показателей, существенно превышающих аналогичные показатели одиночных лесовозных автомобилей, а также других сравниваемых компоновок автопоездов [1].

Наиболее значимыми преимуществами таких автопоездов перед одиночными лесовозными автомобилями, являются: их производительность, которая при одинаковых природно-климатических и дорожных условиях в 1,5-2 раза больше; меньшая стоимость изготовления и затраты на хранение прицепов-ропусков, более простая конструкция и высокая надежность; меньшая материалоемкость и удельный собственный вес, приходящиеся на единицу грузоподъемности; большая заработная плата у водителей; увеличенные в 1,5 раза грузоподъемность и грузоподъемность, без существенного усложнения конструкции лесовозного автопоезда; большая в 2,5 раза при почти равном среднем расстоянии вывозки лесоматериалов сменная выработка; увеличенная на 112 % часовая транспортная работа, несмотря на незначительное сокращение значения средне-технической скорости движения; сниженный на 33 % расход топлива на единицу выполненной работы. В сравнении с двумя одиночными лесовозными автопоездами на лесовозный тягач с прицепом-ропуском затрачиваются меньшие отчисления на амортизацию и ремонт, а также меньшее количество расходуемого топлива и эксплуатационных материалов. Кроме этого, лесовозные тягачи с прицепами-ропусками обладают лучшим использованием энергетических и эксплуатационных возможностей, что способствует повышению производительности вывозки лесоматериалов. Также им характерна еще одна особенность, которая заключается в меньшей трудоемкости технического обслуживания и ремонта прицепа-ропуски, и, как следствие в снижении расходов на их осуществление. Их использование позволяет устранить разрыв между грузоподъемностью одиночных лесовозных автомобилей за счет повышения максимальной грузоподъемности почти в 2 раза ряда этих автомобилей по сравнению базовыми их вариантами. Сравнение такого лесовозного автопоезда с лесовозным автомобилем с двухосным прицепом показывает, что: сменная выработка лесовозных тягачей с прицепами-ропусками на 26 % выше при почти равном среднем расстоянии вывозки лесоматериалов; несмотря на незначительное сокращение значения средне-технической скорости движения лесовозного тягача с прицепом-ропуском, часовая транспортная работа такого лесовозного автопоезда на 32 % выше; расход топлива лесовозным тягачом с прицепом-ропуском на единицу выполненной работы ниже на 17 % [2, 3].

Теоретическим и практическим исследованиям, направленным на повышение эффективности работы лесовозных тягачей с прицепами-ропусками, задействованных в процессе вывозки длинномерных лесоматериалов, в настоящее время уделяется большое внимание, не только российских ученых, но и зарубежных.

Mark W. Brown [4] в своей работе исследует различные конфигурации лесовозных автопоездов с целью определения минимальных транспортных расходов, затрачиваемых на процесс вывозки лесоматериалов. При этом учитываются разрешенная полезная нагрузка, собственный вес лесовозного автопоезда, а также степени обустроенности лесовозных дорог. Выявлено, что собственный вес лесовозного автопоезда может значительно варьироваться в зависимости от конфигурации с различными прицепными звеньями. Меньший собственный вес лесовозного автопоезда может привести к значительному сокращению транспортных расходов, и, следовательно, к снижению конечной стоимости вывозимых лесоматериалов.

Philip Chevalier [5] в своем исследовании сравнивает эффективность основных конфигураций лесовозных автопоездов, задействованных в процессе вывозки лесоматериалов в зависимости от их полезной нагрузки, рыночной стоимости, расходуемых средств на запасные части, ремонт и топливо. Выявлено, что наиболее оптимальной конфигурацией лесовозного автопоезда, обеспечивающей наименьшие эксплуатационные расходы, обладает 10-осный лесовозный автопоезд King B. Предложено с целью потенциальной экономии без потери эффективности процесса вывозки лесоматериалов заменить весь имеющийся автопарк автопоездов на 10-осные лесовозные автопоезда King B. Это позволит при одинаковом объеме вывозимых лесоматериалов сократить задействованное в этом процессе количество лесовозных автопоездов.

Marco Zoric и др. [6] в своей работе выполнили исследование показателей энергоэффективности лесовозных автопоездов, на основе анализа собранных данных об объемах вы-

возимых лесоматериалов, удельных расходах топлива лесовозных автопоездов, приходящихся на единицу объема вывозимых лесоматериалов, а также анализа данных о вредных выбросах и загрязнениях, выделяемых в окружающую среду. Выявлен рост расхода топлива лесовозными автопоездами в сложных дорожных условиях, оказывающий существенное влияние на повышение транспортных расходов, и, следовательно, на возрастание конечной себестоимости лесоматериалов. Предложено с целью определения фактического значения расхода топлива лесовозными автопоездами, оснастить их агрегаты системами дистанционного мониторинга. Это позволит вовремя выявить и устранить неисправности, способствующие увеличению расхода топлива. Также рекомендуется выполнить исследование по воздействию стиля вождения водителя лесовозного автопоезда на изменение расхода топлива.

Teijo Palander и Kalle Karha [7] в своей работе исследовали на основании адаптированных методов управления автопарком влияние на экологические показатели использования для вывозки лесоматериалов лесовозных автопоездов большой грузоподъемности. Было установлено, что вывозка лесоматериалов автопоездами массой 76 т позволяет повысить эффективность процесса на 13,4 %, а также сократить на 3,5 % количество вредных выбросов, в сравнении с лесовозным автопоездом массой 64 т, за счет значительного сокращения удельного расхода топлива. Также выявлено, что недогрузка лесовозных тягачей с прицепами-ропусками приводит к существенной потере дохода лесозаготовительных предприятий.

Xi Zhang [8] описывает новейшую разработку, используемую для оказания помощи водителям лесовозных тягачей с прицепами-ропусками, при осуществлении ими вывозки лесоматериалов на большие расстояния в сложных дорожных условиях. Предложена стратегия управления движением при поворотах загруженного длинномерными лесоматериалами лесовозного тягача с прицепом-ропуском, позволяющая повысить маневренность лесовозного автопоезда и обеспечить его безопасность при движении. Стратегия заключается в управлении автопоездом за счет обратной связи, путем измерения полезной нагрузки и углов сочленения между лесовозным тягачом и прицепом-ропуском. Выявлено, что управление лесовозным автопоездом при кривизне лесовозной дороги более 0,1 (радиус поворота – 10 м) затруднено, так как при этом возникает неустойчивость лесовозного автопоезда, сопровождающаяся смещением прицепа-ропуски с колеи движения лесовозного тягача.

