



ОЦЕНКА АКТУАЛЬНОСТИ ПЕРСПЕКТИВНОЙ КОНСТРУКЦИИ ДИСТАНЦИОННО УПРАВЛЯЕМОГО ЛЕСОВОЗНОГО АВТОМОБИЛЯ С РАЗДВИЖНОЙ РАМОЙ И УПРАВЛЯЕМЫМИ КОЛЕСНЫМИ МОДУЛЯМИ

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

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

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

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

Рассмотрена тенденция развития лесовозных автомобилей в мире. Описаны возможные пути повышения их эффективности в настоящее время. Представлены результаты анализа научных работ зарубежных ученых в области повышения производительности лесовозных автомобилей. Выявлено, что на производительность лесовозных автомобилей и на конечную стоимость вывозимых ими лесоматериалов значительное влияние оказывает продолжительность процесс погрузки и разгрузки лесоматериалов. Обоснована важность снижения трудоемкости разгрузки лесоматериалов за счет совершенствования средств для саморазгрузки лесовозных автомобилей. Сформулирована цель исследования, заключающаяся в разработке перспективной конструкции дистанционно управляемого лесовозного автомобиля с раздвижной рамой и управляемыми колесными модулями. Рассмотрены две группы погрузочно-разгрузочных механизмов, используемых для погрузки и разгрузки лесоматериалов на лесовозные автомобили. Представлена классификация устройств для загрузки и разгрузки лесовозных автомобилей отдельными кранами, канатными установками и самоходными разгрузчиками. Описаны зависимости изменения времени пребывания лесовозных автомобилей в пунктах погрузки и разгрузки и их движения в порожнем состоянии от количества используемых в звене лесовозных автомобилей без средств самопогрузки и саморазгрузки. Приведен анализ существующих устройств, используемых для самопогрузки и саморазгрузки лесовозных автомобилей. На основании выявленных недостатков, с целью их устранения предложена принципиальная схема дистанционно управляемого лесовозного автомобиля с раздвижной рамой и управляемыми колесными модулями. Приведены технологическая карта разгрузки дистанционно управляемого лесовозного автомобиля с раздвижной рамой и управляемыми колесными модулями и уточненная классификация средств для саморазгрузки лесовозных автомобилей.

Ключевые слова: лесовозный автомобиль, процесс погрузки и разгрузки лесоматериалов, перспективная конструкция, раздвижная рама, дистанционное управление, устройства для погрузочно-разгрузочных работ, колесные модули.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Посметьев В. И. Оценка актуальности перспективной конструкции дистанционно управляемого лесовозного автомобиля с раздвижной рамой и управляемыми колесными модулями / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев // Лесотехнический журнал. – 2021. – Т. 11. – № 3 (43). – С. 152–171. – Библиогр.: с. 167–171 (20 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.3/13>.

Поступила: 02.07.2021 **Принята к публикации:** 24.09.2021 **Опубликована онлайн:** 01.07.2021

ASSESSMENT OF THE RELEVANCE OF A PROMISING DESIGN OF A REMOTELY CONTROLLED LOGGING VEHICLE WITH A SLIDING FRAME AND CONTROLLED WHEEL MODULES

Valerii I. Posmetev¹, posmetyev@mail.ru,  0000-0001-9878-7451

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

Viktor V. Posmetev¹, victorvp@mail.ru,  0000-0001-6622-5358

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

Abstract

The tendency of development of timber trucks in the world is considered. Possible ways of increasing their efficiency at the present time are described. The results of the analysis of scientific works of foreign scientists in the field of increasing the productivity of timber trucks are presented. It was revealed that the duration of the process of loading and unloading timber has a significant effect on the productivity of timber trucks and on the final cost of the timber they export. The importance of reducing the labor intensity of unloading timber by improving the means for self-unloading of timber trucks has been substantiated. The goal of the research is formulated, which consists in the development of a promising design of a remotely controlled logging vehicle with a sliding frame and controlled wheel modules. Two groups of loading and unloading mechanisms used for loading and unloading timber on timber trucks are considered. The classification of devices for loading and unloading timber trucks by individual cranes, rope installations and self-propelled unloaders is presented. The dependences of the change in the residence time of timber trucks at the points of loading and unloading and their movement in an empty state on the number of timber trucks used in the link without self-loading and self-unloading means are described. The analysis of existing devices used for self-loading and self-unloading of timber trucks is presented. On the basis of the identified shortcomings, in order to eliminate them, a schematic diagram of a remotely controlled logging vehicle with a sliding frame and controlled wheel modules is proposed. A technological map of unloading a remotely controlled timber truck with a sliding frame and controlled wheel modules and an updated classification of means for self-unloading timber trucks are presented.

Keywords: timber truck, timber loading and unloading process, advanced design, sliding frame, remote control, handling devices, wheel modules.

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

For citation: Posmetev V. I., Nikonov V. O., Posmetev V. V. (2021) Assessment of the relevance of a promising design of a remotely controlled logging vehicle with a sliding frame and controlled wheel modules. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering journal], Vol. 11, No. 3 (43), pp. 152-171 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.3/13>.

Received: 02.07.2021 **Accepted for publication:** 24.09.2021 **Published online:** 01.10.2021

Введение

Анализируя современное состояние развития транспорта леса в нашей стране и во всем мире можно заметить, что прослеживается определенная тенденция, заключающаяся в увеличении доли использования лесовозных автомобилей среди других видов транспорта леса, а также в непрерывно воз-

растающем расстоянии транспортирования лесоматериалов и увеличивающемся объеме вывозимых лесоматериалов лесовозными автомобилями с мест погрузки в места разгрузки их у потребителей.

Лесовозные автомобили, также как и другие виды автомобильного транспорта характеризуются высокими темпами развития. Систематическое по-

вышение объема вывозимых лесоматериалов лесовозными автомобилями достигается как ростом количества подвижного состава, увеличением его грузоподъемности, так и повышением производительности, постоянной модификацией и унификацией [1].

Для повышения эффективности лесовозных автомобилей необходимо ускорять внедрение при их использовании существующих передовых технологий, улучшать условия труда водителей, повышать их квалификацию и заинтересованность в результатах труда, разрабатывать перспективные конструкции лесовозных автомобилей, повышать темпы их обновления в лесозаготовительных предприятиях, укреплять материально-техническую и ремонтную базы, повышать уровень комплексной механизации работ и т.п. Одновременно с этим требуется повышать безопасность их движения по недостаточно обустроенным лесовозным дорогам, снижать отрицательное воздействие лесовозных автомобилей на окружающую среду [2].

Данные направления повышения эффективности лесовозного автомобильного транспорта подтверждаются многочисленными исследованиями зарубежных ученых [3-15].

В работе Martin Jankovsky и др. (2019) выполнен анализ основных производственных факторов процесса погрузки, разгрузки и вывозки лесоматериалов, оказывающих отрицательное влияние на здоровье и комфорт водителей лесовозных автомобилей, оснащенных гидроманипуляторами. Также приведены результаты исследования причин возникновения за 10 летний период несчастных случаев при выполнении погрузочно-разгрузочных процессов и вывозки лесоматериалов лесовозными автомобилями. На основе регрессионного и корреляционного анализа установлено, что срок службы лесовозных автомобилей, качество технического обслуживания и текущего ремонта оказывают существенное влияние на количество возникающих несчастных случаев и аварий. Кроме этого, определено, что существует общая зависимость между объемом вывозимых лесоматериалов лесовозными автомобилями, количеством водителей, их стажем и числом произошедших несчастных случаев в процессе погрузки, разгрузки и вывозки лесоматериалов [3].

В статье Teijo Palander (2017), вследствие того, что процесс вывозки лесоматериалов лесовозными

автомобилями является одним из основных факторов антропогенного воздействия на окружающую среду, выполнено исследование изменения расхода топлива и вредных выбросов в окружающую среду при эксплуатации большегрузных девятиосных лесовозных автомобилей грузоподъемностью 76 и 60 тонн. Выявлено что увеличение максимальной массы лесовозного автомобиля способствует снижению затрат на вывозку лесоматериалов, а также сокращению вредных выбросов за счет оптимизации нагрузки, уменьшения количества перемещений лесовозным автомобилем, необходимых для доставки заданного объема лесоматериалов потребителям. Кроме этого, установлено, что использование таких большегрузных лесовозных автомобилей способствует снижению нагрузок на лесовозную дорогу за счет увеличения количества осей и повышению безопасности дорожного движения за счет более равномерного соотношения веса лесовозного автомобиля и прицепа [4].

В исследовании Ajinkya Mane и др. (2021) рассмотрен вопрос достижения экономической и экологической эффективности путем экономии топлива лесовозным автомобилем в процессе вывозки лесоматериалов в изменяющихся условиях. Предложена методика определения топливосберегающих и негативных факторов с использованием анализа охвата данных и границ эффективности. Выявлено, что средняя скорость, торможение и холостой ход лесовозного автомобиля являются ключевыми критическими факторами, влияющими на его расход топлива. Установлено, что эффективность работы водителя лесовозного автомобиля зависит от определенного набора критических параметров поведения при движении в процессе вывозки лесоматериалов. Кроме этого, эффективность работы может быть улучшена за счет предлагаемой индивидуальной схемы стимулирования уровня вождения водителей лесозаготовительного предприятия, которая подбирается для каждого отдельного водителя с учетом его особенностей поведения [5].

