



05.22.10 – эксплуатация автомобильного транспорта

**ОЦЕНКА АКТУАЛЬНОСТИ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КОНСТРУКЦИИ
ЛЕСОВОЗНОГО ТЯГАЧА С
ПОЛУПРИЦЕПОМ РЕКУПЕРАТИВНОГО
ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКОГО
СЕДЕЛЬНО-СЦЕПНОГО 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

✉¹**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

Авдюхин Александр Владимирович

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

Аннотация.

Перечислены основные преимущества использования лесовозных тягачей с полуприцепами в сравнении с одиночными лесовозными автомобилями и лесовозными автомобилями с прицепами. Выполнен анализ результатов научных работ зарубежных авторов, занимающихся повышением эффективности лесовозных тягачей с полуприцепами в процессе вывозки лесоматериалов. Рассмотрены существующие условия вывозки лесоматериалов в РФ лесовозными тягачами с полуприцепами. Описаны негативные последствия, проявляющиеся в процессе движения по лесовозным дорогам, ограничи-

**ASSESSMENT OF THE
RELEVANCE OF USE IN THE
CONSTRUCTION OF A FOREST
TRACTOR WITH A SEMI-TRAILER
OF A RECUPERATIVE PNEUMATIC
HYDRAULIC SADDLE 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. Mo-
rosov", Voronezh, RF

✉¹**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

Avdyuhin Aleksandr Vladimirovich

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

Annotation.

The main advantages of using timber tractors with semitrailers in comparison with single timber trucks and timber trucks with trailers are listed. The analysis of the results of scientific works of foreign authors engaged in increasing the efficiency of timber haulers with semi-trailers in the process of hauling timber is carried out. The existing conditions for the transportation of timber in the Russian Federation by timber haulers with semitrailers are considered. Described are the negative consequences that are manifested in the process of movement on forest roads, limiting the effi-

вающие эффективность использования лесовозных тягачей с полуприцепами. Среди них выделено наиболее существенное, заключающееся в возникновении значительных усилий при торможении лесовозного тягача с полуприцепом в седельно-сцепном устройстве, сопровождающихся появлением трещин в элементах несущей системы, поломок в сцепном устройстве, а также складыванию лесовозного автопоезда. Представлены схемы сил, действующие на лесовозный тягач с полуприцепом в процессе торможения. Приведены зависимости изменения тормозных сил мостов лесовозного тягача с полуприцепом, учитывающие неодновременность срабатывания их тормозных механизмов, а также изменение усилия в седельно-сцепном устройстве лесовозного тягача с полуприцепом в процессе торможения. С целью повышения эффективности лесовозного тягача с полуприцепом предложена перспективная конструкция рекуперативного седельно-сцепного устройства.

Ключевые слова: ЛЕСОВОЗНАЯ ДОРОГА, ЛЕСОВОЗНЫЙ ТЯГАЧ, ПОЛУПРИЦЕП, СЕДЕЛЬНО-СЦЕПНОЕ УСТРОЙСТВО, РЕКУПЕРАЦИЯ ЭНЕРГИИ, ПРОЦЕСС ТОРМОЖЕНИЯ, КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ, ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ.

ciency of using timber tractors with semi-trailers. Among them, the most significant one is highlighted, which consists in the occurrence of significant efforts when braking a timber tractor with a semitrailer in a fifth wheel coupling, accompanied by the appearance of cracks in the elements of the supporting system, breakdowns in the coupling device, as well as folding of the timber road train. The schemes of forces acting on a timber tractor with a semitrailer during braking are presented. The dependences of the change in the braking forces of the axles of a timber tractor with a semitrailer are given, taking into account the non-simultaneous operation of their braking mechanisms, as well as the change in the force in the fifth wheel coupling of a timber tractor with a semitrailer during braking. In order to increase the efficiency of a logging tractor with a semitrailer, a promising design of a recuperative fifth wheel coupling has been proposed.

Keywords: FOREST ROAD, FOREST TRACTOR, SEMI-TRAILER, SADDLE-COUPLING DEVICE, ENERGY RE-COUPERATION, TOR-OIL PROCESS, KINETIC ENERGY, HYDRAULIC ENERGY.

¹Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Главным элементом общего транспортно-логистического процесса перевозок являются операции по перемещению различных видов грузов. На эффективность этих операций оказывает влияние большое количество разнообразных факторов. Ключевое значение в процессе выполнения грузовых перевозок в лесопромышленном производстве отводится вывозке лесоматериалов с лесоскладов потребителям, которая во многом зависит не только от используемой технологии, но и от вида используемого лесовозного транспорта и условий вывозки. Анализируя современное состояние развития лесопромышленного производства, необходимо отметить, что основная доля вывозимых лесоматериалов приходится на лесовозный автомобильный транспорт. Формирование лесовозных автопоездов из лесовозных тягачей с полуприцепами является наиболее рациональным способом повышения эффективности вывозки лесоматериалов в сложных дорожных и природно-климатических условиях. Это обосновывается преимуществами применения таких лесовозных автопоездов, которые заключаются в следующем.

Их использование позволяет в одинаковых условиях эксплуатации, характеризующихся наличием лесовозных дорог с твердым покрытием, без крутых и затяжных подъемов: увеличить общую грузоподъемность и грузместимость лесовозного автопоезда, без значительного усложнения его конструкции; более равномерно распределять осевые нагрузки, воздействующие на лесовозную дорогу, тем самым не подвергая ее разрушающим воздействиям, увеличивая ее срок службы, сокращая затраты на ремонт и обслуживание, что в свою очередь приведет к повышению устойчивости лесовозного тягача с полуприцепом, к возрастанию допустимых скоро-

стей движения и сведению к минимуму дорожно-транспортных происшествий; снизить себестоимость вывозки лесоматериалов в сравнении с одиночными лесовозными автомобилями на 25-30 %, повысить производительность в 1,5 раза, сократить в диапазоне от 28 до 40 % стоимость топлива, расходуемого на 1 т-км транспортной работы; при незначительном снижении средней скорости движения лесовозного тягача с полуприцепом, повысить в 2-3 раза количество вывозимых им лесоматериалов; сократить потребность в водителях лесовозных автопоездов за счет возрастания производительности лесовозных тягачей с полуприцепами; перевозить преимущественно длинномерные лесоматериалы; использовать в процессе вывозки лесоматериалов для повышения производительности один лесовозный тягач поочередно с несколькими полуприцепами, или же менять лесовозные тягачи на маршрутах вывозки лесоматериалов.

Кроме этого, применение полуприцепов для вывозки лесоматериалов в составе с лесовозными тягачами позволяет: сократить общую себестоимость эксплуатации на 30-50 % и снизить капиталовложения в строительство зон хранения лесовозных автопоездов; более полно использовать мощность двигателей в сравнении с одиночными лесовозными автомобилями, а также повысить коэффициент пробега; сократить простои под погрузкой и разгрузкой лесоматериалов, в том числе при одновременной разгрузке лесовозного автопоезда, а также разгрузке полуприцепа, когда лесовозный тягач используется для вывозки лесоматериалов с другим полуприцепом; при одинаковой грузоподъемности с лесовозными автомобилями с прицепами уменьшить габаритную длину лесовозного автопоезда, что имеет значение при маневрировании и размещении его на стоянке.

Лесовозные тягачи с полуприцепами менее подвержены влиянию при движении по лесовозной дороге, обладают более простой конструкцией, имеют меньший коэффициент металлоемкости. Потребная мощность двигателя внутреннего сгорания лесовозного тягача с полуприцепом на 25-35 % ниже, чем у лесовозного автомобиля с прицепом, что способствует улучшению экономических показателей вывозки лесоматериалов. В таких лесовозных автопоездах отсутствует цельная рама как в одиночном трехосном лесовозном автомобиле, являющаяся жестким основанием для всех осей одновременно. Стоимость проектирования, производства, технического обслуживания и ремонта полуприцепов, вследствие отсутствия трансмиссии, сложных агрегатов и систем существенно ниже, а надежность выше, чем лесовозных одиночных автомобилей соответствующей грузоподъемности. В отличие от лесовозного автомобиля с прицепом, имеющего два шарнира горизонтальной гибкости (шарнир в тягово-сцепном устройстве и шарнир поворота дышла прицепа), лесовозный тягач с полуприцепом снабжен только одним шарниром в седельно-сцепном устройстве. В этой связи лесовозные тягачи с полуприцепами обладают лучшей устойчивостью при торможении, а также приспособленностью к движению по лесовозным дорогам. Это связано с тем, что у полуприцепов вертикальные и боковые ускорения при преодолении различных по геометрическим параметрам неровностей лесовозной дороги значительно меньше в сравнении с прицепами. При аналогичной характеристике двигателя внутреннего сгорания и трансмиссии лесовозного автомобиля с прицепом и одинаковой полной массе лесовозный тягач с полуприцепом имеет в трудных дорожных условиях более высокие скорости движения [1-4].

Преимущества применения для вывозки лесоматериалов в сложных дорожных и природно-климатических условиях лесовозных тягачей с полуприцепами также подтверждаются результатами исследований, представленных в научных статьях зарубежных авторов.

Eric Johannes и др. [5] в своей работе исследуют влияние аэродинамических устройств, устанавливаемых на лесовозные тягачи с полуприцепами на изменение расхода топлива в процессе вывозки лесоматериалов по лесовозным дорогам Швеции. Выявлено, что изменение аэродинамического сопротивления на этапе проектирования и производства лесовозных тягачей с полуприцепами позволит значительно снизить транспортные расходы на вывозку лесоматериалов, сократить вредные выбросы, и, соответственно повысить экологичность лесовозных автопоездов.