Joseph L. и Conrad I. V. [9] в своей работе исследовали существующие проблемы лесозаготовительных предприятий, связанные с эксплуатацией в сложных дорожных и природно-климатических условиях имеющихся в их автопарке лесовозных тягачей с прицепами-ропусками, которые задействованы в процессе вывозки лесоматериалов. Среди выявленных проблем, наиболее серьезными, снижающими эффективность работы лесозаготовительных предприятий, являются нехватка квалифицированных водителей лесовозных автопоездов, необоснованный рост страховых взносов, увеличение расходов с повышением расстояния вывозки лесоматериалов, недостаточная обустроенность лесовозных дорог, рост закупочных цен на лесовозные автопоезда, а также увеличивающаяся заработная плата водителей. Предложено для повышения эффективности вывозки лесоматериалов увеличить процент загруженности лесовозных автопоездов, сократить время их нахождения в пути, при погрузочно-разгрузочных работах, повысить квалификацию водителей, а также внедрить в процесс вывозки новые технологии, основанные на использовании бортовых камер и систем глобального позиционирования.

Michal Allman и др. [10] в своей работе исследовали в течение заданного периода времени путем установления на лесовозные автопоезда электронных систем считывания и обработки информации влияние дальности вывозки лесоматериалов, а также загруженности лесовозных тягачей с прицепами-ропусками на производительность процесса вывозки лесоматериалов. Выявлено, что недостаточная загруженность лесоматериалами автопоездов, а также движение по недостаточно обустроенной лесовозной дороге сопровождается ростом удельного значения расхода топлива, приходящегося на единицу объема вывозимых лесоматериалов. Для снижения расхода топлива в процессе вывозки лесоматериалов предлагается за счет применения систем управления автопарком оптимизировать маршруты вывозки, сократить время пребывания в пу-

ти, увеличить грузоподъемность и грузоподъемность лесовозных автопоездов.

Siril Yella и Mark Dougherty [11] в своих исследованиях описали метод автоматического обнаружения, подсчета и классификации лесоматериалов, загруженных на лесовозный тягач с прицепом-ропуском на основании фотографии. Данный метод позволяет путем обработки изображения определять размерные характеристики лесоматериалов, рассчитывать их количество и объем. Полученная на основании такого метода информация может использоваться для оптимизации процессов планирования и производства лесозаготовительных предприятий.

Grzegorz Trzcinski и др. [12] в своей работе представили результаты изменения полной массы лесовозного тягача с прицепом-ропуском, загруженного длинномерными лесоматериалами в зависимости от сезона вывозки. Выявлено, что с увеличением влажности окружающего воздуха, происходит возрастание массы длинномерных лесоматериалов. Установлено, что максимальное значение полной массы лесовозного автопоезда было достигнуто в осенний сезон вывозки лесоматериалов. Минимальное же значение полной массы – в весенний сезон вывозки. Предложено, с целью недопущения превышения разрешенных пределов общей массы лесовозного тягача с прицепом-ропуском, использовать более легкие конструкции прицепов-ропусков.

Waldemar Sieniawski и др. [13] исследовали влияние загруженности лесовозных автопоездов, марок Man, Mercedes, Iveco и Scania с различными прицепными звеньями на их производительность, расход топлива, трудоемкость отдельных операций, а также превышение разрешенной полной массы. Установлено, что для достижения требуемой грузоподъемности лесовозных тягачей с прицепами-ропусками, необходимо использовать лесовозные автопоезда с большим количеством осей и автоматическим регулированием давления в их шинах. Это позволит при использовании оптимального логистического решения, обеспечивающего кратчайшее расстояние вывозки значительно снизить разрушающее воздействие на лесовозную дорогу, достичь максимальной производительности и минимального значения удельного расхода топлива, приходящегося на единицу объема вывозимых лесоматериалов.

Выполненный анализ научных работ зарубежных авторов позволил выявить наиболее значимые факторы, от которых зависит эффективность процесса вывозки длинномерных лесоматериалов лесовозными тягачами с прицепами-ропусками. К ним относятся: количества осей, разрешенная полезная нагрузка на них, давление в шинах; влажность окружающего воздуха, оказывающая влияние на изменение весовых характеристик вывозимых лесоматериалов; сезон вывозки лесоматериалов, собственный вес лесовозного автопоезда; обустроенность лесовозных дорог; удельный расход топлива, приходящийся на единицу объема вывозимых лесоматериалов; квалификация, стиль вождения водителей лесовозных автопоездов, их заработная плата; надежность, маневренность, грузоподъемность и грузоподъемность лесовозного тягача с прицепом-ропуском; дальность расстояния вывозки лесоматериалов; степень загруженности лесоматериалами лесовозных автопоездов; оптимальное логистическое решение, обеспечивающее кратчайшее расстояние вывозки; применение современных технологий позиционирования автопоездов, автоматического учета лесоматериалов на лесовозном тягаче с прицепом-ропуском; повышение безопасности на всех этапах транспортирования леса.

Учитывая зарубежный опыт повышения эффективности лесовозных тягачей с прицепами-ропусками в процессе вывозки лесоматериалов, требуется проанализировать существующие условия вывозки лесоматериалов лесовозными тягачами с прицепами-ропусками в РФ, выявить на этой основе негативные факторы, способствующие ухудшению производительности автопоездов в процессе вывозки лесоматериалов, и предложить возможные пути сведения этих факторов к минимуму. Целью исследования является оценка функционирования лесовозных тягачей с прицепами-ропусками в существующих природно-климатических и дорожных условиях РФ, выявление факторов, сдерживающих достижение максимальной эффективности процесса вывозки лесоматериалов, а также разработка и предложение перспективных технических решений, позволяющих устранить негативное воздействие сдерживающих факторов на эффективность работы лесовозных тягачей с прицепами-ропусками.

## 2 Материалы и методы

В представленной работе выполнен анализ эмпирических данных, полученных российскими и зарубежными исследователями, область интересов которых направлена на изучение и поиск новых направлений повышения эффективности лесовозных тягачей с прицепами-ропусками при их функционировании в различных природных и климатических условиях, а также на разработку для этих целей перспективных технологий и технических решений. Поиск зарубежных и российских информационных источников выполнялся по открытым база следующим поисковым системам: scholar.google.ru; elibrary.ru; scopus.com; access.clarivate.com; mdpi.com; cyberleninka.ru; fips.ru; wipo.int; worldwide.espacenet.com. Ключевыми словами при осуществлении поисковых запросов и отбора требуемой для анализа информации выступали: рекуперация энергии, динамика торможения, лесовозная дорога, лесовозный тягач, прицеп-ропуск, эффективность, вывозка длинномерных лесоматериалов, поворотное кониковое устройство.