Исследование Filip Lisowski и Edward Lisowski (2020) посвящено оценке действия динамических циклических нагрузок на элементы перегруженных лесовозных автомобилей, возникающих в процессе вывозки лесоматериалов по недостаточно обустроенным

лесовозным дорогам, а также прогнозированию усталостной долговечности элементов стоек лесовозных автомобилей. Исследовано на основе конечно-элементной модели стойки влияние циклических нагрузок при различных уровнях напряжения на усталостные разрушения в элементах конструкции стоек лесовозного автомобиля в рабочих условиях. Определены точки концентрации напряжений в основном материале стойки и ее сварных соединениях. В результате натурного эксперимента по нагружению стойки лесовозного автомобиля определено ее самое слабое место в конструкции, а также прогнозируемый пробег лесовозного автомобиля до возможного отказа [6].

Marijan Susnjag и др. (2011) в своем исследовании рассмотрели с помощью разработанной измерительной системы влияние габаритных размеров и массы вывозимых лесоматериалов на осевые нагрузки различающихся по компонованию лесовозных транспортных средств с гидроманипуляторами. Полученные данные указывают на необходимость дальнейшего совершенствования конструкций лесовозных тягачей с полуприцепами с целью повышения полезной нагрузки и увеличения объема вывозимых лесоматериалов без нарушения существующих правовых норм, путем применения современных материалов для изготовления полуприцепов и использование более легких и компактных гидроманипуляторов для погрузки и разгрузки лесоматериалов [7].

В своем исследовании Mark Brown и др. (2016) с целью снижения себестоимости вывозки лесоматериалов лесовозными автомобилями и повышения их эффективности изучили влияние используемых методов взвешивания и уровня обустроенности лесовозных дорог на максимально возможную загруженность лесовозных автомобилей лесоматериалами. Установлено, что существует проблема перегруженности лесовозных автомобилей из-за применяемых методов взвешивания, приводящих к снижению полезной нагрузки, увеличению транспортных расходов, снижению прибыли и перегруженности, способствующей снижению безопасности дорожного движения, возникновению поломок и возможным штрафам. В этой связи использование эффективного и точного метода управления полезной нагрузкой позволит повысить производительность лесовозного автомобильного транспорта при вывозке

лесоматериалов по различным типам лесовозных дорог [8].

Grzegora Trzcinsk и др. (2013) в своей работе рассмотрели влияние, оказываемое современными крупнотоннажными перегруженными лесовозными автомобилями марок Iveco, Volvo, Scania на состояние лесовозных дорог. Анализ массы загружаемых лесоматериалов, полной массы лесовозных автопоездов, а также массы незагруженных прицепов и полуприцепов показал, что все исследуемые лесовозные автопоезда превысили разрешенную полную массу, что негативно сказалось на состоянии лесовозных дорог. Сокращение объема вывозимых лесоматериалов для уменьшения полной массы лесовозного автопоезда не решит проблемы, так как это значительно увеличит количество рейсов вывозки, а, следовательно, приведет к увеличению расхода топлива и усилению негативного воздействия на окружающую среду. Нахождение логистического решения, позволяющего оптимизировать максимальную загруженность лесовозного автопоезда, без разрушения лесовозной дороги позволит повысить эффективность вывозки лесоматериалов [9].

В работе Radomir Klvac (2013) приведена оценка 132 лесовозных автопоездов по влиянию условий вывозки и дальности вывозимых на них лесоматериалов на расход топлива. Установлено, что увеличение среднего расстояния вывозимых лесоматериалов по лесовозным дорогам в сравнении с обычными дорогами приводит к увеличению среднего значения расхода топлива, приходящегося на единицу объема вывозимых лесоматериалов. Кроме этого, выявлено, что у более старых конструкций лесовозных автопоездов, а также оснащенных гидроманипуляторами расход топлива на единицу продукции выше, и при частых погрузках и разгрузках он значительно возрастает. Эффективность вывозки лесоматериалов может быть повышена за счет оперативной замены устаревших конструкций лесовозных автопоездов, путем использования новых технологий телеметрии в сочетании с GPS/GIS, улучшения мастерства вождения водителями, а также нахождения оптимальных условий вывозки для каждого отдельного типа лесовозного автопоезда [10].

Amanda Sosa и др. (2015) в своем исследовании рассмотрели влияние избыточно нагруженных лесовозных

возных автомобилей на их срок службы, расход топлива, износ лесовозных дорог, а также безопасность дорожного движения. С целью достижения загрузки максимального объема лесоматериалов в лесовозный автопоезд без превышения его допустимого нормативами максимального веса разработана методика контроля веса оптимальной полезной загрузки лесовозных автопоездов лесоматериалами в зависимости от их влажности. Установлено, что 67 % всех задействованных в эксперименте лесовозных автопоездов имели избыточный вес, остальные же 33 % не превышали установленной нормативами максимальной массы. Также определено, что чем меньше объем вывозимых лесоматериалов, тем выше затраты на вывозку единицы объема лесоматериалов. Максимальной грузоподъемностью обладают сочлененные лесовозные самосвалы без гидроманипулятора, далее следуют лесовозные автопоезда с шарнирно-сочлененной рамой и с гидроманипуляторами, самой же низкой грузоподъемностью обладают одиночные лесовозные автомобили и лесовозные автомобили с прицепами [11].

В статье Eric Johannes и др. (2018) выполнили с помощью программного продукта Ansys Fluent 18.0 исследование влияния аэродинамических свойств лесовозных автопоездов загруженных лесоматериалами на расход топлива и транспортные издержки. Установлено, что инвестирование перевозчиками денежных средств в повышение аэродинамических свойств лесовозных автопоездов за счет использования специальных надстроек позволит значительно сократить за счет уменьшения расхода топлива транспортные издержки [12].

В работе Abdullah E. Akay (2020) выполнено исследование функционирования фронтального погрузчика, используемого для разгрузки и погрузки лесоматериалов в лесовозный автомобильный транспорт. Установлено, что наиболее трудоемким этапом погрузочно-разгрузочных работ является этап перемещения погрузчика с лесоматериалами к кузову лесовозного автопоезда. Кроме этого, выявлено, что существует связь между производительностью погрузчика, диаметром, длиной и объемом лесоматериалов. С увеличением этих параметров увеличивается и производительность погрузчика [13].

Исследование Jiale Yi (2021) посвящено разработке энергосберегающего и безопасного устройства

для загрузки и разгрузки лесоматериалов, которое может работать автономно. Данное устройство включает в себя самоходную опорную раму, механические захваты с интеллектуальной идентификацией и несколькими степенями свободы, механические зажимы, датчики, камеры, радары, модули связи для удаленного управления. Устройство может работать непрерывно долгое время в суровых условиях высоких и низких температур, давлений, что значительно повышает эффективность разгрузки лесоматериалов и снижает затраты [14].

Исследование Henrique Arcego и др. (2019) направлено на техническую оценку погрузки и разгрузки лесоматериалов различной длины. Выявлено, что увеличение длины лесоматериалов приводит к увеличению производительности погрузки и разгрузки, время загрузки увеличивается с ухудшением условий окружающей среды. Увеличивая длину лесоматериалов, сокращается количество движений, совершаемых погрузочным устройством. Уменьшение количества используемых ремней безопасности при креплении лесоматериалов положительно повлияло на процесс погрузки, разгрузки и способствовало повышению производительности лесовозных автопоездов [15].

Приведенный анализ научных работ зарубежных авторов позволяет заключить, что на производительность лесовозных автомобилей и стоимость вывозки лесоматериалов значительное влияние оказывает такое важное и трудоемкое звено лесозаготовительного процесса, как погрузка лесоматериалов на лесовозный автомобильный транспорт с последующей разгрузкой у потребителя.

С учетом того, что удельный вес работ, связанных с погрузкой и разгрузкой лесоматериалов на лесовозные автомобили в общем количестве средств, затрачиваемых на вывозку лесоматериалов находится в пределах от 25 до 30 %, при вывозке лесоматериалов на небольшие расстояния, удельный вес затрачиваемых средств составляет уже 50 %. Кроме этого, исходя из того, что затраты на вывозку лесоматериалов лесовозными автомобилями ежегодно возрастают, развитие путей их снижения за счет совершенствования средств для самопогрузки и саморазгрузки лесовозных автомобилей, обеспечивающих сокращения вре-

мени нахождения лесовозного автомобиля под погрузкой и разгрузкой, а также значительное увеличение объема вывозимых лесоматериалов за единицу времени, является актуальной задачей.

В этой связи, выполнение сравнительного анализа существующих устройств, используемых для погрузки и разгрузки лесоматериалов на автомобильный транспорт, позволит выявить присущие им достоинства и недостатки, что в дальнейшем позволит авторам предложить перспективную конструкцию, обладающую значительными преимуществами перед устройствами применяемыми в настоящее время.

Целью исследования является разработка перспективной конструкции дистанционно управляемого лесовозного автомобиля с раздвижной рамой и управляемыми колесными модулями, позволяющего повысить эффективность погрузочно-разгрузочных работ в процессе вывозки лесоматериалов по недостаточно обустроенным лесовозным дорогам.