Christoph Kogler и др. [6] в своей научной работе исследуют многоступенчатую транспортную имитационную модель, описываемую синхронную перегрузку лесоматериалов на автомобильном терминале с четырьмя перевалочными пунктами из самозагружающихся лесовоз-

ных автомобилей в полуприцепы. Имитационная модель позволяет определить такие показатели эффективности, как объемы вывозимых лесоматериалов и затраты на вывозку. Имитационная модель дает возможность оптимизировать необходимый парк лесовозных автомобилей и прицепных звеньев в зависимости от наличия самозагружающихся лесовозных автомобилей, от имеющихся полуприцепов различной грузоподъемности, времени установки на терминал, а также разрешенных способов загрузки лесовозных тягачей с полуприцепами. Выявлено, что использование данной многоступенчатой транспортной имитационной модели позволит на 50 % сократить количество самозагружающихся лесовозных тягачей с полуприцепами. Это в свою очередь позволит повысить эффективность системы путем снижения транспортных расходов на тонну вывозимых лесоматериалов в пределах 6-11 % за счет сокращения времени ожидания в очереди меньшего количества лесовозных тягачей с полуприцепами. Кроме этого, количество самозагружающихся лесовозных автопоездов может быть сокращено на 20-38 % за счет повышения допустимой полной массы лесовозного тягача с полуприцепом с 44 тонн до 50 тонн.

Gunnar Svenson [7] в своей научной работе исследовал влияние неровностей поверхности, величины уклонов, горизонтальной кривизны лесовозной дороги, а также веса лесовозного тягача с полуприцепом на процесс оптимизации маршрутов вывозки лесоматериалов, минимизирующий негативное воздействие на окружающую среду и повышающий безопасность дорожного движения. Разработанные методы расчета, учитывающие характеристики неровностей поверхности, уклонов, горизонтальной кривизны лесовозной дороги, а также вес лесовозного тягача с полуприцепом, позволяют определять изменения времени вывозки лесоматериалов и расхода топлива лесовозным автопоездом, что дает возможность находить оптимальные маршруты вывозки лесоматериалов, обеспечивающие значительное сокращение транспортных расходов и минимизацию вредных выбросов от лесовозных автопоездов в окружающую среду.

Sunday Vako и др. [8] в своей научной работе исследовали устойчивость тягача с полуприцепом в процессе движения при перевозке различных грузов. Выявлено, что на запас прочности против опрокидывания тягача с полуприцепом оказывает влияние вес автопоезда, с увеличением которого изменяется расстояние расположения центра тяжести от точки сцепки тягача с полуприцепом в седельно-сцепном устройстве. Обнаружено также, что устойчивость автопоезда зависит от размещения седельно-сцепного устройства на тягаче относительно его осей, а также расстояния между тягачом и центром тяжести полуприцепа.

Mark Brown и др. [9] в своей работе выполнили исследование четырех различных методов взвешивания загруженных лесоматериалами лесовозных тягачей с полуприцепами, осуществляющих вывозку лесоматериалов по двум типам лесовозных дорог, отличающихся предельными значениями разрешенных масс лесовозных автопоездов. Выявлена проблема недогрузки лесовозных тягачей с полуприцепами в диапазоне от 5,3 до 6,4 тонн на одну загрузку вывозимых лесоматериалов по лесовозным дорогам с более высокими разрешенными массами лесовозных автопоездов в сравнении с вывозкой лесоматериалов этими же автопоездами по лесовозным дорогам общего пользования. Данная проблема вызвана отсутствием для полной загрузки лесовозных тягачей с полуприцепами необходимого объема лесоматериалов, а также неосведомленностью водителей о планируемых маршрутах вывозки лесоматериалов.

Zhen-Wei Feng и др. [10] в своей научной работе с целью планирования эффективных маршрутов вывозки лесоматериалов по различным типам лесовозных дорог предлагают модель прогнозирования производительности, скорости и расхода топлива лесовозных тягачей с полуприцепами. Исследование разработанной модели показало, что результаты прогноза и полевых испытаний имеют близкие значения. Для повышения эффективности вывозки лесоматериалов лесовозными тягачами с полуприцепами, а также облегчения процесса планирования маршрутов вывозки лесоматериалов, авторы предлагают: объединить модель производительности лесовозного автопоезда с географическими информационными системами и моделями прогнозирования затрат на процесс вывозки лесоматериалов; выявить закономерности между конструктивными характеристиками лесовозных дорог и сопротивлением качению, для обеспечения прогнозирования изменения надежности лесовозных тягачей с полуприцепами.

Mohammad Reza Ghaffariyan и др. [11] в своей работе выполнили сравнение Канадской и Австралийской моделей прогнозирования изменения расхода топлива лесовозного тягача с полуприцепом в зависимости от его полезной нагрузки, расстояния вывозки, а также типа лесовозной дороги (твердое покрытие, гравийная или грунтовая дорога с наличием колеи) по которой осуществляется движение лесовозного автопоезда. Выявлено, что большей адекватностью обладает Австралийская модель прогнозирования расхода топлива, так как она в сравнении с Канадской учитывает современные технико-эксплуатационные характеристики лесовозных автопоездов и конструктивные параметры существующих лесовозных дорог.

Grzegorz Trzcinski и др. [12] в своей работе приводят результаты исследования процессов погрузки лесовозных тягачей с полуприцепами на лесоскладах и разгрузки лесоматериалов у потребителей на предмет повышения лесовозными автопоездами разрешенной полной массы. Выявлено, что все исследуемые лесовозные автопоезда превышали разрешенную полную массу. Уменьшение объемов вывозимых лесоматериалов для обеспечения разрешенной массы автопоезда не позволяет достичь необходимой эффективности, так как при этом увеличивается количество дополнительных рейсов, расход топлива, и, следовательно, негативное воздействие лесовозных тягачей с полуприцепами на окружающую среду. Предлагается найти такое логистическое решение, которое обеспечивало бы вывозку максимального объема лесоматериалов при соблюдении разрешенной полной массы загрузки лесовозных тягачей с полуприцепами, а также не увеличивало бы количество дополнительных рейсов и не повышало бы расход топлива лесовозными автопоездами.

Mark W. Brown [13] в своем исследовании рассмотрел вопрос повышения производительности вывозки лесоматериалов лесовозными тягачами с полуприцепами различной конфигурации за счет увеличения разрешенной полной массы лесовозного автопоезда. Ориентировочное сравнение стоимости вывозки лесоматериалов лесовозными тягачами с полуприцепами различной конфигурации показывают, что транспортные расходы лесовозного автопоезда, работающего с наименьшей собственной массой на расстоянии вывозки 50 км, составляют 34 % транспортных расходов самого тяжелого полуприцепа, работающего на расстоянии вывозки 150 км. Выявлено, что собственный вес лесовозного тягача с полуприцепом может значительно варьироваться в зависимости от конфигурации лесовозного автопоезда. Снижение собственного веса лесовозного автопоезда позволит сократить транспортные расходы, и, следовательно, конечную стоимость лесоматериалов.

Y. Reboh и др. [14] в своей работе исследовали отказы, возникающие в седельно-сцепном устройстве при движении тягача с полуприцепом по дороге с неровностями. Выявлено на основе методов конечных элементов, оптической и сканирующей электронной микроскопии, что разрушение сварного шва фиксирующей пластины шкворня в виде трещины произошло из-за усталостного разрушения материала при превышении его предела выносливости. Определены усилия, воспринимаемые шкворнем седельно-сцепного устройства при трогании и торможении тягача с полуприцепом. Установлено, что при ускорении автопоезда значение усилий в кромке сварного шва фиксирующей пластины шкворня составляет 130 МПа при допуске значения усилия разрыва материала – 150 МПа.

Проведенный обзор научных исследований, выполненных зарубежными авторами, позволяет сделать вывод, что эффективность лесовозных тягачей с полуприцепами зависит от следующих факторов: устойчивости лесовозного автопоезда; загруженности лесоматериалами лесовозного тягача с полуприцепом; расстояния между лесовозным тягачом и центром тяжести автопоезда; размещения седельно-сцепного устройства относительно осей лесовозного тягача; аэродинамических устройств, установленных на лесовозном автопоезде; оптимального маршрута вывозки лесоматериалов; наличия устройств для погрузочно-разгрузочных работ; технического состояния парка лесовозных автопоездов; конфигурации и грузоподъемности полуприцепов; собственного веса и надежности лесовозного автопоезда; расстояния вывозки лесоматериалов; технико-эксплуатационных характеристик лесовозного тягача; количество дополнительных рейсов вывозки лесоматериалов; разрешенной полной

массы лесовозного автопоезда; от усилий, возникающих в седельно-сцепном устройстве лесовозного тягача с полуприцепом при резком торможении; типа лесовозной дороги, ее конструктивных параметров, наличия неровностей на ней, уклонов, горизонтальной кривизны.

Используя зарубежный опыт повышения эффективности лесовозных тягачей с полуприцепами в процессе вывозки лесоматериалов в различных дорожных условиях, требуется на основании оценки существующих в РФ условий вывозки лесоматериалов определить факторы сдерживающие эффективность лесовозных автопоездов и их последствия, и на этой основе предложить пути сведения их влияния к минимуму. Целью исследования является оценка использования лесовозных тягачей с полуприцепами в современных условиях вывозки лесоматериалов в РФ, выявление негативных факторов, сдерживающих производительность лесовозных автопоездов, а также предложение перспективного технического решения, обеспечивающего повышение показателей эффективности лесовозного тягача с полуприцепом.