## 3 Результаты исследований

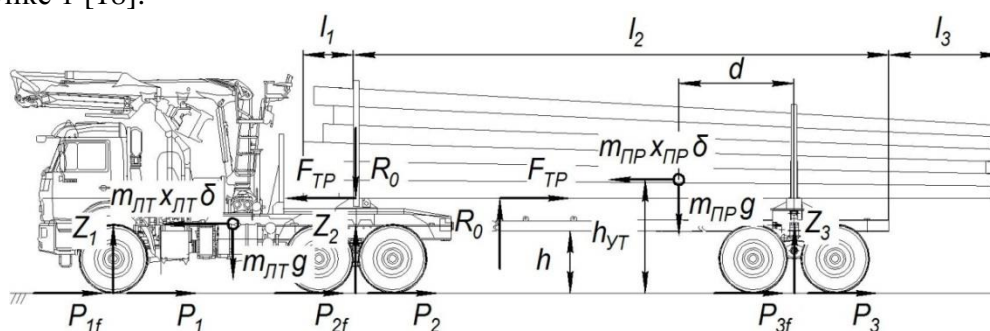
Наличие и качественное состояние лесовозных дорог круглогодичного действия является одним из важнейших факторов оказывающих непосредственное влияние на показатели эффективности лесовозных автопоездов. Работа лесовозных тягачей с прицепами-ропусками при вывозке лесоматериалов имеет свою специфику, характеризующуюся их движением большую часть времени по временным лесовозным дорогам с щебеночным или же гравийным покрытием, доля которых от всех типов лесовозных дорог составляет более 45 %. Кроме этого, неблагоприятные погодные условия приводят к ухудшению состояния лесовозных дорог, которые становятся существенным препятствием для вывозки длинномерных лесоматериалов. Движение лесовозных тягачей с прицепами-ропусками по временным лесовозным дорогам сопровождается интенсивными линейными и угловыми колебаниями, которые приводят к воздействию на их детали корпуса, трансмиссии, двигателя и ходовой части больших динамических нагрузок, оказывающих негативное влияние на техническое состояние автопоездов, а также физиологические возможности водителей. Динамические нагрузки на узлы и детали несущих агрегатов лесовозного тягача с прицепом-ропуском в 2,5-3 раза превышают соответствующие статистические нагрузки. Результаты многочисленных исследований подтверждают, что колебания, возникающие в лесовозном тягаче с прицепом-ропуском при преодолении им неровностей лесовозных дорог, оказывают существенное влияние не только на плавность хода автопоезда, но и на все его основные технико-эксплуатационные характеристики. Воздействие значительных динамических нагрузок сопровождается во многих случаях значительным снижением надежности лесовозных тягачей с прицепами-ропусками [14].

При эксплуатации лесовозных тягачей с прицепами-ропусками по лесовозным дорогам их средняя скорость движения снижается на 40-50 % в сравнении с движением по дорогам общего пользования. Межремонтный пробег автопоездов сокращается в таких дорожных условиях на 34-40 %. Расход топлива лесовозных тягачей существенно увеличивается на 50-70 %, производительность процесса вывозки длинномерных лесоматериалов ухудшается на 32-35 %, себестоимость вывозки лесоматериалов увеличивается на 50-65 %. При движении лесовозного тягача с прицепом-ропуском по лесовозным дорогам расходуется дополнительная энергия вследствие жесткого взаимодействия колес с неровностями дорожного покрытия, а также колебаний лесовозного тягача с прицепом-ропуском и длинномерными лесоматериалами, которые гасятся его подвеской. При движении по лесовозным дорогам с твердым покрытием, имеющим большое количество неровностей и дефектов, существенно возрастает износ деталей и узлов лесовозных тягачей с прицепами-ропусками. В таких условиях движения максимальный момент в трансмиссии лесовозного тягача может в три раза и более превышать максимальный крутящий момент двигателя. При движении лесовозных тягачей с прицепами-ропусками по лесовозным дорогам, характеризующихся, как правило, большой кривизной в вертикальной и горизонтальной плоскостях, происходит явление распираания коников, которое возникает вследствие вращения длинномерных лесоматериалов с прицепом-ропуском вокруг разных центров с разными радиусами. Это вызывает большие

напряжения в тяговых балках и стойках прицепа-ропуска и лесовозного тягача, а также приводит к преждевременному износу и поломкам. При торможении лесовозного тягача с прицепом-ропуском в повороте на лесовозной дороге с низким коэффициентом сцепления высока вероятность его складывания. Также нередки случаи, когда передняя комлевая часть длинномерных лесоматериалов ложится на площадку лесовозного тягача, что значительно затрудняет управление лесовозным автопоездом [15].

При неустановившихся режимах движения лесовозного тягача с прицепом-ропуском (трогание с места, разгон и торможение) вследствие изменения тяговых или тормозных сил возникают перемещения звеньев лесовозного автопоезда относительно друг друга в горизонтальном и продольном направлениях. Наиболее неблагоприятными с точки зрения нагрузок на поворотный коник лесовозного тягача являются режимы движения автопоезда с резким приложением к их движению тяговых или тормозных сил. На таких режимах движения возникают значительные нагрузки, вызванные свободными продольными колебаниями звеньев, могущие привести к опасным последствиям. Наиболее характерным с точки зрения динамического взаимодействия является режим торможения. Сосредоточенная нагрузка на поворотном конике лесовозного тягача оказывает влияние на его раму, на верхних полках лонжеронов которой в месте окончания подкониковой рамы возникают трещины [16].

Схема основных сил, оказывающих влияние на лесовозный тягач с прицепом-ропуском при торможении в процессе вывозки длинномерных лесоматериалов, представлена на рисунке 1 [18].