Материалы и методы

Авторами были изучены материалы эмпирических исследований зарубежных и российских ученых в области повышения эффективности лесовозного автомобильного транспорта путем его конструктивного совершенствования. Поиск научных источников проводили в библиографических базах, научных электронных библиотеках и поисковых системах: Scopus (www.scopus.com), eLIBRARY.RU (www.elibrary.ru), Google Scholar (www.scholar.google.com), Google Patents (www.patents.google.com), Espacenet Patent search (www.worldwide.espacenet.com). В качестве литературных источников были приняты во внимание научные статьи на английском и русском языках. Глубина поиска – с 1950 года. Поисковые запросы выполняли по следующим ключевым словам: лесовозный автомобиль, устройства для разгрузки лесоматериалов, производительность, эффективность.

Результаты и обсуждения

Технологический процесс вывозки лесоматериалов лесовозными автопоездами из лесосек, является комплексным технологическим процессом, состоящим из четырех операций: подача лесовозного автопоезда под погрузку лесоматериалов, погрузку лесоматериалов на лесовозный автопоезд, перевозку лесоматериалов лесовозным автопоездом, разгрузку лесоматериалов с лесовозного автопоезда.

Операции погрузки или разгрузки лесовозных автомобилей могут выполняться различающимися по конструкции и техническим характеристикам машинами и средствами. Погрузка лесоматериалов на лесовозный автомобиль может осуществляться либо сразу после трелевки из запасов лесоматериалов, размещенных вдоль лесовозных веток и усов, либо из лесоматериалов, имеющихся на погрузочных площадках. Выбор способа погрузки или разгрузки лесовозных автомобилей зависит от объема и вида вывозимых лесоматериалов, а также от имеющихся у потребителя или лесозаготовительных предприятий машин и средств для выполнения этих работ. Используемые средства для погрузки и разгрузки лесоматериалов являются важным элементом, от которых зависят требования, предъявляемые к лесовозным автомобилям к их способности к механизированному осуществлению операций погрузки и разгрузки лесоматериалов.

На практике с учетом различных условий погрузки и разгрузки лесоматериалов на лесовозные автомобили, наибольшее распространение из существующих машин и механизмов, используемых для этих целей нашли самоходные разгрузчики, канатные установки, отдельные краны, а также различные средства для самопогрузки и саморазгрузки лесовозных автомобилей.

К главным преимуществам лесовозных автомобилей, не оснащенных средствами самопогрузки и саморазгрузки в сравнении с имеющими такие средства, относят: отсутствие необходимости для водителя овладения навыками управления такими средствами; увеличенную полезную рейсовую нагрузку за счет большей грузоподъемности и меньшей массы лесовозного автомобиля; уменьшенные удельный расход топлива и себестоимость вывозки лесоматериалов; сокращенный годовой пробег и меньший износ шин; более равномерное распределение массы длинномерных лесоматериалов между кониками прицепа-ропуска и лесовозного тягача. Для погрузки лесоматериалов на такие лесовозные автомобили или автопоезда широко применяются самоходные челюстные лесопогрузчики перекидного и фронтального типа, тракторные толкатели, башенные, кабельные, консольно-козловые и козловые краны, разгрузочно-растаскивающие установки, стреловые

и мостовые краны на автомобильном ходу, а также другие виды подъемно-транспортного оборудования (рис. 1). Лесовозные автомобили без средств для самопогрузки и саморазгрузки применяются в большинстве случаев при очень больших расстояниях транспортирования и объемах вывозки лесоматериалов, позволяющих с наибольшей эффективностью загружать используемое в процессе погрузки лесовозных автомобилей оборудование. Скопление большого количества лесовозных автомобилей в погрузочно-разгрузочных пунктах, или на нижнем складе, или на складе потребителя сопровождается их длительными простоями в ожидании. Из-за указанных простоев коэффициент использования рабочего времени обычно не превышает 0,8.

Использование же различных устройств для самостоятельной погрузки и разгрузки лесовозных автопоездов лесоматериалами дает возможность выполнять эти операции вне зависимости от наличия погрузочных средств, как на нижнем складе, лесосеке,

так и на складе потребителя. Это в свою очередь при малых годовых объемах вывозки лесоматериалов (до 7 тыс. м³) позволяет повысить коэффициент использования рабочего времени таких лесовозных автопоездов, увеличить их производительность за счет снижения продолжительности рейса, сокращения простоев из-за ожидания погрузочных машин, и, таким образом, достичь значительного экономического эффекта. Так в работе Смирнова М.Ю. описывается, что рост количества лесовозных автомобилей в лесозаготовительных предприятиях, работающих в одном звене и не оснащенных средствами для самопогрузки, и саморазгрузки лесоматериалов, приводит к увеличению времени пребывания таких лесовозных автомобилей в погрузочно-разгрузочных пунктах и возрастанию времени нахождения лесовозных автомобилей в рейсах (рис. 2, а и б) [16].

Эффективность работы лесозаготовительных предприятий во многом зависит от таких основных эксплуатационных показателей, как производительность лесовозных автомобилей, себестоимость вывозки лесоматериалов и удельных трудозатрат на вывозке. Производительность лесовозного автомобиля, оснащенного средствами самопогрузки и саморазгрузки измеряется количеством кубических метров лесоматериалов, вывезенных лесовозным

автопоездом в единицу времени [17].

Сменная производительность лесовозного автопоезда, оснащенного средствами самопогрузки и саморазгрузки определяется на основании следующей зависимости, м³/смена:

$$P_{см} = n \cdot Q_{пол.},$$

где n – количество выполняемых рейсов в одну смену; $Q_{пол.}$ – объем лесоматериалов, загружаемых в лесовозный автомобиль, м³.

Количество выполняемых рейсов в одну смену рассчитывается по формуле:

$$n = \frac{(T - t_{н.з.}) \cdot k_g}{120 \left(\frac{l_m}{v_m} + \frac{l_g}{v_g} + \frac{l_{yc}}{v_{yc}} \right) + T_{n-p}},$$

где T – количество времени работы в одной смене; $t_{н.з.}$ – время приходящееся на одну смену для выполнения подготовительных и заключительных работ, мин.; k_g – коэффициент использования рабочего времени; l_m – длина магистрали, км; l_g – длина ветки, км; l_{yc} – длина уса, км; v_m , v_g , v_{yc} – скорости движения лесовозного автомобиля, оснащенного средствами самопогрузки и саморазгрузки по соответственно магистрали, ветке и усу, км/ч; T_{n-p} – время нахождения лесовозного автомобиля, оснащенного средствами самопогрузки и саморазгрузки в погрузочно-разгрузочном пункте при выполнении операций погрузки и разгрузки, мин.

Основными составляющими времени пребывания лесовозных автомобилей, оснащенных средствами самопогрузки и саморазгрузки в погрузочно-разгрузочном пункте за один рейс, являются: время выполнения подготовительных и заключительных работ, а также время, затрачиваемое на самопогрузку и саморазгрузку лесовозных автомобилей. Подготовительные работы включают в себя: установку лесовозного автомобиля в пункте погрузки около штабеля лесоматериалов, постановку лесовозного автомобиля в пункте разгрузки у потребителя; приведение в рабочее состояние средств для самопогрузки и разгрузки лесовозного автомобиля. Заключительные работы включают в себя закрепление и увязку

лесоматериалов, а также приведение средств для самопогрузки и саморазгрузки в положение для транспортирования. Время, затрачиваемое на самопогрузку и саморазгрузку лесоматериалов является основной составляющей общей продолжительности простоя лесовозного автомобиля.

Время нахождения лесовозного автомобиля, оснащенного средствами самопогрузки и саморазгрузки под погрузочно-разгрузочными операциями рассчитывается на основании следующей зависимости [18]:

$$T_{n-p} = t_{ус.} + t_{раб.} + t_{тран.} + t_{загр.-разг.},$$

где $t_{ус.}$ – время установки лесовозного автомобиля оснащенного средствами самопогрузки и саморазгрузки под погрузку или разгрузку лесоматериалов, мин.; $t_{раб.}$ – продолжительность приведения средства для самопогрузки или саморазгрузки в рабочее состояние, мин.; $t_{тран.}$ – продолжительность приведения средства для самопогрузки или саморазгрузки в транспортное состояние, мин.; $t_{загр.-разг.}$ – время, затрачиваемое на погрузочно-разгрузочные работы средством для самопогрузки или саморазгрузки лесовозного автопоезда.

Удельные трудозатраты в процессе выполнения погрузочных операций средствами для самопогрузки лесовозных автомобилей определяется по следующей зависимости [19]:

$$T_{ногр.} = \frac{m \cdot (t_{подг.} + t_{укл.} \cdot n_1 + t_{креп.})}{V_c \cdot (t_{см} - t_p)},$$

где m – количество рабочих, обслуживаемых средством для самопогрузки лесоматериалов лесовозный автомобиль; $t_{подг.}$ – время, затрачиваемое на подготовительные работы при приведении лесовозного автомобиля и средства для самопогрузки в рабочее состояние, с; $t_{укл.}$ – время, затрачиваемое на укладку одной пачки лесоматериалов в кузов лесовозного автомобиля, с; n_1 – число укладываемых в кузов лесовозного автомобиля пачек лесоматериалов; $t_{креп.}$ – время, затрачиваемое на закрепление пачки лесоматериалов после погрузки в кузове, с; V_c – объем лесоматериалов,

захватываемых средством для самопогрузки лесовозного автопоезда за один прием, м³.