2 Материалы и методы

В данной статье приведен анализ эмпирических данных российских и зарубежных ученых, область исследования которых связана с повышением эффективности лесовозных тягачей с полуприцепами в процессе вывозки лесоматериалов в различных дорожных и природно-климатических условиях на основании предлагаемых ими различных технических и организационных решений. Поиск научных статей осуществлялся в поисковых системах, научных электронных библиотеках, а также библиографических базах: MDPI (www.mdpi.com), Scopus (www.scopus.com), Web of Science (access.clarivate.com), eLIBRARY.RU (www.elibrary.ru). Кроме этого, в качестве литературных источников использовались научные труды на русском языке, глубина поиска которых начиналась с 1940 г. Основными ключевыми словами поисковых запросов в процессе отбора научного материала выступали: лесовозная дорога, лесовозный тягач, полуприцеп, седельно-сцепное устройство, рекуперация энергии, процесс торможения, кинетическая энергия, гидравлическая энергия, пневмогидравлический аккумулятор.

3 Результаты исследований

Дорожные условия эксплуатации лесовозных тягачей с полуприцепами значительно отличаются от дорожных условий эксплуатации автопоездов общего назначения. Для обеспечения высокой эффективности процесса вывозки лесоматериалов лесовозными тягачами с полуприцепами по лесовозным дорогам, последние в соответствии с СП 318.1325800.2017 должны обладать требуемыми эксплуатационными свойствами, обеспечивающими непрерывное, безопасное и удобное движение лесовозного автопоезда с необходимой скоростью, а также высокую пропускную способность [15].

В существующих же условиях большую часть времени лесовозные тягачи с полуприцепами вынуждены перемещаться в процессе вывозки лесоматериалов в более тяжелых условиях в районах с малой сетью усовершенствованных лесовозных дорог, характеризующихся наличием грунтового покрытия или же его полным отсутствием. Это связано с тем, что большая часть лесовозных дорог в РФ в настоящее время имеет низкое техническое состояние, неудовлетворяющее нормативным требованиям. Причинами недостаточной обустроенности лесовозных дорог, являются: сложные природно-климатические условия, несоблюдение правил эксплуатации и мероприятий по поддержанию работоспособного состояния лесовозных дорог с твердым покрытием, сопровождающихся их быстрым изнашиванием; недостаточный уровень финансирования и рациональных способов удешевления строительства новых лесовозных дорог; несоответствующее качество используемых для ремонта и строительства лесовозных дорог материалов; нарушение технологий строительства, ремонта и эксплуатации лесовозных дорог; отсутствие необходимого контроля качества и выполнения работ на всех этапах строительства и ремонта лесовозных дорог; отсутствие мотивации в строительстве новых и поддержанию в работоспособном состоянии существующих лесовозных дорог лесозаготовительными предприятиями, осуществляющими заготовку и вывозку лесоматериалов путем краткосрочного пользования [16]

Движение в процессе вывозки лесоматериалов лесовозных тягачей с полуприцепами по таким лесовозным дорогам сопровождается большим количеством негативных последствий, которые значительно снижают их эффективность. При движении лесовозного тягача с полуприцепом по лесовозным дорогам и на поворотах под тяжестью лесоматериалов, которые часто неравномерно размещены на платформе полуприцепа, лесовозный автопоезд подвергается значительным изгибам в горизонтальной и вертикальной плоскостях и скручиванию относительно продольной оси. Под воздействием нагрузок на лесовозный тягач, передающихся от седельно-сцепного устройства и преодолеваемых лесовозным автопоездом неровностей, имеющих на лесовозной дороге, его рама воспринимает значительные по значению разнонаправленные и динамические усилия. В конструкциях полуприцепов в таких условиях эксплуатации возникают: трещины в лонжеронах рамы, в опорном листе со шкворнем, в центральных и крайних поперечинах, в балках несущих элементов; износ шейки шкворня; смятие резьбы элементов крепления подшипников ступицы; поломки листов рессоры подвески [17].

Кроме этого, при движении лесовозного тягача с полуприцепом в процессе вывозки лесоматериалов по лесовозным дорогам с большим количеством поворотов на лесовозный автопоезд воздействуют в поперечном направлении под влиянием центросместительного ускорения центробежные силы, нагружающие несущую систему полуприцепа знакопеременными усилиями, приводящими к появлению поломок в элементах рамы полуприцепа, снижению надежности, и как следствие существенному повышению затрат на ремонт за счет рассогласования потока отказов в полуприцепах с их плановыми ремонтами.

Резкое торможение в процессе вывозки лесоматериалов лесовозного тягача с полуприцепом при преодолении неровностей лесовозной дороги сопровождается за счет действия инерционных сил изменением траектории движения лесовозного тягача относительно полуприцепа и как следствие складыванием лесовозного тягача с полуприцепом [18].

Также движение лесовозного автопоезда в таких дорожных условиях сопровождается уменьшением ресурса ходовой части и шин лесовозного тягача с полуприцепом, увеличением износа сцепления, коробки перемены передач, раздаточной коробки, редукторов мостов, повышением нагрузки на замок седельно-сцепного устройства; возрастанием риска опрокидывания лесовозного тягача с полуприцепом, ухудшением маневренности, увеличением тормозного пути. Увеличение количества троганий лесовозного тягача с полуприцепом сопровождается воздействием ударных нагрузок на седельно-сцепное устройство, подвеску, раму и трансмиссию лесовозного тягача, а также частым пробуксовкам ведущих колес.

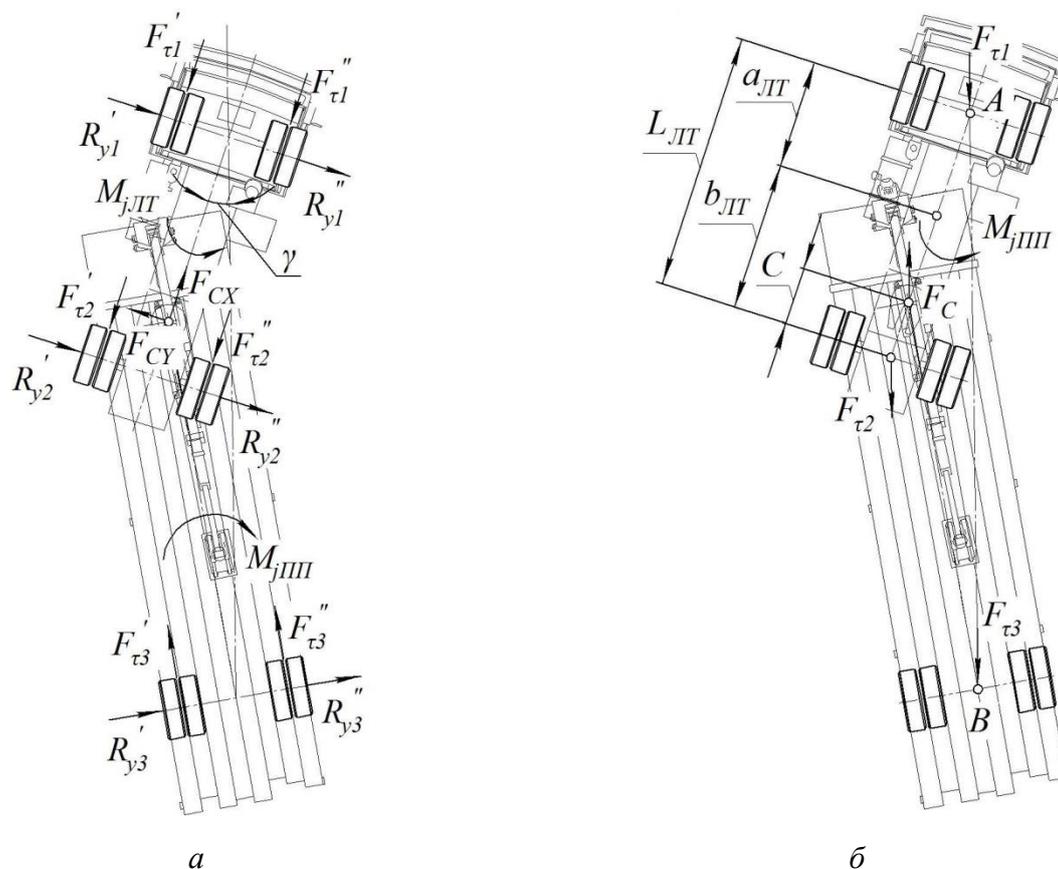
Многочисленные повороты полуприцепа относительно лесовозного тягача, частые изменения положения ведущих мостов лесовозного автопоезда в процессе вывозки лесоматериалов при движении по лесовозной дороге сопровождается отказом стабилизаторов поперечной устойчивости из-за разрыва материала сайлентблока. Движение лесовозных тягачей с полуприцепами по лесовозным дорогам сопровождается появлением статических и динамических нагрузок, воздействующих на ступицы колес лесовозных автопоездов, что приводит к поломкам шпилек ступиц, износу подшипников и посадочных мест, а также к их разрегулировке [19].