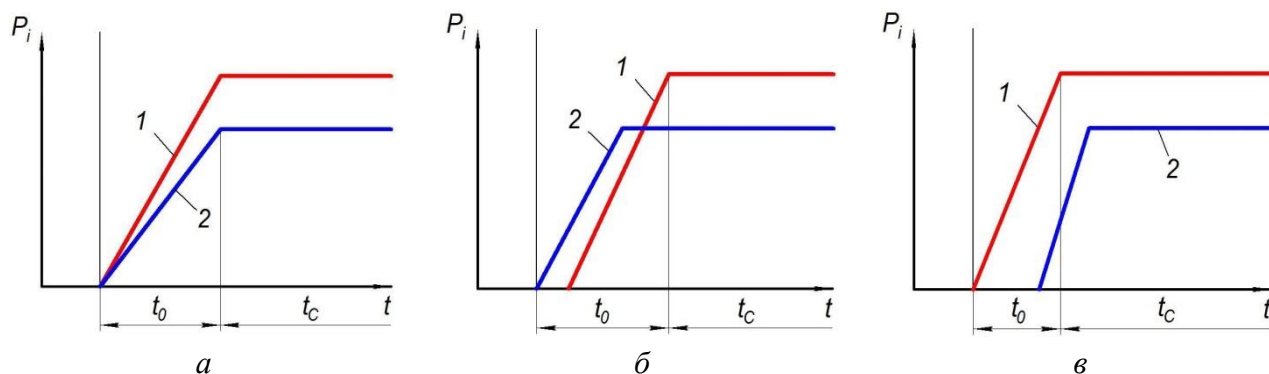


$P_1, P_2, P_3$  – тормозные силы, приложенные к колесам лесовозного тягача и прицепа-ропуска;  
 $Z_1, Z_2, Z_3$  – реакции лесовозной дороги на оси лесовозного автопоезда;  $P_{1f}, P_{2f}, P_{3f}$  – силы сопротивления качению лесовозного тягача и прицепа-ропуска;  $m_{ЛТ}, m_{ПР}$  – масса лесовозного тягача и прицепа-ропуска;  $g$  – ускорение свободного падения;  $F_{тр}$  – сила трения между опорой поворотного коника лесовозного тягача и лесоматериалами;  $l_1, l_3$  – передний и задний свесы длинномерных лесоматериалов;  $l_2$  – межопорная длина лесоматериалов;  $R_0$  – силы реакции опоры;  $h$  – расстояние от дышла прицепа-ропуска до опорной поверхности лесовозной дороги;  $d$  – расстояние от центра масс ведомого звена лесовозного автопоезда до условной опоры прицепа-ропуска;  $x_{ЛТ}$  – координата центра масс лесовозного тягача;  $x_{ПР}$  – координаты центра масс прицепа-ропуска;  $h_{УТ}$  – высота центра масс ведомого звена лесовозного автопоезда;  $\delta$  и  $\delta_1$  – коэффициенты, учитывающие изменение масс лесовозного тягача и прицепа-ропуска за счет инерции вращающихся масс лесовозного автопоезда

Рисунок 1 – Схема основных сил, оказывающих влияние на лесовозный тягач с прицепом-ропуском при торможении в процессе вывозки длинномерных лесоматериалов

Тормозные диаграммы лесовозного тягача с прицепом-ропуском, описывающие зависимости изменения тормозных сил на осях лесовозного тягача  $P_{ЛТ}$  и на осях прицепа-ропуска  $P_{ПР}$ , представлены на рисунке 2 [18].

Дифференциальное уравнение, описывающее продольное осевое перемещение длинномерных лесоматериалов по опорной поверхности поворотного коника лесовозного тягача



1 –  $P_{III} = P_3$ ; 2 –  $P_{ЛТ} = P_1 + P_2$ ;  $t_0$  – время динамического этапа торможения лесовозного тягача с прицепом-ропуском;  $t_c$  – время статического этапа торможения лесовозного тягача с прицепом-ропуском; *a* – синхронное торможение звеньев лесовозного автопоезда; *b* – асинхронное торможение звеньев лесовозного автопоезда

Рисунок 2 – Тормозные диаграммы лесовозного тягача с прицепом-ропуском

при положительной асинхронности торможения лесовозного автопоезда, имеет следующий вид [18]:

$$S - \frac{1}{m_{ЛТ} \cdot \delta} \left[ P_{ЛТ} - P_{ПР} \left( \alpha_2 + \frac{\alpha_2 + 1}{k \cdot k_4} \right) \right] = \quad (1)$$

$$= \frac{g \cdot f_k}{\delta} \left( 1 - \frac{1}{k_4} \right) + \frac{\alpha_2}{m_{ЛТ} \cdot \delta} \cdot \left( 1 + \frac{1}{k \cdot k_4} \right) \left[ m_{ПР} \cdot g \left( \frac{d_2}{h_{ЦТ}} - f_k \right) - Q \left( 1 + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{h_{ПР}}{h_{ЦТ}} \right) \right],$$

где  $S$  – перемещение длиномерных лесоматериалов относительно поворотного коника лесовозного тягача в сторону защитного ограждения кабины;  $m_{ЛТ}$  – масса лесовозного тягача;  $\delta$  – коэффициент, учитывающий изменение массы лесовозного тягача за счет сил инерции вращающихся масс лесовозного автопоезда;  $P_{ЛТ}$  – тормозные силы, действующие на колеса лесовозного тягача;  $P_{ПР}$  – тормозные силы, действующие на колеса прицепа-ропуски;  $\alpha$  – угол продольных угловых колебаний;  $k$  – отношение массы прицепа-ропуски к массе лесовозного тягача;  $k_4$  – отношение коэффициентов, учитывающих изменение масс лесовозного тягача и прицепа-ропуски за счет инерции их вращающихся масс;  $g$  – ускорение свободного падения;  $f_k$  – коэффициент сопротивления качению шин лесовозного автопоезда;  $m_{ПР}$  – масса прицепа-ропуски;  $d_2$  – расстояние от центра масс прицепа-ропуски до условной опоры прицепа-ропуски;  $h_{ЦТ}$  – высота центра масс прицепа-ропуски с длиномерными лесоматериалами;  $h_{ПР}$  – профиль правой колеи лесовозной дороги;  $Q$  – усилие натяжения переднего троса лесовозного автопоезда.

Изменение усилия в переднем тросе лесовозного автопоезда при его положительном асинхронном торможении, носит колебательный характер, частота которого определяется по следующей формуле [18]:

$$\omega = \sqrt{\frac{C_k \cdot \alpha_2}{m_{ЛТ} \cdot \delta} \left( 1 + \frac{1}{k \cdot k_4} \right) \left( \frac{1}{\alpha_2} + 1 + \frac{h_{ПР}}{h_{ЦТ}} \right)}, \quad (2)$$

где  $C_k$  – жесткость переднего троса лесовозного автопоезда.

В научной работе Приходько В.И. [17] указывается, что движение лесовозного тягача с прицепом-ропуском в сложных дорожных условиях сопровождается появлением в основании поворотного коника лесовозного тягача значительных прогибов, а также вырыванием из гнезда подкониковой рамы шкворня поворотного коника. Выполненные экспериментальные исследования, заключающиеся в движении со скоростью 25 км/ч лесовозного тягача с прицепом-



ропуском, нагруженного длинномерными лесоматериалами, массой 23 т, было установлено, что значение направленной вдоль продольной оси лесовозного автопоезда горизонтальной составляющей усилия, действующего на поворотный коник лесовозного тягача  $Q$  в диапазоне составляет 20-35 кН. Выявлено, что усилие, действующее на шкворневой узел поворотного коника лесовозного тягача в связи с кинематическим рассогласованием крестообразной сцепки зависит от радиуса поворота  $R$  лесовозного автопоезда. Установлено, что с повышением радиуса поворота  $R$ , усилие  $Q_R$ , направленное вдоль оси автопоезда и действующее на шкворневой узел поворотного коника лесовозного тягача достигает своего максимума 35 кН при минимальном значении радиуса  $R$  поворота (рис. 3). С увеличением скорости движения лесовозного тягача с прицепом-ропуском из-за воздействия вибраций, центробежных сил, перемещения длинномерных лесоматериалов относительно поворотных коников автопоезда, а также за счет перемещения друг относительно друга отдельных бревен в пакете длинномерных лесоматериалов значение усилия  $Q_V$  практически не изменяется (рис. 3) [17].