Время на разгрузку лесовозного автопоезда, оснащенного средствами саморазгрузки определяется в соответствии со следующей формулой:

$$T_{разг.} = t_{разг.} + t_{доп.},$$

где $t_{разг.}$ – фактическое время разгрузки, с; $t_{доп.}$ – дополнительное время на пункте разгрузки лесоматериалов, с.

Рассмотрим более подробно существующие конструкции устройств, устанавливаемых на лесовозных автопоездах для их самостоятельной погрузки или разгрузки лесоматериалами.

Одна из ранних конструкций лесовозного автопоезда, позволяющая исключить трудоемкую операцию разгрузки лесоматериалов путем их поднятия через неподвижные вертикальные стойки полуприцепа с помощью грузоподъемного погрузочно-разгрузочного оборудования, оснащалась поворотными средствами для стоек, приводимыми в действие гидравлическим приводом и обеспечивающими высокую безопасность при скатывании лесоматериалов на опорную поверхность за счет системы поддержания лесоматериалов, а также управления началом процесса разгрузки лесоматериалов из кабины водителя (рис. 3, а). Недостатком такой конструкции является быстрый выход из строя предлагаемых стоек по причине восприятия ими существенных продольных и поперечных нагрузок от скатываемых лесоматериалов в процессе разгрузки, а также трогания лесовозного автопоезда [20].

На рисунке 3, б представлен самосвальный полуприцеп с разгрузкой лесоматериалов на две стороны с помощью телескопических тяг, съемных и откидывающихся стоек. Преимуществом такого самосвального полуприцепа, является меньшая металлоемкость в сравнении с классическими полуприцепами, а также облегченная полная разгрузка длинномерных лесоматериалов [21].

Более сложная конструкция для погрузки длинномерных лесоматериалов в полуприцеп лесовозного автопоезда приведена на рисунке 3, в. Ее особенностями является наличие приводно-

го механизма, направляющих рельсов, устанавливаемых в наклонном положении, а также подъемных тросов с лебедками. Несмотря на минимальные затраты времени на процесс погрузки лесоматериалов, недостатком такой конструкции является необходимость присутствия дополнительного помощника, поддерживающего длинномерные лесоматериалы в процессе погрузки в полуприцеп [22].

Еще одно устройство, позволяющее не задействовать при разгрузочных операциях дополнительных рабочих и специальное подъемно-транспортное оборудование, представляет собой совмещенный с кониками тросовый механизм выгрузки лесоматериалов с гидравлически управляемыми опорными стойками (рис. 3, з). Использование такого устройства на лесовозном автомобиле позволит за счет натяжения тросов и откидных стоек с опорами равномерно выкатывать на опорную поверхность все загруженные на полуприцеп лесоматериалы [23].

Другая более сложная конструкция для самопогрузки лесовозного автопоезда включает в себя дистанционно управляемую лебедку, коники, привод канатно-блочной системы, не откидные стойки и откидные погрузочные стойки (рис. 3, д). При выполнении погрузки лесоматериалов на таком лесовозном автомобиле водителю автопоезда требуется дополнительный рабочий, который будет управлять подтаскиванием и стаскиванием лесоматериалов с лесовозного автомобиля. Существенными недостатками использования такой конструкции для самопогрузки и саморазгрузки лесоматериалов, являются необходимость выполнения подготовительных работ при погрузке лесоматериалов в лесовозный автомобиль, высокая трудоемкость процесса погрузки, а также необходимость присутствия дополнительного рабочего, который будет следить за растаскиванием тросов и чокеровкой лесоматериалов [24].

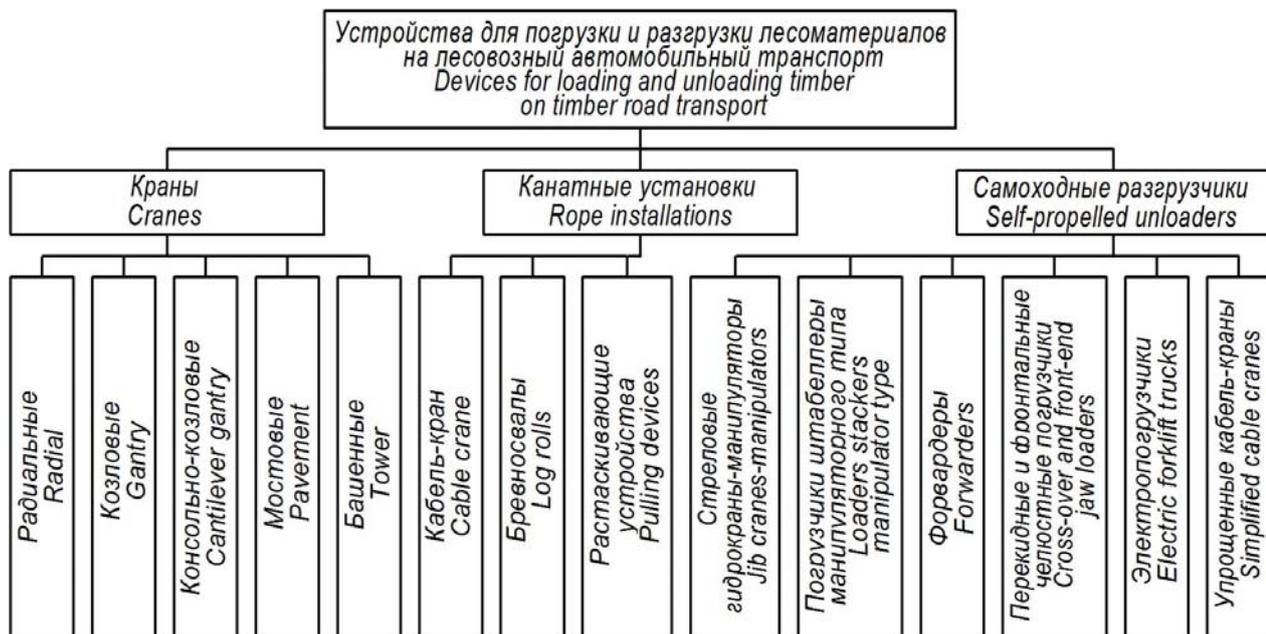


Рисунок 1. Классификация устройств для погрузки и разгрузки лесоматериалов на лесовозный автомобильный транспорт
Figure 1. Classification of devices for loading and unloading timber on timber road transport

Источник: собственная композиция авторов
Source: author's composition

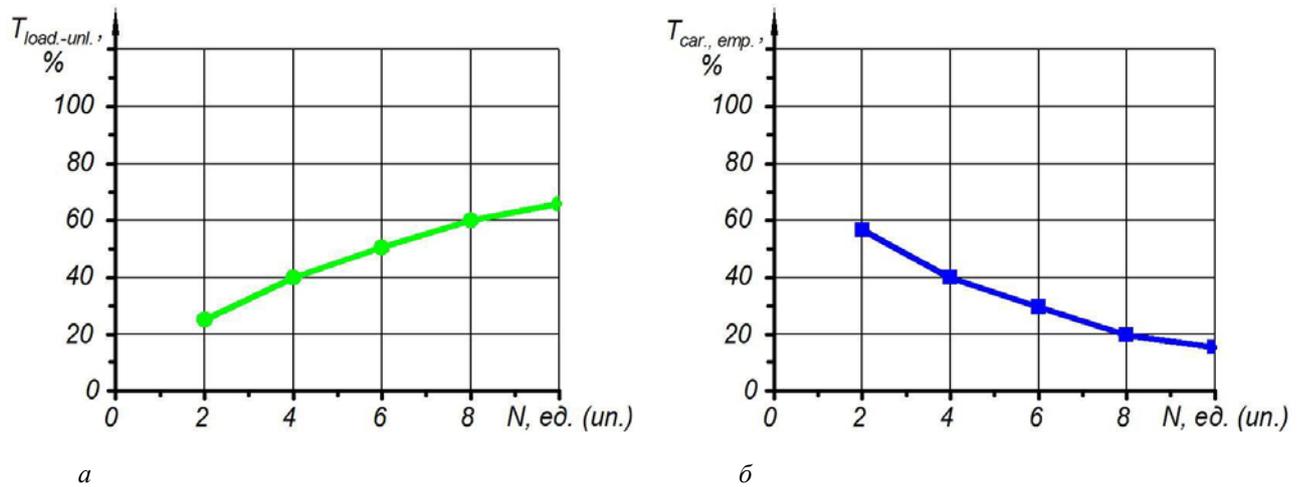


Рисунок 2. Зависимости времени пребывания лесовозного автопоезда без устройства для самопогрузки в пунктах погрузки и разгрузки лесоматериалов $T_{load.-unl.}$ (а) и времени движения такого лесовозного автопоезда в грузовом и порожнем состоянии $T_{car., emp.}$ (б) от количества таких лесовозных автопоездов N в звене

Figure 2. Dependencies of time of stay of a timber truck train without a device for self-loading in points of loading and unloading of timber $T_{load.-unl.}$ (a) and the travel time of such a trucking train in freight and unladen condition $T_{car., emp.}$ (b) the number of such trucking trains N in the link

Источник: собственная композиция авторов по вычислениям Смирнова М.Ю. [16]
 Source: authors' own composition based on calculations by Smirnov M.Yu. [16]

Другая интересная конструкция, используемая для боковой самопогрузки и разгрузки лесоматериалов приведена на рисунке 3, е. Она представляет собой грузовую платформу с кониками, оснащенную механизмами перемещения платформы, функционирующими от гидравлического привода. Данная конструкция обладает высокой прочностью, простотой в изготовлении, позволяет хранить лесоматериалы длительное время в месте погрузки и разгрузки [25].