Наиболее неблагоприятными с точки зрения нагрузок на детали седельно-сцепного устройства являются режимы движения лесовозного тягача с полуприцепом с резким приложением к их колесам тяговых и тормозных сил. На таких режимах движения возникают значительные нагрузки, вызванные свободными продольными колебаниями звеньев. Нагрузки, воспринимаемые деталями седельно-сцепных устройств зависят от большого количества, как эксплуатационных, так и конструктивных факторов. Среди конструктивных факторов выделяют: размеры зазоров в седельно-сцепных устройствах, жесткость упругой связи, массы лесовозного тягача и полуприцепа и их соотношение. С увеличением жесткости упругой связи и зазоров в седельно-сцепных устройствах характер динамического взаимодействия между лесовозным тягачом и полуприцепом все более приближается к ударному. Шкворень и захваты седельно-сцепного устройства лесовозного автопоезда также подвержены значительным нагрузкам от сил тяги, возникающих на колесах лесовозного тягача при достижении ими предельных значений в про-

цессе сцепления ведущих колес с лесовозной дорогой.

Торможение лесовозного тягача с полуприцепом сопровождается появлением между ним и полуприцепом ударных нагрузок, последствия воздействия которых, в определенных условиях движения приводят к снижению устойчивости лесовозного тягача с полуприцепом. Ударные нагрузки при торможении между звеньями лесовозного автопоезда достигают предельных значений только в случае значительной разницы времени срабатывания их тормозных механизмов. Использование лесовозных тягачей с полуприцепами в процессе вывозки лесоматериалов показывает, что запаздывание срабатывания во времени тормозных механизмов лесовозного тягача и соответственно полуприцепа проявляется почти регулярно. Это приводит к тому, что водители лесовозных тягачей с полностью загруженными полуприцепами в случае вывозки лесоматериалов в сложных природно-климатических и дорожных условиях вынуждены предпринимать неадекватные меры, способствующие повышению безопасности движения за счет отключения тормоза передней оси лесовозного тягача. Известно также, что запаздывание срабатывания во времени тормозных механизмов полуприцепа относительно лесовозного тягача может достигать более 0,6 с. Такое запаздывание объясняется разницей в массах полуприцепа по отношению к лесовозному тягачу. Причины возникновения ударных нагрузок шарнирного пальца седельно-сцепного устройства связаны с тем, что масса полуприцепа превышает массу лесовозного тягача и поэтому изнашивание тормозных накладок у полуприцепа протекает более интенсивно, в сравнении с лесовозным тягачом и, следовательно, запаздывание срабатывания во времени тормозных механизмов у полуприцепа значительно возрастает [20].

Схемы сил, действующих на лесовозный тягач с полуприцепом при торможении, определяющие его устойчивость, показаны на рисунке 1 [21].



а, б – полноценная и упрощенная схемы сил

Рисунок 1 – Схемы сил, действующих на лесовозный тягач с полуприцепом при торможении

Согласно изображению на рисунке 1, *a*, продольная ось лесовозного тягача повернута относительно траектории движения лесовозного автопоезда на угол γ . В реальных условиях это отклонение может возникать вследствие различия тормозных сил, действующих вдоль бортов лесовозного тягача или полуприцепа (в том числе и вследствие неодинаковости сцепных свойств лесовозной дороги), поворота или самоповорота управляемых колес лесовозного тягача при торможении, действия боковых сил, уклона лесовозной дороги и ряда других причин. Угловое смещение продольных осей полуприцепа также имеет место при торможении лесовозного автопоезда на повороте.

В рассматриваемом случае лесовозный тягач с полуприцепом находится под действием инерционных сил $F_{jЛА}$ и $F_{jП}$. Силами сопротивления являются тормозные силы: $F_{\tau i}'$ и $F_{\tau i}''$. Так как, помимо поступательного движения, звенья лесовозного автопоезда совершают вращательное, на систему действует инерционные моменты $M_{jЛА}$ и $M_{jП}$, а в зонах контакта колес с опорной поверхностью лесовозной дороги возникают боковые реакции дороги R_{yi}' и R_{yi}'' (i – номер моста лесовозного автопоезда).

В седельно-сцепном устройстве лесовозного тягача с полуприцепом действует сила в седельно-сцепном устройстве F_c . Она может быть разложена на две составляющие – F_{cx} и F_{cy} . Если рассматривать, как это показано на рисунке 1, *a*, движение лесовозного тягача с полуприцепом в горизонтальной плоскости, расчетная система будет иметь четыре степени свободы у лесовозного тягача (x, y, γ) и одну степень свободы у полуприцепа (ε – угол поворота продольной оси полуприцепа относительно оси лесовозного тягача). В соответствии с изложенным, движение рассматриваемой системы описывается четырьмя дифференциальными уравнениями второго порядка. Эти уравнения могут быть составлены путем суммирования сил, действующих вдоль осей координат x и y , и моментов относительно центров масс лесовозного тягача и полуприцепа.

Для качественной оценки влияния основных конструктивных параметров лесовозного тягача с полуприцепом на его устойчивость рассмотрим упрощенную схему торможения лесовозного тягача с полуприцепом (рис. 1, *б*). При составлении схемы приняты следующие допущения. Тормозные силы под правыми и левыми колесами мостов лесовозного тягача с полуприцепом одинаковы и поэтому могут быть заменены результирующими, действующими вдоль продольной оси лесовозного тягача и полуприцепа. В процесс торможения лесовозный тягач и полуприцеп совершают поступательные и вращательные движения. При этом в начальный момент продольная ось лесовозного тягача отклонена от направления траектории движения на малый угол γ . Мгновенный центр поворота лесовозного тягача во вращательном движении совпадает с серединой переднего моста лесовозного тягача, а мгновенный центр поворота полуприцепа – с серединой его моста. Эти допущения возможны потому, что продольные составляющие векторов скоростей передних колес лесовозного тягача и колес полуприцепа оказываются значительно большими, чем поперечные. Поэтому при анализе качественной картины потери устойчивости лесовозного тягача с полуприцепом представляется возможным пренебречь перемещением этих мостов в поперечном направлении. Будем также считать, что силы сопротивления качению и сопротивления воздуха значительно меньше, чем тормозные силы, а коэффициент учета вращающихся масс лесовозного тягача с полуприцепом близок к единице [21].

Так как угол γ в начальный момент торможения является малым, замедления лесовозного тягача и полуприцепа считаются одинаковыми. При торможении по горизонтальной лесовозной дороге замедление лесовозного тягача с полуприцепом можно представить:

$$a_{\tau} = \frac{\sum F_{\tau i}}{m_{ЛТ+ПП}} = \frac{F_{\tau 1} + F_{\tau 2} + F_{\tau 3}}{m_{ЛТ} + m_{ПП}}, \quad (1)$$

где $m_{ЛТ}$ и $m_{ПП}$ – масса соответственно лесовозного тягача и полуприцепа.

Усилие, действующее в седельно-сцепном устройстве, может быть найдено по одному из выражений:

$$\left. \begin{aligned} F_c &= F_{\tau 1} + F_{\tau 2} - a_{\tau} m_{ЛТ}; \\ F_c &= a_{\tau} m_{ПП} - F_{\tau 3}; \\ F_c &= \frac{m_{ПП}}{m_{ЛТ+ПП}} (F_{\tau 1} + F_{\tau 2}) - \frac{m_{ПП}}{m_{ЛТ+ПП}} F_{\tau 3}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Предполагается, что усилие в седельно-сцепном устройстве является положительным, если направление его действия совпадает с направлением скорости центра масс лесовозного тягача. Сила инерции лесовозного тягача $F_{jТ}$ и усилие в седельно-сцепном устройстве F_c создают момент $M_{нЛТ}$, который стремится повернуть лесовозный тягач относительно его мгновенного центра вращения (точки, расположенной в середине переднего моста) согласно выражению:

$$M_{нЛТ} = [F_c (L_{ЛТ} + c) + m_{ЛТ} a_{\tau} a_{ЛТ}] \gamma, \quad (3)$$

где $L_{ЛТ}$ – база лесовозного тягача; c – расстояние от оси заднего моста лесовозного тягача до точки сцепки в седельно-сцепном устройстве. Считается положительным, если точка сцепки седельно-сцепного устройства расположена вне базы лесовозного тягача; $a_{ЛТ}$ – расстояние от центра масс лесовозного тягача до оси переднего моста.

Момент сопротивления повороту $M_{сЛТ}$ лесовозного тягача создается продольными (тормозной силой $F_{\tau 2}$) и поперечными R_{y2} реакциями лесовозной дороги на заднем мосту лесовозного тягача и инерционным моментом лесовозного тягача в виде:

$$M_{сЛТ} = F_{\tau 2} L_{ЛТ} \gamma + R_{y2} L_{ЛТ} + m_{ЛТ} (\rho^2 + a_{ЛТ}^2) \cdot \frac{d^2 \gamma}{dt^2}, \quad (4)$$

где ρ – радиус инерции лесовозного тягача относительно вертикальной оси, проходящей через его центр масс.

Направление и значение усилия в седельно-сцепном устройстве зависят от параметров лесовозного тягача и полуприцепа, а также от характера нарастания тормозных сил на мостах лесовозного тягача с полуприцепом.

Тормозные силы лесовозного тягача и полуприцепа можно выразить через удельные тормозные силы лесовозного тягача $\gamma_{\tauЛТ}$ и полуприцепа $\gamma_{\tauПП}$ из выражений:

$$\left. \begin{aligned} F_{\tau 1} + F_{\tau 2} &= \gamma_{\tauЛТ} g m_{ЛТ}; \quad F_{\tau 3} = \gamma_{\tauПП} g m_{ПП}; \quad F_c = -a_{\tau} m_{ЛТ} + \gamma_{\tauПП} g m_{ПП}; \\ F_c &= a_{\tau} m_{ЛТ} - \gamma_{\tauЛТ} g m_{ЛТ}; \quad F_c = g \frac{m_{ЛТ} m_{ПП}}{m_{ПП} + m_{ЛТ}} (\gamma_{\tauПП} + \gamma_{\tauЛТ}). \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Из выражений (5) видно, что сила взаимодействия лесовозного тягача и полуприцепа зависит от их удельных тормозных сил, при этом возможны три случая: $\gamma_{\tauПП} = \gamma_{\tauЛТ}$ – торможение лесовозного тягача и полуприцепа осуществляется синхронно, причем усилие в седельно-сцепном устройстве отсутствует; $\gamma_{\tauПП} > \gamma_{\tauЛТ}$ – усилие в седельно-сцепном устройстве отрицательное, полуприцеп тормозит лесовозный тягач; $\gamma_{\tauПП} < \gamma_{\tauЛТ}$ – усилие в седельно-сцепном устройстве положительное, полуприцеп накатывается на лесовозный тягач [21].