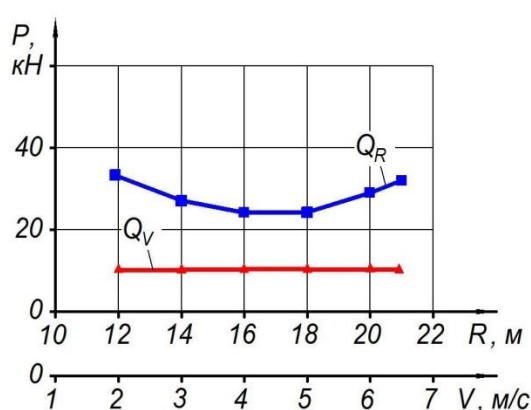
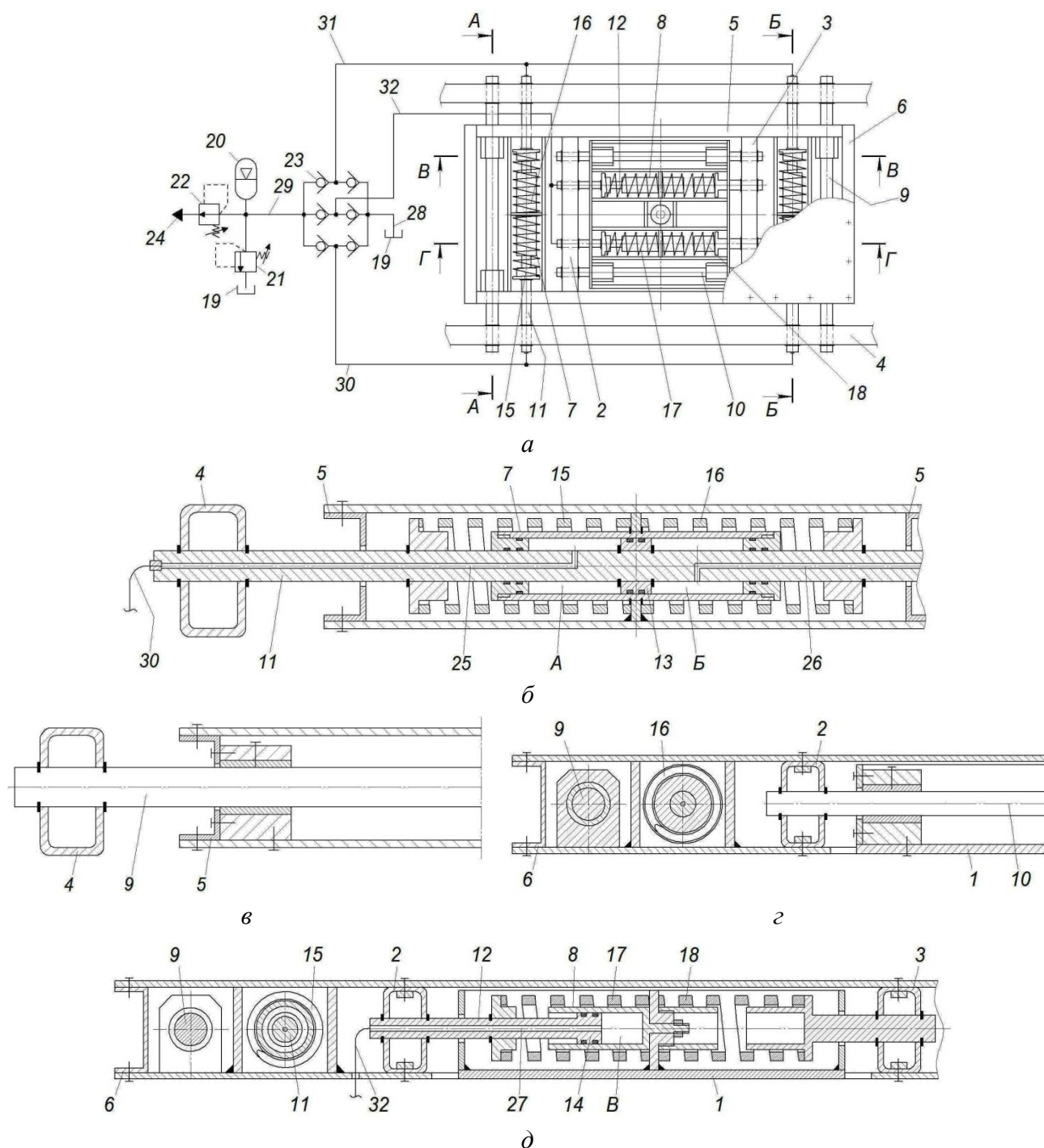


Рисунок 3 – Зависимости изменения усилий в кониковом устройстве лесовозного тягача  $Q_R$ ,  $Q_V$  при увеличении радиуса поворота  $R$  и скорости движения лесовозного автопоезда  $V$

На основании приведенных материалов исследования можно сделать вывод, что при эксплуатации лесовозных тягачей с прицепами-ропусками в сложных существующих в РФ дорожных и природно-климатических условиях, при неустановившихся режимах движения, наибольшее негативное воздействие от неровностей лесовозной дороги испытывает шкворневой узел поворотного коникового устройства лесовозного тягача. Это сопровождается появлением в шкворневом узле отказов, снижающих эффективность и безопасность функционирования лесовозного автопоезда. В этой связи, с целью повышения эффективности работы лесовозного тягача с прицепом-ропуском, требуется разработать более совершенную конструкцию поворотного коникового устройства, позволяющую повысить надежность лесовозного автопоезда, а также снизить оказываемые на него нагрузки при движении лесовозного автопоезда в неустановившихся режимах движения.

Актуальным в настоящее время научным направлением, способствующим повышению эффективности работы лесовозных автопоездов в сложных дорожных условиях при неустановившихся режимах движения, является разработка и использование в их конструкции перспективных рекуперативных сцепных устройств, обеспечивающих демпфирование нагрузок передаваемых на лесовозный тягач от прицепных звеньев, повышение надежности лесовозного автопоезда, улучшение условий труда водителей, а также способствующих снижению расхода топлива за счет накопления и полезного использования непроизводительно рассеиваемой в пространство кинетической энергии, возникающей при асинхронном торможении лесовозного тягача с груженными лесоматериалами прицепными звеньями.

Ранее выполненные многочисленные исследования в рамках данного научного направления позволили авторам разработать перспективную конструкцию поворотного ко-



*a* – общий вид устройства в статическом состоянии; *б-д* – сечения устройства по *A-A*, *Б-Б*, *В-В* и *Г-Г* соответственно; 1 – плита; 2, 3 – поперечные брусья; 4 – продольные лонжероны рамы лесовозной площадки; 5, 6 – продольные и поперечные лонжероны; 7, 8 – гидроцилиндры двухстороннего и одностороннего действия; *A*, *Б* и *В* – рабочие полости одностороннего и двухстороннего гидроцилиндров; 9, 10 – поперечные и продольные направляющие оси; 11, 12 – поперечные и продольные штоки; 13, 14 – поршни; 15-18 – пружины; 19 – гидравлический бак; 20 – пневмогидравлический аккумулятор; 21, 22 – регулируемые предохранительный и редуцирующий клапаны; 23 – обратные клапаны; 24 – порт подачи рабочей жидкости потребителю; 25, 26, 27 – сквозные каналы; 28, 29 – всасывающий и напорный трубопроводы; 30, 31, 32 – гибкие трубопроводы

Рисунок 4 – Схема перспективной конструкции рекуперативного пружинно-гидравлического поворотного коникового устройства лесовозного тягача с прицепом-роспуском

никового устройства, устанавливаемую на лесовозном тягаче, работающем в сцепке с прицепом-ропуском, осуществляющим вывозку длинномерных лесоматериалов (рис. 4) [19-25].