Простая и наиболее распространенная конструкция устройства для саморазгрузки представлена на рисунке 3, ж. Использование такого устройства позволяет выполнить выгрузку лесоматериалов из самосвальной кониковой площадки в том же положении, в котором они были размещены на ней при погрузке и вывозке. Выгрузка осуществляется путем подъема гидравлическими цилиндрами на необходимый угол самосвальную кониковую площадку с лесоматериалами, скатывание лесоматериалов до их соприкосновения с опорной поверхностью и последующего перемещения лесовозного транспортного средства вперед без изменения угла расположения площадки [26].

Представляет интерес конструкция лесовозного тягача с тележкой для вывозки лесоматериалов, которая включает в себя тросы, цепи, подвесные стропы с механизмами управления перемещением вниз и вверх. Данная конструкция позволяет вывешивать пачку лесоматериалов с опорной поверхности для транспортирования и разгружать ее у потребителя (рис. 3, з). Использование такой конструкции тележки дает возможность отказаться от дорогих в использовании погрузочно-разгрузочных механизмов [27].

Кроме этого, для самопогрузки и саморазгрузки лесоматериалов могут использоваться специальные контейнеры, снимаемые с лесовозного автопоезда и загружаемые на землю. После загрузки этого контейнера лесоматериалами, лесовозный автопоезд, состоящий и лесовозного седельного тягача и полуприцепа, подъезжает к контейнеру, совмещая продольные оси, после этого трос лебедки лесовозного седельного тягача продевают через блоки контейнера и лесовозного седельного тягача, создавая полипласт, позволяющий затянуть на полуприцеп контейнер.

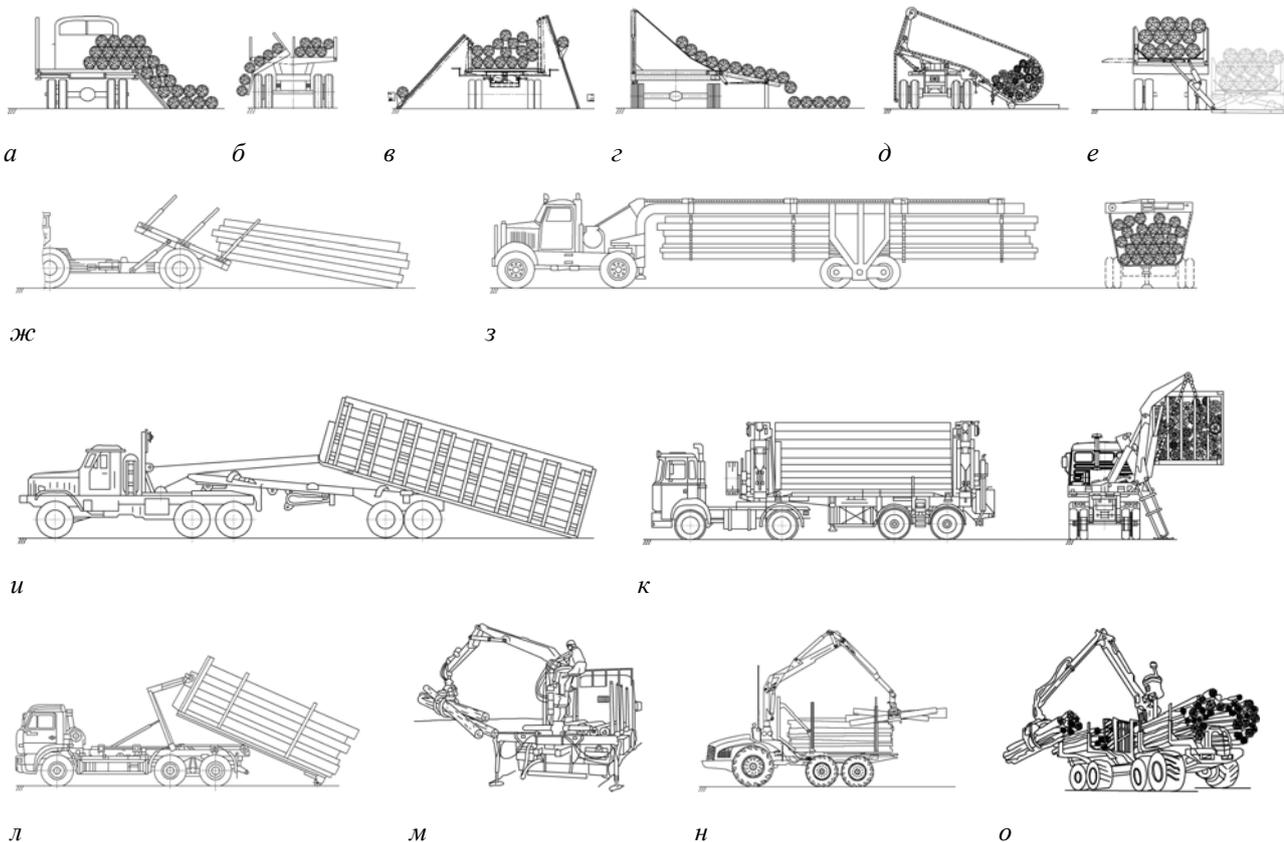


Рисунок 3. Устройства, используемые для саморазгрузки лесовозных транспортных средств:

а – полуприцеп с откидными кониками; *б* – самосвальный полуприцеп с разгрузкой на две стороны; *в* – рельсовый механизм для погрузки длинномерных лесоматериалов; *г* – тросовый механизм выгрузки лесоматериалов с прицепа; *д* – канатно-блочная система боковой разгрузки; *е* – боковое перегрузочное устройство; *ж* – самосвальная кониковая площадка; *з* – канатно-подвесная система погрузки и разгрузки тележки; *и* – контейнерная разгрузка; *к* – сайдлифтер; *л* – мультилифт; *м, н, о* – гидроманипулятор

Figure 3. Devices used for self-unloading of timber vehicles:

a – semi-trailer with folding bunks; *b* – dump semi-trailer with unloading on two sides; *c* – rail mechanism for loading long timber; *d* – cable unloading mechanism timber from a trailer; *e* – rope-block lateral unloading system; *f* – lateral reloading device; *g* – dump conical platform; *h* – rope-suspension system for loading and unloading the trolley; *j* – container unloading; *k* – sidelifter; *l* – multi-lift; *m, n, o* – hydraulic manipulator

Источник: схемы существующих конструкций для саморазгрузки лесовозных автомобилей [20-33]

Source: diagrams of existing structures for self-unloading of timber trucks [20-33]

Разгрузка контейнера с полуприцепа осуществляется путем зацепления троса одним концом за анкер, а другим за контейнер с дальнейшим движением лесовозного седельного тягача вперед и сползанием контейнера с лесоматериалами с лесовозного автопоезда (рис. 3, *и*). Использование такого лесовозного автопоезда со сменными контейнерами позволяет сократить его простои на погрузочно-разгрузочном пункте. Недостатками использования такого средства для самопогрузки и саморазгрузки лесоматериалов, является необ-

ходимость применения для погрузки в контейнеры и выгрузки из них лесоматериалов дополнительными устройствами, низкая грузоподъемность, а также большая величина коэффициента тары прицепного состава [24].

Еще одной интересной конструкцией является сайдлифтер специализированный контейнеровоз с боковым погрузчиком, предназначенный для подъема и транспортирования контейнеров с лесоматериалами (рис. 3, *к*). Он позволяет загружать и разгружать контейнеры с лесоматериалами

при помощи гидравлических кранов, размещенных на каждом конце шасси лесовозного автомобиля. Использование такой конструкции, управляемой одним человеком позволяет экономить время, труд и денежные средства [28].

Одним из эффективных способов вывозки лесоматериалов лесовозным автомобильным транспортом в сложных дорожных условиях, позволяющих сократить время погрузочно-разгрузочных операций, повысить прибыль лесозаготовительных предприятий, является установка на лесовозный автомобиль крюкового подъемника с бункером мультилифтом для сортиментов (рис. 3, л). Использование такого крюкового подъемника с бункером мультилифтом для сортиментов позволит сократить время, как погрузки, так и разгрузки лесоматериалов, отпадает необходимость загрузки и разгрузки каждого бревна отдельно. Кроме этого, наличие на погрузочной площадке большого количества бункеров позволяет заранее выполнить их загрузку погрузчиком, сократив тем самым время простоя лесовозного автомобильного транспорта. Недостатком использования такой конструкции является значительная потеря полезной нагрузки из-за существенного веса крюковой подъемной системы и контейнеров [29, 30].