У лесовозных тягачей с полуприцепами вследствие того, что часть нагрузки от полуприцепа передается на задние мосты лесовозного тягача, первый случай возможен только

при малых тормозных силах на мостах лесовозного тягача. При этом эффективность торможения будет недостаточной. Поэтому названный случай для лесовозных тягачей с полуприцепами практически не приемлем.

Во втором случае в процессе торможения наблюдается отталкивание лесовозного тягача от полуприцепа, что практически исключает его складывание. Однако этот случай на начальном этапе торможения возможен только при искусственном увеличении времени срабатывания тормозного привода лесовозного тягача. На этапе установившегося торможения в случае $\gamma_{\tau_{III}} > \gamma_{\tau_{LT}}$ возрастает вероятность блокировки колес полуприцепа. При блокировке колеса перестают воспринимать боковые силы, что может привести к боковому сползанию полуприцепа, а затем и всего лесовозного автопоезда. В связи с этим тормозные системы лесовозных тягачей с полуприцепами проектируют обычно таким образом, чтобы в процессе торможения наблюдалось некоторое набегание полуприцепа на лесовозный тягач.

Рассмотрим факторы, от которых зависит момент сил, поворачивающих лесовозный тягач в процессе торможения. Поворачивающий момент определяется по формуле:

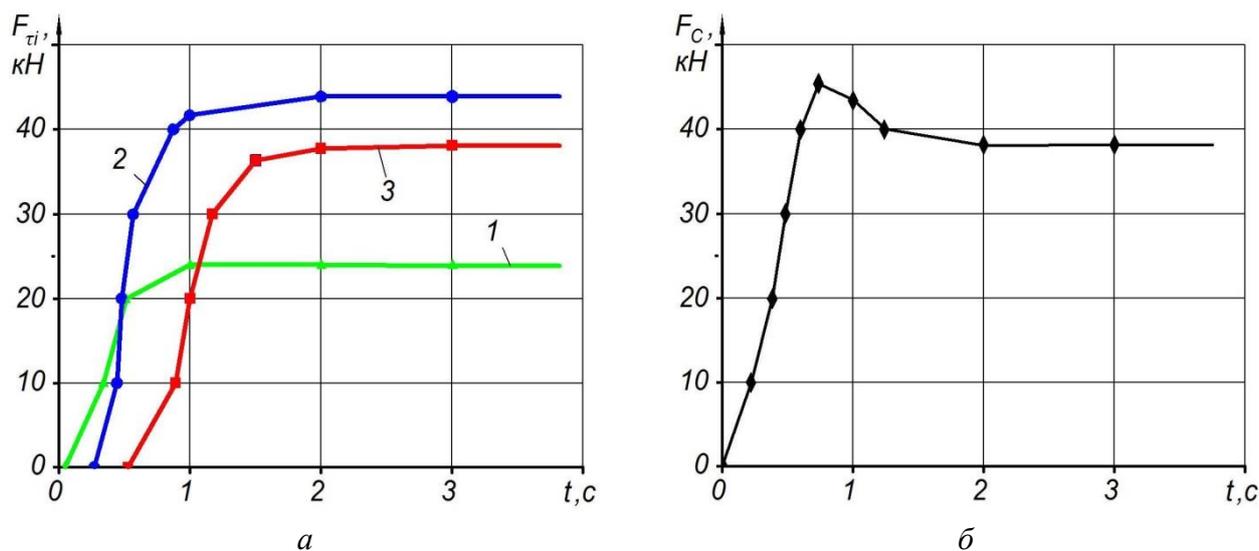
$$M_{n..LT} = g\gamma m_{LT} L_{LT} \left\{ \left[\frac{a_{\tau}}{g} \frac{m_{III}}{m_{LT}} \left(1 + \frac{c}{L_{LT}} \right) + \frac{a_{LT}}{L_{LT}} \right] - \frac{F_{\tau 3}}{gm_{LT}} \left(1 + \frac{c}{L_{LT}} \right) \right\}. \quad (6)$$

Из приведенного выражения видно, что поворачивающий момент возрастает с увеличением отклонения продольной оси лесовозного тягача от направления траектории движения лесовозного автопоезда. Наибольшее влияние на момент сил, разворачивающих лесовозный тягач в процессе торможения, оказывают соотношение масс полуприцепа и лесовозного тягача, положение центра масс лесовозного тягача и точки сцепки седельно-сцепного устройства. В связи с тем, что у лесовозных тягачей с полуприцепами седельно-сцепное устройство обычно располагается внутри базы лесовозного тягача ($c < 0$), то с точки зрения устойчивости лесовозные тягачи с полуприцепами имеют некоторое преимущество перед лесовозными автомобилями с прицепами.

Момент сопротивления развороту лесовозного тягача определяется реакциями со стороны лесовозной дороги в опорной плоскости и инерционным моментом лесовозного тягача. Плечо, на котором действует продольная реакция лесовозной дороги (тормозная сила $F_{\tau 2}$), создавая момент сопротивления повороту лесовозного тягача относительно точки A , мало, поэтому момент, создаваемый этой силой, невелик. Основное сопротивление развороту лесовозного тягача оказывает боковая реакция лесовозной дороги R_{y2} , причем возможное значение боковой реакции, а соответственно и момента сопротивления повороту лесовозного тягача, на определенной лесовозной дороге зависит от тормозной силы. При блокировке колес заднего моста лесовозного тягача этот момент резко уменьшается, приближаясь практически к нулю. Таким образом, основной причиной складывания лесовозного автопоезда при торможении является набегание полуприцепа на лесовозный тягач. Поэтому значение силы в седельно-сцепном устройстве, возникающей при торможении лесовозного тягача с полуприцепом, можно рассматривать как один из оценочных критериев его устойчивости. Наименьшее значение силы в седельно-сцепном устройстве при высокой эффективности торможения получается при синхронном торможении всех мостов полуприцепа.

На рисунке 2 показаны расчетные характеристики торможения лесовозного тягача с полуприцепом, оборудованного пневматическим приводом. Снижение силы в седельно-сцепном устройстве при торможении лесовозного тягача с полуприцепом снижает вероятность складывания лесовозного автопоезда, но не исключает ее, поскольку, как уже отмечалось, при блокировке задних колес лесовозного тягача сопротивление его развороту резко уменьшается [21].

В связи с рассмотренным выше материалом можно констатировать, что существующие дорожные условия вывозки лесоматериалов лесовозными тягачами с полуприцепами



а – изменения тормозных сил мостов лесовозного тягача с полуприцепом;
 б – изменение усилия в седельно-сцепном устройстве; 1, 2 – передний и задний мост лесовозного тягача; 3 – мост полуприцепа

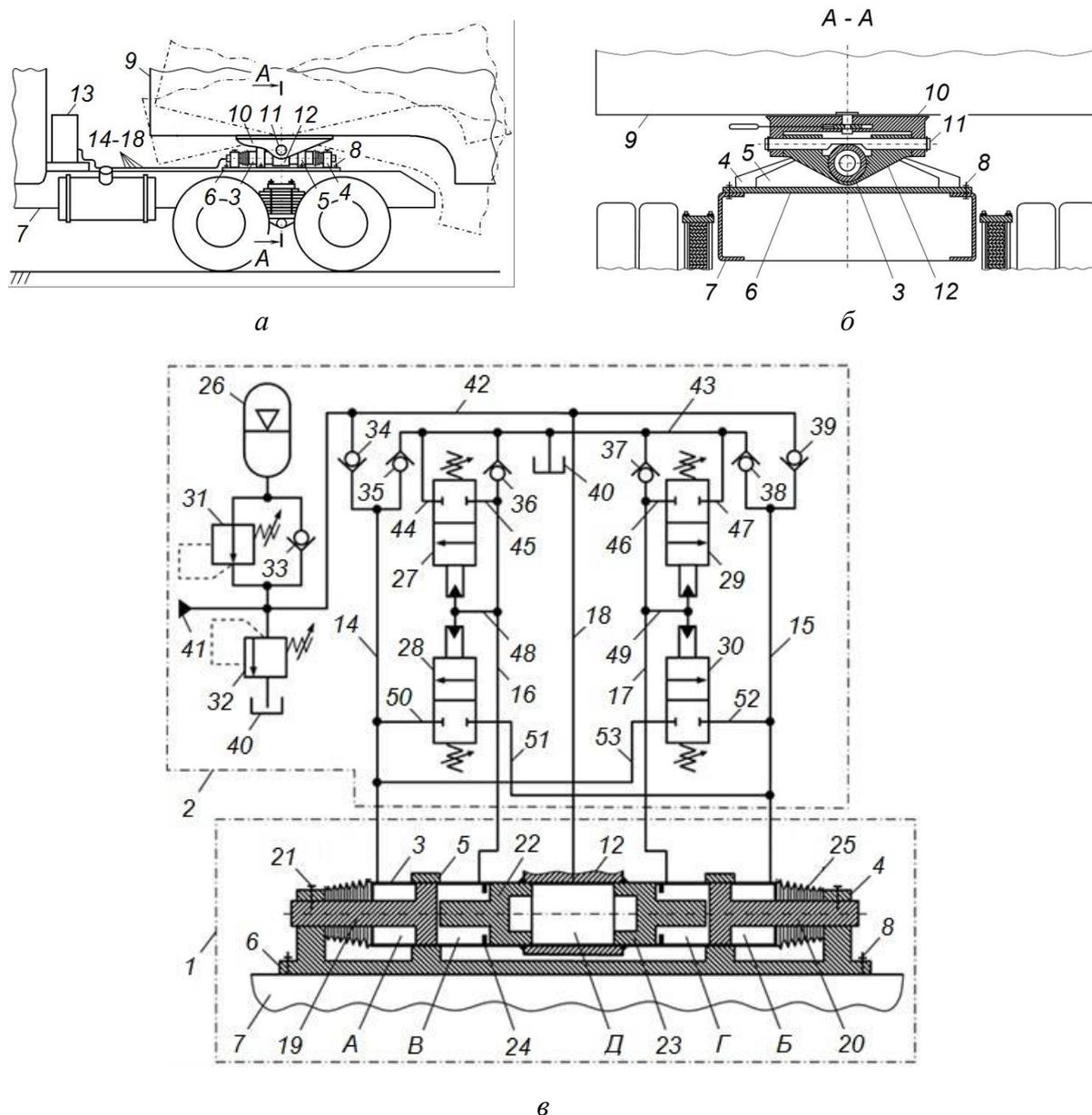
Рисунок 2 – Характеристики торможения лесовозного тягача с полуприцепом, оборудованным пневматическим приводом