Работа предлагаемого рекуперативного пружинно-гидравлического коникового устройства основана на демпфировании и использовании кинетической энергии, возникающей при неустановившихся режимах движения по лесовозным дорогам в процессе вывозки лесоматериалов лесовозного тягача с прицепом-ропуском. В результате частых торможений, как на прямом участке недостаточно обустроенной лесовозной дороги, так и при поворотах, возникающие силы инерции массы прицепа-ропуска с лесоматериалами воздействуют на предлагаемое поворотное кониковое устройство лесовозного тягача. Конструктивное исполнение предлагаемого устройства позволяет сократить расход топлива лесовозного автопоезда за счет преобразования действия этих сил инерции в потенциальную гидравлическую энергию для дальнейшего полезного использования в технологическом гидравлическом оборудовании. Кроме этого оптимальные силовые характеристики рекуперативного пружинно-гидравлического коникового устройства устанавливаются не только в ручном режиме, но и в автоматическом. Установка такого устройства на лесовозный автопоезд позволит снизить за счет демпфирующих свойств пружин воздействие на его звенья возникающих при движении по недостаточно обустроенным лесовозным дорогам значительных по величине знакопеременных нагрузок. Это позволит повысить надежность и безопасность лесовозного автопоезда, а также улучшить комфортность управления автопоездом и его плавность хода при эксплуатации в сложных дорожных и природно-климатических условиях.

#### 4 Обсуждение и заключение

Выполненное исследование позволило установить, что наибольшей эффективностью в процессе вывозки длинномерных лесоматериалов в виде хлыстов обладают лесовозные тягачи с прицепами-ропусками. Это связано с их преимуществами, а также возможностями, заложенными в них для достижения высоких технико-экономических показателей, существенно превышающих аналогичные показатели одиночных лесовозных автомобилей, а также других сравниваемых компоновок автопоездов. Приведенный анализ научных работ зарубежных авторов подтвердил актуальность выбранного для исследования направления, а также позволил выявить наиболее значимые факторы, оказывающие влияние на эффективность процесса вывозки длинномерных лесоматериалов лесовозными тягачами с прицепами-ропусками. Анализ существующих условий эксплуатации лесовозных автопоездов в РФ позволил установить, что недостаточная обустроенность лесовозных дорог, сопровождающаяся вынужденными неустановившимися режимами движения лесовозного тягача с прицепом-ропуском приводит к выходу из строя от воздействия знакопеременных нагрузок со стороны прицепа-ропуска с лесоматериалами шкворневого узла поворотного коникового устройства лесовозного тягача. С целью сведения к минимуму негативного воздействия на шкворневой узел знакопеременных нагрузок от сил инерции прицепа-ропуска с лесоматериалами, и, следовательно, повышения эффективности работы лесовозного тягача с прицепом-ропуском, авторами предложена перспективная конструкция поворотного коникового устройства.

Для ускорения процесса исследования и разработки предлагаемого рекуперативного пружинно-гидравлического поворотного коникового устройства лесовозного тягача с прицепом-ропуском требуется решить следующие задачи:

- провести анализ усилий, возникающих при торможении лесовозного автопоезда в поворотном кониковом устройстве в процессе его движения в сложных дорожных условиях на прямом участке лесовозной дороге, на спуске, подъеме или поворотах;

- разработать математическую модель пространственного неустановившегося движения по лесовозной дороге лесовозного тягача с прицепом-ропуском, оснащенного рекуперативным пружинно-гидравлическим поворотным кониковым устройством, позволяющую исследовать силовое взаимодействие его звеньев, а также влияние основных конструктивных параметров устройства на управляемость и устойчивость автопоезда;

- разработать программу для ЭВМ, обеспечивающую возможность моделирования работы рекуперативного пружинно-гидравлического поворотного коникового устройства, установ-

ленного на лесовозном тягаче с прицепом-ропуском, учитывающую разнообразные параметры лесовозной дороги, характеристики вывозимых длинномерных лесоматериалов, неустановившиеся режимы движения лесовозного автопоезда, его технико-эксплуатационные характеристики, а также конструктивные параметры предлагаемого устройства;

– разработать методику проведения лабораторных и полевых испытаний, изготовить предлагаемую конструкцию рекуперативного пружинно-гидравлического коникового устройства лесовозного тягача с прицепом-ропуском, разработать стенды, обеспечивающие экспериментальные исследования;

– провести исследовательские экспериментальные испытания движения по лесовозной дороге лесовозного тягача с прицепом-ропуском, оснащенного рекуперативным пружинно-гидравлическим поворотным кониковым устройством с целью верификации математической модели пространственного неустановившегося движения лесовозного автопоезда;

– выявить закономерности изменения показателей эффективности от конструктивных параметров предлагаемого рекуперативного пружинно-гидравлического коникового устройства, технико-эксплуатационных характеристик лесовозного тягача с прицепом-ропуском, а также от геометрических параметров лесовозной дороги;

– дать рекомендации по практическому использованию предлагаемой конструкции рекуперативного пружинно-гидравлического поворотного коникового устройства, а также предложить другие возможные направления совершенствования конструкций лесовозных тягачей с прицепами-ропусками.

### Список литературы

1 Будалин С. В. Оценка эффективности лесовозных автопоездов на этапах выбора и эксплуатации : учеб. пособие. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2014. – 215 с. – *Библиогр.* : с. 167-177 (129 назв.).

2 Посметьев, В. И. 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 10.34220/issn.2222-7962/2021.2/14.

3 Никонов, В. О. Современное состояние, проблемы и пути повышения эффективности лесовозного автомобильного транспорта / В. О. Никонов ; М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». – Воронеж, 2021. – 202 с. – *Библиогр.* : с. 181-202 (196 назв.).

4 Mark W. Brown Evaluation of the Impact of Timber Truck Configuration and Tare Weight On Payload Efficiency : An Australian Case Study. *Forests* 2021, 12, 855. – 11 p. – *Библиогр.*: pp. 11 (24 titles). – DOI 10.3390/f12070855.

5 Philip Chevalier Cost Analysis of Weyerhaeuser is Pembina Timberlands Log Haul. Faculty of natural resources management Lakehead University, April 6, 2018. – 54 p. – *Библиогр.*: pp. 31-32 (23 titles).

6 Marco Zoric Potrosnja goriva I emisija staklenickih plinova pri kamionskom prijevozu drva u hrvatskom sumarstvu. nova meh / Marco Zoric, Marijan Susnjar, Zdravko Pandur, Kristijan Mihaljevic // *Sumar.* 35(2014). pp. 89-97. – *Библиогр.*: p. 96 (21 titles).