В последнее время произошло значительное возрастания числа лесовозных автомобилей, используемых в качестве самозагружаемых и саморазгружаемых устройств, устанавливаемые на них навесные гидроманипуляторы со сменными рейферными захватами (рис. 3, м). Некоторые лесозаготовительные предприятия оснащают гидроманипуляторами почти весь парк лесовозных автомобилей, другие же применяют совместную работу самозагружающихся и не оснащенных гидроманипуляторами лесовозных автомобилей. Лесовозные автомобили, оснащенные гидроманипуляторами достаточно просты в эксплуатации, не нуждаются во вспомогательных трудоемких ручных работ, однако требуют точного размещения лесовозного автомобиля, как при затаскивании контейнера. Simon Westerberg в своей работе с целью повышения производительности и улучшения условий труда для оператора предлагает в телеуправляемое транспортное

средство для погрузки-разгрузки и вывозки лесоматериалов, функционирующего в условиях бездорожья. Такое транспортное средство позволяет освободить оператора от воздействия на него таких неблагоприятных факторов рабочей среды, как шума, вибрации. Кроме этого, отсутствие кабины на таком транспортном средстве способствует снижению веса транспортного средства, улучшению его маневренности, сокращению расхода топлива до 30 %, а также меньшему экологическому ущербу от воздействия на окружающую среду и меньшим затратам, расходуемым при выполнении технического обслуживания и текущего ремонта (рис. 3, н). Ola Ringdahl в своей диссертации предлагает концептуальную конструкцию автономно управляемого форвардера, оснащенного гидроманипулятором для погрузки и разгрузки лесоматериалов. Для его автономной навигации в процессе управления разработан специальный алгоритм, позволяющий прогнозировать за счет системы датчиков и механизмов преодоление различных препятствий, тем самым предотвращая возможные столкновения (рис. 3, о). Несмотря на это такие лесовозные автопоезда имеют один существенный недостаток: установка гидроманипулятора уменьшает полезную грузоподъемность лесовозного автопоезда и приводит к дополнительным расходам топлива, как в грузовом, так и в холостом направлениях [31-33].

Проведенный анализ существующих средств для самопогрузки и саморазгрузки лесовозных автомобилей позволяет заключить, что почти все они имеют один общий недостаток, связанный с необходимостью присутствия квалифицированных рабочих для управления погрузочно-разгрузочным процессом с помощью этих средств в месте выполнения погрузки или разгрузки. Практика использования средств саморазгрузки показывает, что в настоящее время наибольшее применение из всех рассмотренных средств отводится гидроманипулятору. Важным недостатком использования гидроманипулятора для разгрузки лесоматериалов с лесовозного автомобиля является большой промежуток времени, затрачиваемый на выполнение этого процесса, который в зависимости от различных технологических и природно-климатических факторов мо-

жет изменяться в интервале от 15 до 30 мин. Для устранения выявленных недостатков, авторами предложена принципиальная схема дистанционно управляемого лесовозного автомобиля с раздвижной рамой и управляемыми колесными модулями для разгрузки лесоматериалов (рис. 4).

У предлагаемого дистанционно управляемого лесовозного автомобиля с раздвижной рамой и управляемыми колесными модулями отсутствует кабина для водителя, что способствует увеличению на 20 % полезной длины его платформы, а также удешевлению стоимости всей его конструкции. Дополнительно к этому такой лесовозный автомобиль оснащен компактными независимыми модульными подвесками, которые позволяют за счет увеличенных углов поворота и возможности одновременного управления всеми колесами автомобиля выполнять раскрытие бортов раздвижной рамой в процессе разгрузки лесоматериалов у потребителя. Лесовозный автомобиль такой конструкции более приспособлен к функционированию в стесненных условиях, как при движении по недостаточно обустроенным лесовозным дорогам, так и на ограниченных по площади погрузочных или разгрузочных пунктах. Применение подвесок такой конструкции позволяет более рационально использовать межколесное пространство, повысить надежность такого дистанционно управляемого лесовозного автомобиля за счет автономности и взаимозаменяемости его подвесок, а также еще значительнее удешевить стоимость конструкции лесовозного автомобиля за счет снижения металлоемкости и массы путем совмещения функций рамы и кузова. Использование таких подвесок позволит повысить проходимость, устойчивость, управляемость и плавность хода дистанционно управляемого лесовозного автомобиля при движении по недостаточно обустроенной лесовозной дороге за счет постепенного изменения или постоянной поддержки величины дорожного просвета, не зависящего от массы загружаемых лесоматериалов [34].

Для надежного дистанционного управления оператором, такой лесовозный автомобиль оснащен управляемыми видеокамерами, радарными бокового и путевого обзоров, гидро- и элект-

троприводами серийного производства, светотехническими приборами, бортовым компьютером, а также блоками управления системами дистанционного управляемого лесовозного автомобиля. Дистанционное управление таким лесовозным автомобилем может осуществляться оператором либо со своего стационарного рабочего места, либо с другого транспортного средства. При этом, основным оборудованием оператора для дистанционного управления лесовозным автомобилем является компьютер, панель управления системами автомобиля, а также приемопередающее устройство [35].

Функционирование предлагаемого дистанционно управляемого лесовозного автомобиля с раздвижной рамой и управляемыми колесными модулями представлено в виде технологической карты разгрузки лесоматериалов таким автомобилем у потребителя, включающей в себя все технологические операции с затратами времени на их выполнение (рис. 5).

Выполненный анализ различных средств для саморазгрузки лесовозных автомобилей, а также предлагаемая перспективная конструкция с раздвижной рамой и управляемыми колесными модулями позволяют сформировать уточненную классификацию существующих разгрузочных средств, используемых для самостоятельной разгрузки лесоматериалов с лесовозного автомобиля (рис. 6).

Выводы

Результаты проведенного исследования дают возможность заключить, что:

– в настоящее время российскими и зарубежными учеными активно ведутся разработки в области повышения эффективности лесовозных автомобилей, направленные на снижение трудоемкости и себестоимости процесса вывозки лесоматериалов;

– наиболее рациональным путем повышения производительности лесовозных автомобилей является сокращение времени пребывания их на погрузочных и разгрузочных пунктах при выполнении операций погрузки или разгрузки лесоматериалов существующими средствами самопогрузки и саморазгрузки;

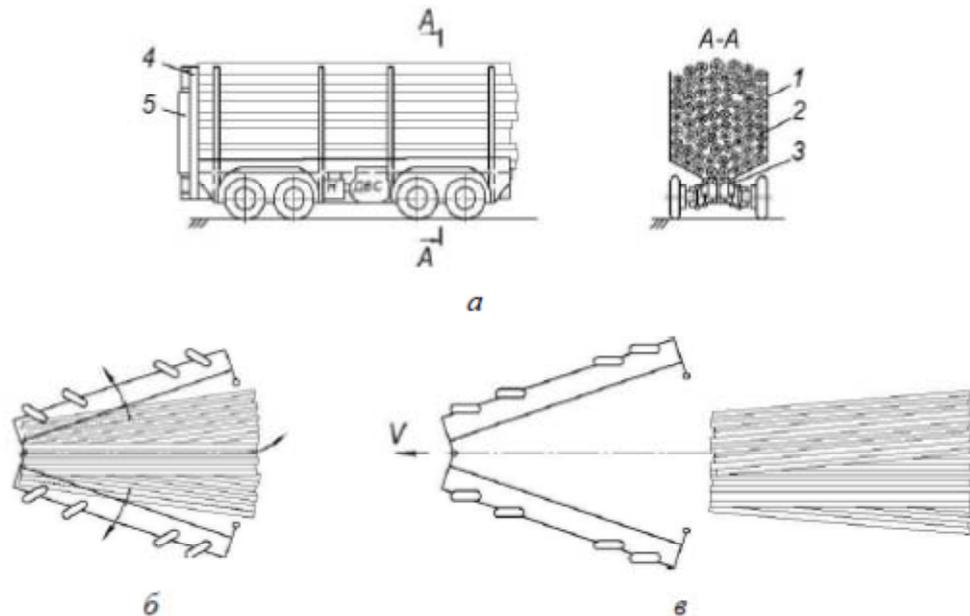


Рисунок 4. Принципиальная схема дистанционно управляемого лесовозного автомобиля с раздвижной рамой и управляемыми колесными модулями (а), и схемы положения раздвижной рамы с лесоматериалами (б, в):

1 – стойка не откидная; 2 – лесоматериалы; 3 – колесный модуль;

4 – стенка упорная; 5 – механизм раскрытия бортов

Figure 4. Schematic diagram of a remotely controlled timber truck with a sliding frame and controlled wheel modules (a), and a diagram of the position of a sliding frame with timber (b, c): 1 – the rack is not folding; 2 – timber; 3 – wheel module; 4 – persistent wall; 5 – side opening mechanism

Источник: собственные схемы авторов

Source: authors' own schemes

– проведенный анализ существующих средств для самопогрузки и саморазгрузки лесовозных автомобилей выявил имеющиеся у них недостатки, что позволило авторам разработать и предложить перспективную схему конструкций дистанционно-управляемого лесовозного автомобиля с раздвижной рамой и управляемыми колесными модулями, технологическую карту разгрузки лесоматериалов таким лесовозным автомобилем, а также уточненную классификацию средств саморазгрузки лесовозных автомобилей;

– использование дистанционно управляемого лесовозного автомобиля такой конструкции по предварительным данным позволит за счет применения подвесок модульного типа: выполнить технологический процесс разгрузки лесоматериалов приблизительно за 200 с; увеличить за счет отсутствия кабины водителя длину платформы на 20 %;

удешевить стоимость всей конструкции вследствие совмещения функций рамы и кузова, а также отсутствия кабины водителя; более рационально использовать межколесное пространство; повысить надежность, проходимость, устойчивость, управляемость и плавность хода лесовозного автомобиля при его движении по недостаточно обустроенным лесовозным дорогам;

– внедрение на лесозаготовительных предприятиях дистанционно управляемых лесовозных автомобилей с раздвижной рамой и управляемыми колесными модулями позволит: значительно увеличить за один рейс объем вывозимых лесоматериалов; сократить расход топлива и время простоев лесовозного автомобиля в пункте разгрузки; повысить ремонтпригодность лесовозного автомобиля путем возможной быстрой замены унифицированных подвесок модульного типа.