оказывают наибольшее негативное влияние на элементы конструкции седельно-сцепного устройства. Это сопровождается значительными ограничениями в достижении максимальной эффективности использования лесовозных тягачей с полуприцепами. Следовательно, с целью достижения максимальной эффективности от использования лесовозных тягачей с полуприцепами необходимо разрабатывать и применять новые перспективные технические решения.

Одним из таких технических решений, оказывающих влияние на снижение энергетических затрат лесовозными автопоездами в процессе вывозки лесоматериалов и, следовательно повышающих их эффективность при движении в сложных дорожных и природно-климатических условиях, является разработка для них и исследование рекуперативных механизмов и устройств, преобразующих, накапливающих и повторно использующих в технологическом процессе различные виды энергии [22-32].

Многочисленные исследования, проведенные авторами в рамках данного направления исследования, позволили с целью повышения эффективности лесовозного тягача с полуприцепом, осуществляющим вывозку лесоматериалов по существующим лесовозным дорогам, предложить перспективную конструкцию пневмогидравлического седельно-сцепного устройства, схема которого приведена на рисунке 3.

Работа этого перспективного седельно-сцепного устройства, установленного на лесовозном тягаче с полуприцепом, основана на использовании кинетической энергии при торможении лесовозного автопоезда от силы инерции массы полуприцепа с лесоматериалами. Использование кинетической энергии заключается в ее преобразовании на первом этапе в потенциальную гидравлическую энергию, накапливаемую в пневмогидравлическом аккумуляторе, и полезного использования на втором этапе в процессе функционирования установленного на лесовозном автопоезде технологического оборудования. Предлагаемое устройство дает возможность полуприцепу с лесоматериалами осуществлять помимо линейных перемещений в линейной плоскости, повороты относительно лесовозного тягача в горизонтальной плоскости, а также в поперечно-вертикальной и продольно-вертикальной плоскостях. Это позволяет существенно повысить надежность лесовозного тягача с полуприцепом. Такое устройство за счет демпфирующих свойств обеспечивает значительное снижение максимальных значений знакопеременных нагрузок на конструкцию лесовозного автопоезда,



a – размещение предлагаемого устройства на лесовозном тягаче с полуприцепом; *б* – сечение устройства по *A-A*; *в* – общий вид пневмогидравлического и гидравлического механизмов; *A, Б* – напорные полости; *В, Г* – промежуточные всасывающие полости; *Д* – центральная полость под давлением рабочей жидкости; *1, 2* – гидравлический и пневмогидравлический механизмы; *3* – гидравлический цилиндр; *4, 5* – крайние и промежуточные опоры; *6* – монтажная плита; *7* – рама лесовозного тягача; *8* – болты; *9* – полуприцеп; *10* – опорная плита седла; *11* – поперечная ось седла; *12* – кронштейн; *13* – гидроагрегат; *14-18* – гидравлические трубопроводы; *19, 20, 22, 23* – неподвижные и промежуточные поршни; *21* – стопорные винты; *24* – упорные кольца; *25* – гофрированные кожухи; *26* – пневмогидравлический аккумулятор; *27-30* – двухлинейные гидрораспределители; *31, 32* – регулируемые редукционный и предохранительный клапаны; *33-39* – обратные клапаны; *40* – гидравлический бак; *41* – потребитель рекуперированной рабочей жидкости; *42, 43* – главная напорная и всасывающая гидромагистрали; *44-53* – трубопроводы

Рисунок 3 – Схема предлагаемого пневмогидравлического седельно-сцепного устройства

повышает его плавность хода и обеспечивает более комфортные условия труда водителю. Кроме этого, пневмогидравлическое седельно-сцепное устройство обладает высокой приспособленностью к движению лесовозного тягача с полуприцепом по лесовозным дорогам в процессе вывозки лесоматериалов, к техническому состоянию лесовозного автопоезда, а также к квалификации водителя. Установка такого устройства на современные лесовозные автопоезда позволит сократить расход топлива за счет способности этого устройства преобразовывать, накапливать и полезно использовать гидравлическую энергию рабочей жидкости.

4 Обсуждение и заключение

Проведенное исследование позволило установить, что одним из рациональных способов повышения эффективности вывозки лесоматериалов в сложных дорожных и природно-климатических условиях, является использование лесовозных автопоездов, состоящих из лесовозных тягачей с полуприцепами. Применение лесовозных тягачей с полуприцепами в сравнении с одиночными лесовозными автомобилями и лесовозными автомобилями с прицепами имеет ряд преимуществ, наиболее важными из которых являются: большая грузоподъемность, грузоместимость, производительность, меньшая конечная стоимость вывозимых лесоматериалов, обеспечиваемая снижением стоимости расходуемого топлива на 1 т-км транспортной работы; меньшая габаритная длина при одинаковой грузоподъемности в сравнении с лесовозным автомобилем с прицепом; лучшая устойчивость и приспособленность к движению по лесовозным дорогам. Результаты исследования научных работ зарубежных авторов, направленные на повышение эффективности лесовозных тягачей с полуприцепами в различных природно-климатических и дорожных условиях подтвердили актуальность выполняемого в данной работе исследования. Выявлена главная причина, ограничивающая максимальное достижение эффективности лесовозных тягачей с полуприцепами, которая заключается в недостаточной обустроенности имеющихся в настоящее время в РФ лесовозных дорог. Описаны возможные негативные последствия, возникающие в лесовозном тягаче с полуприцепом при движении по лесовозным дорогам. Рассмотрено негативное влияние, образующихся из-за частых торможений лесовозного автопоезда значительных нагрузок в седельно-сцепном устройстве, сопровождающихся ударными нагружениями шарнирной связи, ухудшающими устойчивость лесовозного тягача с полуприцепом. На основании расчетной схемы, выявлено, что от величины силы, возникающей в седельно-сцепном устройстве, зависит устойчивость лесовозного автопоезда. Минимальное значение силы при торможении в седельно-сцепном устройстве можно достичь при обеспечении синхронного срабатывания механизмов торможения всех мостов лесовозного автопоезда. Приведенные характеристики торможения лесовозного тягача с полуприцепом, оборудованным пневматическим тормозным приводом показывают запаздывание срабатывания тормозных механизмов полуприцепа по отношению к лесовозному тягачу. Максимальное значение усилий, возникающих в седельно-сцепном устройстве, составило 45 кН. С целью снижения максимальных значений усилий, возникающих при торможении лесовозного автопоезда в седельно-сцепном устройстве, повышения надежности, снижения расхода топлива, обеспечения повышения плавности хода лесовозного тягача с полуприцепом, а также более комфортных условия труда водителям, предложена разработанная авторами перспективная конструкция пневмогидравлического седельно-сцепного устройства.

Для полноценного исследования предлагаемой конструкции пневмогидравлического седельно-сцепного устройства требуется решить следующие задачи:

- разработать математическую модель процесса движения лесовозного тягача с полуприцепом, оснащенный пневмогидравлическим седельно-сцепным устройством по лесовозным дорогам, позволяющую определять и оптимизировать конструктивные параметры предлагаемого устройства;
- разработать программу для ЭВМ, обеспечивающую возможность моделирования работы пневмогидравлического седельно-сцепного устройства, установленного на лесовозном тягаче с полуприцепом, учитывающую параметры лесовозной дороги и технико-

эксплуатационные характеристики лесовозного автопоезда;

– исследовать влияние предлагаемого устройства и условий работы на надежность и расход топлива лесовозного автопоезда;

– получить адекватные теоретические результаты экспериментов на стенде и при сравнительной производственной проверке опытного образца на лесовозных дорогах с возможностью определения зависимостей изменения расхода топлива и надежности лесовозного автопоезда от интенсивности процесса торможения, а также параметров неровностей и периодичности появления их на лесовозных дорогах.