7 Teijo Palander Improving Energy Efficiency in a Synchronized Road – Transportation System by Using a TFMC (Transportation Fleet – Management Control) in Finland / Teijo Palander, Kalle Karha // *Energies* 2019, 12, 670. – 15 p. – *Библиогр.*: pp. 14-15 (57 titles). – DOI 10.3390/en12040670.

8 Xi Zhang Development of a Driver Assistance System for Long Timber Transportation Trucks to Improve Tracking Behavior. 2011 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV) Baden – Baden, Germany, June 5-9, 2011. – pp. 557-562. – *Библиогр.*: pp. 562 (7 titles). – DOI 10.1109/ivs.2011.594 0577.

9 Joseph L. Conrad IV Costs and Challenges of Log Truck Transportation in Georgia, USA. *Forests* 2018, 9, 650 – 14 p. – *Библиогр.*: pp. 12-14 (31 titles). – DOI 10.3390/f9100650.

10 Michal Allman Operational Parameters of Logging Trucks Working in Mountainous Terrains

of the western Carpathians / Michal Allman, Zuzana Dudakova, Martin Jankovsky, Jan Merganic // *Forests* 2021, 12, 718 – 13 p. – *Bibliogr.*: pp. 12-13 (27 titles). – DOI 10.3390/f12060718.

11 Siril Yella Automatically Detecting the Number of Logs on a Timber Truck / Siril Yella, Mark Dougherty // *Journal of Intelligent Systems* 2013 ; 22(4) : 417-435. – *Bibliogr.*: pp. 434-435 (13 titles). – DOI 10.1515/jisys.2013.0026.

12 Grzegorz Trzcinski Total Weight and Axle Loads of Truck Units in the Transport of Timber Depending on the Timber Cargo / Grzegorz Trzcinski, Tadeusz Moskalil, Rafal Wojtan // *Forests* 2018, 9, 164. – *Bibliogr.*: pp. 10-12 (40 titles). – DOI 10.3390/f9040164.

13 Grzegorz Trzcinski Effects of Timber Loads on Gross Vehicle Weight / Grzegorz Trzcinski, Waldemar Sieniawski, Tadeusz Moskalik // *Folia Forestalia Polonica, Series A*, 2013, Vol. 55(4), pp. 159-167. *Bibliogr.*: pp. 167-168 (23 titles). – DOI 10.2478/ffp-2013-0017.

14 Грузовые автомобили / М. С. Высоцкий, Ю. Ю. Беленький, Л. Х. Гилелес и др. – М. : Машиностроение, 1979. – 384 с. – *Библиогр.* : с. 383 (22 назв.).

15 Прикладная теория движения автопоезда. Закин Я. Х. Изд-во Транспорт, 1967. – 257 с. – *Библиогр.* : с. 251-253 (51 назв.).

16 Автомобили : Специализир. Подвижной состав : Учеб. пособие / М. С. Высоцкий, А. И. Гришкевич, Л. Х. Гилелес и др.; под. ред. М. С. Высоцкого, А. И. Гришкевича. – Мн. : Выш. шк., 1989. – 240 с. – *Библиогр.* : с. 237 (15 назв.).

17 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.).

18 Руководство по оценке динамических параметров трубопроводных автопоездов Р 311-78. Министерство строительства предприятий нефтяной и газовой промышленности. Всесоюзный научно-исследовательский институт по строительству магистральных трубопроводов ВНИИСТ, 1978. – 38 с.

19 Posmetev, V I Efficiency evaluation of energy recovery in the bunk of a timber truck based on the results of simulation modelling / V I Posmetev, V O Nikonov and V V Posmetev // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 875 (2021) 012030, *Forestry-2021* – *Bibliogr.*: pp. 10 (10 titles). – DOI 10.1088/1755-1315/875/1/012030.

20 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа для моделирования движения лесовозного тягача с прицепом-ропуском и рекуперативным кониковым устройством лесовозной площадки / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев ; правообладатель Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова. – № 2021666286; заявл. 06.10.2021 ; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 13.10.2021.

21 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа для моделирования работы рекуперативного коникового устройства лесовозного автопоезда / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев ; правообладатель Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова. – № 2021681943 ; заявл. 27.12.2021 ; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 27.12.2021.

22 Посметьев, В. И. Анализ эффективности конструкций лесовозных площадок, устанавливаемых на лесовозных тягачах с прицепами-ропусками / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, А. В. Авдюхин, А. Е. Матяшов // *Воронежский научно-технический вестник*. – 2020. – Т. 1, № 1 (31). – С. 40-57. Режим доступа : <http://vestnikvglta.ru/arhiv/2020/1-31-2020/40-57.pdf> – Загл. с экрана. – *Библиогр.* : с. 56-57 (26 назв.).

23 Посметьев, В. И. Результаты компьютерного моделирования рекуперации энергии в поворотном кониковом устройстве лесовозного автопоезда / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев, А. Е. Матяшов // *Материалы международной научно-практической конференции Энергоэффективность и энергосбережение в современном*

производстве и обществе: материалы международной научно-практической конференции. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2021. – С. 386-391. – Библиогр. : с. 391 (6 назв.).

24 Посметьев, В. И. Оценка эффективности работы рекуперативного гидропривода лесовозного тягача с прицепом-ропуском / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев, А. Е. Матяшов // Материалы всероссийской научно-технической конференции Инновационные технологии на автомобильном транспорте. – Воронеж : ФГБОУ ВО ВГЛТУ им. Г. Ф. Морозова, 2021. – С. 19-24. – Библиогр. : с. 24 (6 назв.). – DOI 10.34220/ITRT2021\_19-24.

25 Посметьев, В. И. Разработка перспективной конструкции рекуперативного коникового устройства лесовозного автопоезда / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, А. Е. Матяшов, А. В. Сильченко // Материалы всероссийской научно-технической конференции «Проблемы эксплуатации автомобильного транспорта и пути их решения на основе перспективных технологий», 2021. – С. 4-7. – Библиогр. : с. 7 (6 назв.). – DOI 10.34220/PRTOPT2021\_4-7.

### References

1 Budalin S. V. *Ocenka effektivnosti lesovoznih avtopoezdov na etapah vibora i ekspluatacii* [Evaluation of the efficiency of timber road trains at the stages of selection and operation]. Textbook allowance. – Yekaterinburg : Ural. state forest engineering un-t, 2014. – 215 p. (In Russ.).

2 Posmetev V. I., Nikonov V. O., Posmetev V. V., Matyashov A. E. *Sovershenstvovanie sistemi rekuperacii energii lesovoznogo tyagacha s pricepom-ropuskom* [Improving the energy recovery system of a timber tractor with a trailer-dissolution]. Forestry journal. 2021 – № 2 (42) – pp. 149-165 : doi : 10.34220/issn.2222-7962/2021.2/14. (In Russ.).