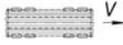
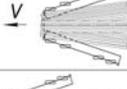
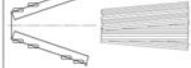
Наименование технологических операций Name of technological operations	Примерное время, с Approximate time, s										Схемы положения раздвижной рамы Sliding frame position diagrams	
	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200		
1 Постановка лесовозного автомобиля на место разгрузки у потребителя 1 Placement of the timber truck at the place of unloading at the consumer is	■											
2 Установка необходимых углов поворота колесных модулей для раскладывания рамы 2 Setting the required angles of rotation of the wheel modules for unfolding the frame			■									
3 Раскладывание рамы лесовозного автомобиля до требуемого положения 3 Unfolding the frame of the timber truck to the required position				■								
4 Установка необходимых углов поворота колесных модулей для смещения вперед 4 Setting the required angles of rotation of the wheel modules for forward displacement					■							
5 Смещение вперед лесовозного автомобиля до полной разгрузки лесоматериалов 5 Moving the timber truck forward until the timber is completely unloaded						■						
6 Установка необходимых углов поворота колесных модулей для складывания раздвижной рамы 6 Setting the required angles of rotation of the wheel modules for folding the sliding frame							■					
7 Складывание раздвижной рамы в транспортное положение 7 Folding the sliding frame into transport position								■				
8 Выезд лесовозного автомобиля с места разгрузки у потребителя 8 Departure of the timber truck from the place of unloading at the consumer is									■			

Рисунок 5. Технологическая карта разгрузки дистанционно управляемого лесовозного автомобиля с раздвижной рамой и управляемыми колесными модулями

Figure 5. Technological map of unloading remotely controlled timber truck with a sliding frame and steerable wheel modules

Источник: собственные схемы авторов
Source: authors' own schemes

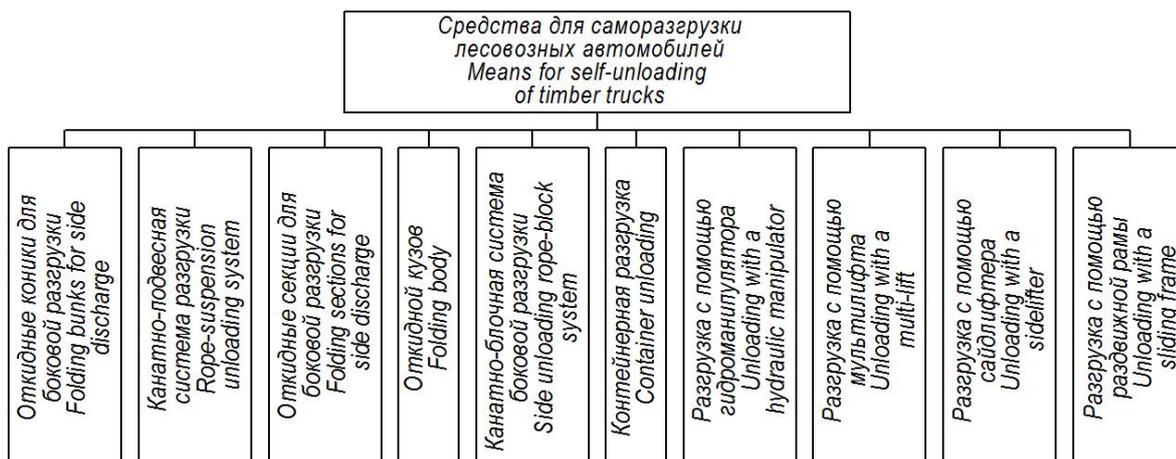


Рисунок 6. Классификация средств для саморазгрузки лесовозных автомобилей

Figure 6. Classification of means for self-unloading of timber trucks

Источник: собственная композиция авторов
Source: author's composition

Список литературы

1. Иванов В. А., Степанищева М. В. Повышение эффективности работы лесовозных автопоездов. Труды Братского государственного университета. Серия : Естественные и инженерные науки. 2020;1: 66-70. *Библиогр.: с. 70 (6 назв.).*
2. Никонов, В. О. Современное состояние, проблемы и пути повышения эффективности лесовозного автомобильного транспорта : монография. Воронеж, 2021. 203 с. *Библиогр.: с. 181-202 (196 назв.).*
3. Jankovsky M., Allman M., Allmanova Z. (et al.) Is timber haulage safe? A ten year study of occupational accidents. *Safety Science* 113, 2019, pp. 154-160. *Библиогр.: pp. 159-160 (66 titles)*. DOI 10.1016/j.ssci.2018.11.018.
4. Teijo Palander The environment emission efficiency of larger and heavier vehicles – A case study of road transportation in Finnish forest industry. *Journal of Cleaner Production* 155, 2017, pp. 57-62. *Библиогр.: p. 62 (33 titles)*. DOI 10.1016/j.jclepro.2016.09.095.
5. Ajinkya Mane, Boban Djordjevic, Bidisha Ghosh A data – driven framework for incentivizing fuel-efficient driving behavior in heavy-duty vehicles. *Transportation Research part D* 95, 2021, 102845. 16 p. *Библиогр.: pp. 15-16 (62 titles)*. DOI 10.1016/j.trd.2021.102845.
6. Lisowski F., Lisowski E. Testing and Fatigue Life Assessment of Timber Truck Stanchions. *Appl. Sci.* 10, 2020, 6134. 11 p. *Библиогр.: p. 11 (21 titles)*. DOI 10.3390/app1076134.
7. Susnjar M., Horvat D., Pandur Z., Zoric M. Odredivanje osovinskih opterecenja kamionskoga i tegljackoga Skupa za prijevoz drva. *Croat. j. for. eng.* 32, 2011. pp. 379-388. *Библиогр.: pp. 386-387 (11 titles)*.
8. Brown M., Ghaffariyan M. R. Timber Truck Payload Management with Different In-Forest Weighing Strategies in Australia. *Croat. j. for. eng.* 37, 2016, 1. pp. 131-138. *Библиогр.: pp. 137-138 (17 titles)*.
9. Trzcinsk G., Sieniawski W., Moskalik T. Effects of Timber Loads on Gross Vehicle Weight. *Folia Forestalia Polonica, series A*, 2013, Vol. 55(4), pp. 159-167. *Библиогр.: pp. 166-167 (23 titles)*. DOI 10.2478/ffp-2013-0017.
10. Klvac R., Kolarik J., Volna M., Drapela K. Fuel Consumption in Timber Haulage. *Croat. j. for. eng.* 34, 2013, 2, pp. 229-240. *Библиогр.: pp. 238-239 (14 titles)*.
11. Sosa A., Klvac R., Coates E., Kent T., Devlin G. Improving Log Loading Efficiency for Improved Sustainable Transport within the Irish Forest and Biomass Sectors. *Sustainability*, 2015, 7, pp. 3017-3030. *Библиогр.: pp. 3028-3030 (34 titles)*. DOI 10.3390/su7033017.
12. Johannes E., Ekman P., Hüge-Brodin M., Karlsson M. Sustainable Timber Transport – Economic Aspects of Aerodynamic Reconfiguration. *Sustainability*, 2018, 10, 1965. 18 p. *Библиогр.: pp. 17-18 (27 titles)*. DOI 10.3390/su10061965.
13. Akay A. E., Ebru Bilici, Inanc Tas, H. Eren Findlik Productivity Analysis of Front-end Loader in Timber Harvesting. *Eur J Forest Eng*, 2020, 6(1), pp. 7-13. *Библиогр.: p. 13 (11 titles)*. DOI 10.33904/ejfe.713860.
14. Jiale Yi Intelligent recognition-based unloading device design for university container logs. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021 International Conference on Advances in Optics and Computational Science 1865 (2021) 032033. 8 p. *Библиогр.: p. 8 (4 titles)*. DOI 10.1088/1742-6596/1865/3/032033.
15. Arcego H., Goncalves R. C., Brown R. O. Effect of Log Length on Forestry Loading and Unloading. *Floresta e Ambiente* 2019, 26(2). 6 p. *Библиогр.: p. 6 (7 titles)*. DOI 10.1590/2179-8087.026917.
16. Смирнов М. Ю. Рациональные способы и параметры загрузки автомобильных поездов на вывозке лесоматериалов : специальность 05.21.01 «Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства» : дис. ... докт. техн. наук : защищена 22.08.2011 / М. Ю. Смирнов ; ГОУ ВПО Марийский государственный технический университет. Йошкар-Ола, 2011. 398 с. *Библиогр.: с. 296-323*.
17. Пятакин В. И., Салминен Э. О., Бит Ю. А. (и др.). Лесозаготовка : учебник для студ. высш. учеб. заведений. Москва : Академия, 2006. 320 с. *Библиогр.: с. 313-314*. ISBN 5-7695-2471-5.