Список литературы

1 Насковец, М. Т. Направления совершенствования лесовозных автопоездов-сортиментовозов для перевозки круглых лесоматериалов / М. Т. Насковец, М. М. Цмак, Н. И. Занько // Сборник материалов III Национальной научно-практической конференции. – С. 253-257. – *Библиогр.* : с. 257 (5 назв.).

2 Туревский, И. С. Теория автомобиля : учебное пособие / И. С. Туревский. – Москва : Высшая школа, 2005. – 240 с. – *Библиогр.* : с. 237 (18 назв.).

3 Павлов В. А., Муханов С. А. Транспортные прицепы и полуприцепы. – М. : Воениздат, 1981. – 191 с. – *Библиогр.* : с. 190 (11 назв.).

4 Трофимов, В. И. Автомобильные прицепы / В. И. Трофимов // Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, Москва, 1953. – 180 с. – *Библиогр.* : с. 166 (10 назв.).

5 Eric Johannes Sustainable Timber Transport – Economic Aspects of Aerodynamic Reconfiguration / Eric Johannes, Petter Ekman, Maria Hüge-Brodin, Matts Karlsson // *Sustainability*, 2018, – 10. – 18 p. – *Bibliogr.*: pp. 17-18 (27 titles). – DOI 10.3390/su10061965.

6 Christoph Kogler Simulation Combined Self-Loading Truck and Semitrailer Truck Transport in the Wood Supply Chain / Christoph Kogler, Alexander Stenitzer, Peter Rouch // *Forests* 2020, – 11, – 1244. – 15 p. – *Bibliogr.*: pp. 14-15 (27 titles). – DOI 10.3390/f11121245.

7 Gunnar Svenson Optimized Route Selection for Logging Trucks. Improvements to Calibrated Route Finder / Faculty of Forestry Department of Forest Resource Management Umea // Doctoral Thesis Swedish University of Agricultural Sciences, Umea 2017. – 104 p. – *Bibliogr.*: pp. 95-102 (119 titles).

8 Sunday Bako Stability Analysis of a Semi-Trailer Articulated vehicle: A Review / Sunday Bako, Bori Ige, Abdulkarim Nasir, Nicholas A. Musa // *International journal of automotive science and technology*, 2021, – Vol. 5, – № 2, pp. 131-140. – *Bibliogr.*: pp. 138-140 (74 titles). – DOI 10.30939/ijastech..855733.

9 Mark Brown Timber Truck Payload Management with Different In – Forest Weighing Strategies in Australia / Mark Brown, Mohammad Reza Ghaffariyan // *Croat. j. for. eng.* 37 (2016). – pp. 131-138. – *Bibliogr.*: pp. 8-9 (17 titles).

10 Zhen-Wei Feng Logging Truck Vehicle Performance Prediction for Efficient Resource Transportation System Planning : Computer Modelling Approach / Zhen-Wei Feng, Robert A. Douglas // *Journal of Forest Engineering*, Volume 4, 1993, pp. 7-18. – *Bibliogr.*: pp. 12-13 (19 titles). – DOI 10.1080/08435243.1993.10702644.

11 Mohammad Reza Ghaffariyan A short review of timber truck fuel consumption studies / Australian Forests Operation Research Alliance Afora Industry – Research – Innovation / Mohammad Reza Ghaffariyan, Camille Barrier, Mark Brown, Martin Kuehmaier, Mauricio Acuna // *Industry Bulletin* 21, 2018. – 6 p. – *Bibliogr.*: pp. 5-6 (14 titles).

12 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. 166-167 (23 titles). – DOI 10.2478/ffp-2013-0017.

13 Brown, M. W. Evaluation of the Impact of Timber Truck Configuration and Tare Weight

on Payload Efficiency: An Australian Case Study / M. W. Brown // *Forests* 2021, 12, 855. – 11 p. – *Bibliogr.*: pp. 11 (24 titles). – DOI 10.3390/f12070855.

14 Y. Reboh Failure analysis of fifth wheel coupling system / Y. Reboh, S. Griza, A. Reguly, T. R. Strohaecker // *Engineering Failure Analysis* 15 (2008) – pp. 332-338. – *Bibliogr.*: pp. 338 (10 titles). – DOI 10.1016/j.engfailanal.2007.02.007.

15 СП 318.1325800.2017. Дороги лесные, правила эксплуатации, Москва Стандартинформ, 2018. – 42 с.

16 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.).

17 Сурхаев, Г. М. Совершенствование организации перевозок грузов автопоездами в горных условиях : диссертация ... кандидата технических наук : 05.22.10 / Сурхаев Гамзат Магомедович; [Место защиты : Волгогр. гос. техн. ун-т]. – Махачкала, 2015. – 144 с. – *Библиогр.* : с. 107-122 (150 назв.).

18 Щербакова, О. В. Совершенствование расчета установившегося замедления движения автопоезда по тормозному следу / О. В. Щербакова // *Вестник гражданских инженеров*, 2017. № 3 (62). – С. 265-272. – *Библиогр.* : С. 271-272. (17 назв.). – DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-3-265-272.

19 Дыренков Е. В. Исследование отказов седельных тягачей Iveco Trakker в условиях эксплуатации ДФО / Е. В. Даренков, С. В. Сафонов, С. Г. Павлишин // *Материалы секционных заседаний 59-й студенческой научно-практической конференции ТОГУ* : в 2 т. / [отв. ред. И. Н. Пугачев]. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2019. – 2 т. – С. 95-99. *Библиогр.* : С. 9. (5 назв.).

20 Ким, В. А. Математическая модель ударного нагружения шарнирного пальца сцепного устройства седельного автопоезда / В. А. Ким, А. А. Полунгян // *Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Машиностроение*. 2004. № 2. – С. 51-61. *Библиогр.*: С. 61 (5 назв.).

21 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.).

22 Патент на изобретение № 2753024 РФ, МПК B62D 53/08. Рекуперативное пневмогидравлическое седельно-сцепное устройство автопоезда / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, А. В. Авдюхин, В. В. Посметьев ; заявитель ФГБОУ ВО ВГЛТУ имени Г. Ф. Морозова. – № 2020144373 ; заявл. 30.12.2020 ; опубл. 11.08.2021.

23 Nikonov, V O The results of simulation modeling of the operation of the regenerative fifth wheel hitch of a timber trailer / V O Nikonov, V I Posmetev, V V Posmetev // *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering* 656 (2019) 012039, – Pp. 1-8. – *Bibliogr.*: pp. 8 (6 titles). – DOI 10.1088/1757-899X/656/1/012039.

24 Посметьев, В. И. Перспективная конструкция рекуперативного седельно-сцепного устройства лесовозного тягача с полуприцепом / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев // *Лесотехнический журнал*. – 2019. – № 3 – С. 180-192. – *Библиогр.* : с. 189-192 (25 назв.). – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2019.3/17.

25 Посметьев, В. И. 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. 239-241 (20 назв.). – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2020.4/19.

26 Посметьев, В. И. Моделирование работы рекуперативного пружинно-гидравлического седельно-сцепного устройства, размещенного в полуприцепа лесовозного автопоезда / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев, В. А. Зеликов // *Лесотехнический журнал*. – 2021. – Т. 11. – № 2 (42). – С. 133-148. – *Библиогр.* : с. 145-147 (17 назв.). – DOI : 10.34220/issn.2222-7962/2021.2/13.

27 Патент на изобретение № 2729006 РФ, МПК В62D 53/08. Рекуперативное пружинно-гидравлическое седельно-цепное устройство автопоезда / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев ; заявитель ФГБОУ ВО ВГЛТУ имени Г. Ф. Морозова. – № 2019144220 ; за-явл. 24.12.2019 ; опубл. 03.08.2020.

28 Патент на изобретение № 2725355 РФ, МПК В62D 53/08. Рекуперативное пневмо-гидравлическое седельно-цепное устройство автопоезда / В. О. Никонов ; заявитель ФГБОУ ВО ВГЛТУ имени Г. Ф. Морозова. – № 2019141162 ; заявл. 10.12.2019 ; опубл. 02.07.2020.

29 Патент на изобретение № 2763220 РФ, МПК В62D 53/08. Рекуперативное пружинно-гидравлическое седельно-цепное устройство автопоезда / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, А. В. Авдюхин, В. В. Посметьев ; заявитель ФГБОУ ВО ВГЛТУ имени Г. Ф. Морозова. – № 2020144071 ; заявл. 29.12.2020 ; опубл. 28.12.2021.

30 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа для моделирования работы рекуперативного седельно-цепного устройства лесовозного тягача / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев,; правообладатель Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова. – № 2020612508 ; заявл. 17.02.2020 ; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ .25.02.2020.

31 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программы для моделирования движения лесовозного тягача с полуприцепом с рекуперативным пружинно-гидравлическим седельно-цепным устройством / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев ; правообладатель Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова. – № 2020661640 ; заявл. 15.09.2020 ; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 28.09.2020.

32 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программы для моделирования работы пружинно-гидравлического седельно-цепного устройства, размещенного в передней части рамы полуприцепа лесовозного тягача / М. В. Драпалюк, В. В. Посметьев, В. И. Посметьев, В. О. Никонов ; правообладатель Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова. – № 2021666218; заявл. 11.10.2021 ; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 11.10.2021.

References

1 Naskovec M. T., Смак М. М., Zanko N. I. *Napравleniya sovershenstvovaniya lesovoznih avtopoezdov-sortimentovozov dlya perevozki krugliih lesomaterialov* [Directions for improving timber road trains-shortcut trucks for the transportation of round timber]. Collection of materials of the III National scientific-practical conference. – S. 253-257. (In Russ.).