3 Nikonov V. O. *Sovremennoe sostoyanie, problemi i puti povisheniya effektivnosti lesovoznogo avtomobilnogo transporta* [Current state, problems and ways to improve the efficiency of timber road transport]. Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "VGLTU". – Voronezh, 2021. – 202 p. (In Russ.).

4 Mark W. Brown Evaluation of the Impact of Timber Truck Configuration and Tare Weight On Payload Efficiency : An Australian Case Study. *Forests* 2021, 12, 855. – 11 p. : doi : 10.3390/f12070855.

5 Philip Chevalier Cost Analysis of Weyerhaeuser is Pembina Timberlands Log Haul. Faculty of natural resources management Lakehead University, April 6, 2018. – 54 p.

6 Marco Zoric, Marijan Susnjar, Zdravko Pandur, Kristijan Mihaljevic Potrosnja goriva I emisija staklenickih plinova pri kamionskom prijevozu drva u hrvatskom sumarstvu. nova meh. *Sumar.* 35(2014). pp. 89-97.

7 Teijo Palander, Kalle Karha Improving Energy Efficiency in a Synchronized Road – Transportation System by Using a TFMC (Transportation Fleet – Management Control) in Finland. *Energies* 2019, 12, 670, 15 p. : doi :10.3390/en12040670.

8 Xi Zhang Development of a Driver Assistance System for Long Timber Transportation Trucks to Improve Tracking Behavior. 2011 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV) Baden – Baden, Germany, June 5-9, 2011. – pp. 557-562 : doi :10.1109/ivs.2011.594 0577.

9 Joseph L. Conrad IV Costs and Challenges of Log Truck Transportation in Georgia, USA. *Forests* 2018, 9, 650 – 14 p. Bibliogr.: pp. 12-14 : doi :10.3390/f9100650.

10 Michal Allman, Zuzana Dudakova, Martin Jankovsky, Jan Merganic Operational Parameters of Logging Trucks Working in Mountainous Terrains of the western Carpathians. *Forests* 2021, 12, 718 – 13 p. : doi : 10.3390/f12060718.

11 Siril Yella, Mark Dougherty Automatically Detecting the Number of Logs on a Timber Truck. *Journal of Intelligent Systems* 2013 ; 22(4) : 417-435 : doi :10.1515/jisys.2013.0026.

12 Grzegorz Trzcinski, Tadeusz Moskalil, Rafal Wojtan Total Weight and Axle Loads of Truck Units in the Transport of Timber Depending on the Timber Cargo. *Forests* 2018, 9, 164 : doi : 10.3390/f9040164.

13 Grzegorz Trzcinski, Waldemar Sieniawski, Tadeusz Moskalik Effects of Timber Loads on

Gross Vehicle Weight. *Folia Forestalia Polonica, Series A*, 2013, Vol. 55(4), pp. 159-167 : doi : 10.2478/ffp-2013-0017.

14 Visockii M. S., Belenkii Yu. Yu., Gileles L. H. *Gruzovye avtomobili* [Trucks]. M. : Mashinostroenie, 1979. – 384 p. (In Russ.).

15 Zakin Ya. H. *Prikladnaya teoriya dvizheniya avtopoezda* [Applied theory of road train movement]. Publishing House Transport, 1967. – 257 p. (In Russ.).

16 Visockii M. S., Grishkevich A. I., Gileles L. H. i dr. *Podvijnoi sostav* [Rolling stock]. Textbook. allowance. Mn. : Vys. shk., 1989. – 240 p. (In Russ.).

17 Prihodko V. I. Sovershenstvovanie konstrukcii lesovoznih avtopoezdov KRAZ na osnove vipolneniya kompleksa *raschetnih i eksperimentalno-konstruktorskih rabot* [Improving the design of KRAZ logging road trains based on the implementation of a set of design and experimental design work]. 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.).

18 Guidelines for assessing the dynamic parameters of pipe transport road trains R 311-78. Ministry of Construction of Oil and Gas Industry Enterprises. All-Union Scientific Research Institute for the Construction of Main Pipelines VNIIST, 1978. – 38 p. (In Russ.).

19 V I Posmetev, V O Nikonov and V V Posmetev Efficiency evaluation of energy recovery in the bunk of a timber truck based on the results of simulation modelling. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 875 (2021) 012030, Forestry-2021 : doi : 10.1088/1755-1315/875/1/012030.

20 Certificate of state registration of the computer program. Program for modeling the movement of a timber tractor with a trailer-dissolution and a recuperative bunk device of a timber platform / V. I. Posmetiev, V. O. Nikonov, V. V. Posmetiev ; copyright holder Voronezh State Forestry Engineering University named after G. F. Morozova. – №. 2021666286 ; dec. 06.10.2021 ; registered in the Register of Computer Programs on 10.13.2021. (In Russ.).

21 Certificate of state registration of the computer program / Posmetiev V. I., Nikonov V. O., Posmetiev V. V. Program for modeling the operation of a recuperative bunk device of a timber road train; copyright holder Voronezh State Forest Engineering University named after G. F. Morozova. – №. 2021681943 ; dec. 12.27.2021 ; registered in the Register of Computer Programs on 12.27.2021. (In Russ.).

22 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 logging tractors with drop trailers]. Voronezh Scientific and Technical Bulletin. – 2020. – V. 1, №. 1 (31). – P. 40-57. (In Russ.).

23 Posmetev V. I., Nikonov V. O., 23 Posmetev V. V., Matyashov A. E. *Rezultati kompyuternogo modelirovaniya rekuperacii energii v povorotnom konikovom ustroistve lesovoznogo avtopoezda* [The results of computer simulation of energy recovery in the rotary bunk device of a timber road train]. Proceedings of the international scientific-practical conference Energy efficiency and energy saving in modern production and society : materials of the international scientific-practical conference. – Voronezh : Voronezh State Agrarian University, 2021. – P. 386-391. (In Russ.).

24 Posmetev V. I., Nikonov V. O., 23 Posmetev V. V., Matyashov A. E. *Ocenka effektivnosti raboti rekuperativnogo gidroprivoda lesovoznogo tyagacha s pricepom-rospuskom* [Evaluation of the efficiency of the regenerative hydraulic drive of a timber tractor with a trailer-dissolution]. Proceedings of the All-Russian scientific and technical conference Innovative technologies in road transport. – Voronezh : FGBOU VO VGLTU im. G. F. Morozova, 2021. – S. 19-24 : doi : 10.34220/ITRT2021\_19-24. (In Russ.).

25 Posmetev V. I., Nikonov V. O., Matyashov A. E., Silchenko A. V. *Razrabotka perspektivnoi konstrukcii rekuperativnogo konikovo ustroistva lesovoznogo avtopoezda* [Development of a promising design of a recuperative conic device for a logging road train]. Proceedings of the All-Russian scientific and technical conference "Problems of the operation of road transport and ways to solve them based on advanced technologies", 2021. – P. 4-7 : doi :10.34220/PRTOPT2021\_4-7.