2 Turevskii I. S. *Teoriya avtomobilya* [Car theory]. Moscow : Higher school, 2005. – 240 p. (In Russ.).

3 Pavlov V. A., Muhanov S. A. *Transportnie pricepa i polupricepi* [Transport trailers and semi-trailers]. – М. : Military Publishing House, 1981. – 191 p. (In Russ.).

4 Trofimov V. I. *Avtomobilnie pricepi* [Car trailers]. State Scientific and Technical Publishing House of Engineering Literature, Moscow, 1953. – 180 p. (In Russ.).

5 Eric Johannes, Petter Ekman, Maria Huge-Brodin, Matts Karlsson Sustainable Timber Transport – Economic Aspects of Aerodynamic Reconfiguration. Sustainability, 2018, 10. – 18 p. : doi : 10.3390/su10061965.

6 Christoph Kogler, Alexander Stenitzer, Peter Rouch Simulation Combined Self-Loading Truck and Semitrailer Truck Transport in the Wood Supply Chain. Forests 2020, 11, 1244. – 15 p. : doi : 10.3390/f11121245.

7 Gunnar Svenson Optimized Route Selection for Logging Trucks. Improvements to Calibrated Route Finder. Faculty of Forestry Department of Forest Resource Management Umea. Doctoral Thesis Swedish University of Agricultural Sciences, Umea 2017. – 104 p.

8 Sunday Bako, Bori Ige, Abdulkarim Nasir, Nicholas A. Musa Stability Analysis of a

Semi-Trailer Articulated vehicle: A Review. International journal of automotive science and technology, 2021, Vol. 5, № 2, pp. 131-140 : doi : 10.30939/ijastech..855733.

9 Mark Brown, Mohammad Reza Ghaffariyan Timber Truck Payload Management with Different In – Forest Weighing Strategies in Australia. Croat. j. for. eng. 37 (2016). – pp. 131-138.

10 Zhen-Wei Feng, Robert A. Douglas Logging Truck Vehicle Performance Prediction for Efficient Resource Transportation System Planning : Computer Modelling Approach. Journal of Forest Engineering, Volume 4, 1993, pp. 7-18: doi : 10.1080/08435243.1933.10702644.

11 Mohammad Reza Ghaffariyan, Camille Barrier, Mark Brown, Martin Kuehmaier, Mauricio Acuna A short review of timber truck fuel consumption studies. Australian Forests Operation Research Alliance Afora Industry – Research – Innovation. Industry Bulletin 21, 2018. – 6 p.

12 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.

13 Brown, M. W. 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.

14 Y. Reboh, S. Griza, A. Reguly, T. R. Strohaecker Failure analysis of fifth wheel coupling system. Engineering Failure Analysis 15 (2008) – pp. 332-338: doi : 10.1016/j.engfailanal.2007.02.007.

15 SP 318.1325800.2017. Dorogi lesnie, pravila eksploatacii [SP 318.1325800.2017. Forest roads, operating rules]. Moscow Standartinform, 2018. – 42 p. (In Russ.).

16 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.).

17 Surhaev G. M. *Sovershenstvovanie organizatsii perevozok грузов avtopoezdami v gornih usloviyah* [Improving the organization of cargo transportation by road trains in mountainous conditions]. Dissertation ... candidate of technical sciences : 05.22.10 / Surkhaev Gamzat Magomedovich ; [Place of protection : Volgograd. state tech. university]. – Makhachkala, 2015. – 144 p. (In Russ.).

18 Scherbakova O. V. *Sovershenstvovanie rascheta ustanovivshegosya zamedleniya dvizheniya avtopoezda po tormoznomu sledu* [Improving the calculation of the steady deceleration of the road train along the brake wake]. Bulletin of civil engineers, 2017. №. 3 (62). – S. 265-272 : doi : 10.23968/1999-5571-2017-14-3-265-272. (In Russ.).

19 Darenkov E. V., Safonov S. V., Pavlishin S. G. *Issledovanie otkazov sedelnih tyagachei Iveco Trakker v usloviyah eksploatacii DFO* [Study of failures of Iveco Trakker truck tractors in the operating conditions of the Far Eastern Federal District]. Materials of section meetings of the 59th student scientific and practical conference of the PNU: in 2 volumes / [responsible. ed. I. N. Pugachev]. – Khabarovsk: Pacific Publishing House. state un-ta, 2019. – 2 vol. – pp. 95-99. (In Russ.).

20 Kim V. A., Polungyan A. A. *Matematicheskaya model udarnogo nagrujeniya sharnirnogo palca scepного ustroystva sedelnogo avtopoezda* [Mathematical model of shock loading of the hinged pin of the coupling device of the road train]. Vestnik MGTU im. N. E. Bauman. Ser. Mechanical engineering. 2004. №. 2. – S. 51-61. (In Russ.).

21 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.).

22 Patent for invention № 2753024 RF, IPC B62D 53/08. Posmetiev V. I., Nikonov V. O., Avdyukhin A. V., Posmetyev V. V. Recuperative pneumo-hydraulic fifth wheel coupling of a road train; applicant FGBOU VO VGLTU named after G. F. Morozov. – № 2020144373 ; dec. 12.30.2020 ; publ. 08.11.2021. (In Russ.).

23 V O Nikonov, V I Posmetev, V V Posmetev The results of simulation modeling of the operation of the regenerative fifth wheel hitch of a timber. IOP Conference Series : Materials Science and Engineering 656 (2019) 012039, – Pp. 1-8 : doi : 10.1088/1757-899X/656/1/012039.

24 Posmetev V. I., Nikonov V. O., Posmetev V. V. *Perspektivnaya konstrukciya regenerativnogo sedelno-scepnogo ustroystva lesovoznogo tyagacha s polupricepom* [Perspective design of a regenerative fifth wheel coupling of a timber tractor with a semi-trailer]. Forestry journal. 2019 – № 3 – pp. 180-192 : doi : 10.34220/issn.2222-7962/2019.3/17. (In Russ.).

25 Posmetev V. I., Nikonov V. O., Posmetev V. V., Avdyuhin A. V. *Imitacionnoe modelirovanie regenerativnogo prujinno-gidravlicheskogo sedelno-scepnogo ustroystva lesovoznogo tyagacha s polupricepom* [Simulation modeling of a regenerative spring-hydraulic fifth wheel coupling of a timber tractor with a semi-trailer]. Forestry journal. 2020 – № 4 – pp. 227-242 : doi : 10.34220/issn.2222-7962/2020.4/19. (In Russ.).

26 Posmetev V. I., Nikonov V. O., Posmetev V. V., Zelikov V. A. *Modelirovanie raboti regenerativnogo prujinno-gidravlicheskogo sedelno-scepnogo ustroystva, razmeshchennogo v polupricepa lesovoznogo avtopoezda* [Simulation of the operation of a recuperative spring-hydraulic fifth wheel coupling placed in a semi-trailer of a logging road train]. Forestry journal. 2021 – № 2 – pp. 133-148 : doi : 10.34220/issn.2222-7962/2021.2/13. (In Russ.).

27 Patent for invention № 2729006 RF, IPC B62D 53/08. Recuperative spring-hydraulic fifth wheel coupling of a road train / V. I. Posmetiev, V. O. Nikonov, V. V. Posmetiev ; applicant FGBOU VO VGLTU named after G. F. Morozov. – № 2019144220 ; for-yavl. 12.24.2019 ; publ. 08.03.2020. (In Russ.).

28 Patent for invention № 2725355 RF, IPC B62D 53/08. Recuperative pneumo-hydraulic fifth wheel coupling of a road train / V. O. Nikonov ; applicant FGBOU VO VGLTU named after G. F. Morozov. – № 2019141162 ; dec. 12.10.2019 ; publ. 07.02.2020. (In Russ.).

29 Patent for invention № 2763220 RF, IPC B62D 53/08. Recuperative spring-hydraulic fifth wheel coupling of a road train / V. I. Posmetiev, V. O. Nikonov, A. V. Avdyukhin, V. V. Posmetiev ; applicant FGBOU VO VGLTU named after G. F. Morozov. – № 2020144071 ; dec. 12.29.2020 ; publ. 12.28.2021. (In Russ.).

30 Certificate of state registration of the computer program. Posmetiev V. I., Nikonov V. O., Posmetyev V. V., a program for modeling the operation of a recuperative fifth wheel coupling device of a timber tractor; copyright holder Voronezh State Forestry Engineering University named after G. F. Morozova. – № 2020612508 ; dec. 02.17.2020 ; registered in the Register of Computer Programs 02.25.2020. (In Russ.).

31 Certificate of state registration of the computer program. Programs for modeling the movement of a timber tractor with a semi-trailer with a regenerative spring-hydraulic fifth wheel coupling device / V. I. Posmetiev, V. O. Nikonov, V. V. Posmetiev; copyright holder Voronezh State Forestry Engineering University named after G. F. Morozova. – № 2020661640 ; dec. 09.15.2020 ; registered in the Register of computer programs on September 28.09.2020. (In Russ.).

32 Certificate of state registration of the computer program. Programs for modeling the operation of a spring-hydraulic fifth wheel coupling located in the front part of the frame of a timber tractor semi-trailer / M. V. Drapalyuk, V. V. Posmetiev, V. I. Posmetiev, V. O. Nikonov ; copyright owner Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozova. – № 2021666218 ; dec. 10.11.2021 ; registered in the Register of Computer Programs on 10.11.2021. (In Russ.).

© Посметьев В.И., Никонов В.О., Авдюхин А.В., 2021