18. Смирнов М. Ю., Бакулина И. Р. Анализ границ экономической эффективности погрузки, вывозки и выгрузки лесоматериалов звеньями автопоездов. Вестник МарГТУ, 2011, № 1. С. 39-51. *Библиогр.: с. 50-51 (7 назв.)*.
19. Коломинова М. В. Сравнение эффективности технологических процессов лесозаготовок по критериям удельной энергоёмкости и удельной трудоёмкости. Системы. Методы. Технологии, 2016, № 1(29). С. 104-112. *Библиогр.: с. 111-112 (20 назв.)*. DOI 10.18324/2077-5415-2016-1-104-112.
20. Patent for invention US 3341221A, IPC B60P 3/41. Hydraulic stake ; Applicant : American Can Co ; Inventors : Kane Eric D., Olson Ole E. – № US 43021765A ; stat. 03.02.1965 ; publ. 12.09.1967.
21. Авторское свидетельство № 157225 СССР, МПК В62D, В63С. Самосвальная полуприцеп : № 795539/27-11 : заявл. 18.09.1962 ; опубликовано в Бюллетене изобретений и товарных знаков № 17 за 1963 г. / В. Я. Емельяненко, В. В. Комаренко, Н. П. Ермаков.
22. Patent for invention DE 1033135B, IPC B60P 1/48, B60P 3/41, B65G 67/00. Vorrichtung zum Aufladen von Langholz auf Lastkraftwagen und deren Anhaenger ; Applicant : Franz Kaier ; Inventors : Franz Kailer. – № DEK0030199A ; stat. 27.10.1956 ; publ. 26.06.1958.
23. Patent for invention GR 20050100542A, IPC B60P 1/43, B60P 3/40, B62D 33/03. Mechanism for unloading pillars from a trailer ; Applicant : Diamantikos Efthymios ; Inventors : Diamantikos Efthymios. – № GR 20050100542A, stat. 26.10.2005 ; publ. 23.05.2007.
24. Кувалдин Б. И. Прицепной состав лесовозных дорог : учеб. пособие для вузов. 2-е изд. перераб. Москва : Лесн. пром-сть, 1979. 240 с.
25. Patent for invention US 3650422A, IPC B60P 3/41, B65G 69/24, B65G 67/12. Side transfer apparatus ; Applicant : Logging systems Inc. ; Inventors : Batson Dossie M. – US85459169A ; stat. 02.09.1969 ; publ. 21.03.1972.
26. Patent for invention CA 1083537A, IPC B60P 3/41, B60P 3/00. Method of handling harvested trees ; Applicant : Koehring Canada Ltd ; Inventors : Locker Victor E. – № CA 313381A ; stat. 13.10.1978 ; publ. 12.08.1980.
27. Patent for invention US 2540803A, IPC B60P 3/41. Log carries ; Inventors : O'Brien William P., Rouleau Alexander Ronald. – № US 7651449A ; stat. 15.02.1949 ; publ. 06.02.1951.
28. Sidelifter. URL : <https://en.wikipedia.org/wiki/Sidelifter/> (дата обращения : 06.07.2021).
29. Мультилифт для транспортировки леса : производство и продажа лесовозов и сортиментовозов на шасси самопогрузчиков типа крюковой мультилифт. URL : www.euronato.ru/articles/multilift_dlya_transportirovki_lesa_proizvodstvo_i_prodazha_lesovozov_na_shassi_samopogruzchikov_tipa_kryukovoj_multilift/ (дата обращения : 06.07.2021).
30. Насковец М. Т., Хорошун Н. В. Перспективы развития контейнерных грузоперевозок в лесной отрасли республики Беларусь. Труды БГТУ, 2021, серия 1, № 1. С. 126-131.
31. Timber trucks General information on timber trucks. URL : https://til.scania.com/groups/bwd/documents/bwm/bwm_0000211_01.pdf. (дата обращения : 06.07.2021).
32. Westerberg S. Virtual Environment for Teleoperation of Forwarder Crane. Master's Thesis in Computing Science, 20 credits Supervisor at CS-UmU : Niclas Borlin, Examiner : Per Lindstrom, June 5, 2007. 63 p.
33. Ringdahl O. Automation in Forestry – Development of Unmanned Forwarders. PhD Thesis, Department of Computing Science, Umeå University, Sweden, May 2011. 45 p.
34. Посметьев В. И., Никонов В. О. Перспективы использования колесных модулей в грузовых автомобилях. Строительные и дорожные машины. 2018. № 10. С. 37-43. *Библиогр.: с. 43 (8 назв.)*.
35. Посметьев, В. И. Оценка актуальности и обоснование выбора схемы лесовозного автомобиля с дистанционным управлением / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев // Лесотехнический журнал. – 2017. – Т. 7, № 1 (25). – С. 211–218. – *Библиогр.: с. 216–218 (17 назв.)*. – DOI 12737/25213.

References

1. Ivanov V. A. *Povishenie effektivnosti raboti lesovoznih avtopoezdov* [Improving the efficiency of timber road trains]. *Trudi Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya : Estestvennie i inzhenernie nauki* [Proceedings of the Bratsk State University. Series: Natural and Engineering Sciences]. 2020, Volume 1. S. 66-70. (In Russ.).
2. 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]. Monograph ; Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "VGLTU". Voronezh, 2021. 203 p. (In Russ.).
3. Jankovsky M., Allman M., Allmanova Z. (et al.) Is timber haulage safe? A ten year study of occupational accidents. *Safety Science* 113, 2019, pp. 154-160. *Bibliogr.: pp. 159-160 (66 titles)*. DOI 10.1016/j.ssci.2018.11.018.
4. Teijo Palander The environment emission efficiency of larger and heavier vehicles – A case study of road transportation in Finnish forest industry. *Journal of Cleaner Production* 155, 2017, pp. 57-62. *Bibliogr.: p. 62 (33 titles)*. DOI 10.1016/j.jclepro.2016.09.095.
5. Ajinkya Mane, Boban Djordjevic, Bidisha Ghosh A data – driven framework for incentivizing fuel-efficient driving behavior in heavy-duty vehicles. *Transportation Research part D* 95, 2021, 102845. 16 p. *Bibliogr.: pp. 15-16 (62 titles)*. DOI 10.1016/j.trd.2021.102845.
6. Lisowski F., Lisowski E. Testing and Fatigue Life Assessment of Timber Truck Stanchions. *Appl. Sci.* 10, 2020, 6134. 11 p. *Bibliogr.: p. 11 (21 titles)*. DOI 10.3390/app1076134.
7. Susnjar M., Horvat D., Pandur Z., Zoric M. Odredivanje osovinskih opterecenja kamionskoga i tegljackoga Skupa za prijevoz drva. *Croat. j. for. eng.* 32, 2011. pp. 379-388. *Bibliogr.: pp. 386-387 (11 titles)*.
8. Brown M., Ghaffariyan M. R. Timber Truck Payload Management with Different In-Forest Weighing Strategies in Australia. *Croat. j. for. eng.* 37, 2016, 1. pp. 131-138. *Bibliogr.: pp. 137-138 (17 titles)*.
9. Trzcinsk G., Sieniawski W., Moskalik T. Effects of Timber Loads on Gross Vehicle Weight. *Folia Forestalia Polonica, series A*, 2013, Vol. 55(4), pp. 159-167. *Bibliogr.: pp. 166-167 (23 titles)*. DOI 10.2478/ffp-2013-0017.
10. Klvac R., Kolarik J., Volna M., Drapela K. Fuel Consumption in Timber Haulage. *Croat. j. for. eng.* 34, 2013, 2, pp. 229-240. *Bibliogr.: pp. 238-239 (14 titles)*.
11. Sosa A., Klvac R., Coates E., Kent T., Devlin G. Improving Log Loading Efficiency for Improved Sustainable Transport within the Irish Forest and Biomass Sectors. *Sustainability*, 2015, 7, pp. 3017-3030. *Bibliogr.: pp. 3028-3030 (34 titles)*. DOI 10.3390/su7033017.
12. Johannes E., Ekman P., Huge-Brodin M., Karlsson M. Sustainable Timber Transport – Economic Aspects of Aerodynamic Reconfiguration. *Sustainability*, 2018, 10, 1965. 18 p. *Bibliogr.: pp. 17-18 (27 titles)*. DOI 10.3390/su10061965.
13. Akay A. E., Ebru Bilici, Inanc Tas, H. Eren Findlik Productivity Analysis of Front-end Loader in Timber Harvesting. *Eur J Forest Eng*, 2020, 6(1), pp. 7-13. *Bibliogr.: p. 13 (11 titles)*. DOI 10.33904/ejfe.713860.
14. Jiale Yi Intelligent recognition-based unloading device design for university container logs. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021 International Conference on Advances in Optics and Computational Science 1865 (2021) 032033. 8 p. *Bibliogr.: p. 8 (4 titles)*. DOI 10.1088/1742-6596/1865/3/032033.
15. Arcego H., Goncalves R. C., Brown R. O. Effect of Log Length on Forestry Loading and Unloading. *Floresta e Ambiente* 2019, 26(2). 6 p. *Bibliogr.: p. 6 (7 titles)*. DOI 10.1590/2179-8087.026917.
16. Smirnov M. Yu. *Racionalnie sposobi i parametri zagruzki avtomobilnih poezdov na vivotke lesomaterialov* [Rational methods and parameters of loading road trains for hauling timber]. Specialty 05.21.01 "Technology and machines for logging and forestry" : dis. ... doct. tech. Sciences: defended 08.22.2011 ; GOU VPO Mari State Technical University. – Yoshkar-Ola, 2011. – 398 p. (In Russ.).
17. Patyakin V. I., Salminen E. O., Bit Yu. A. *Lesoekspluatatsiya* [Forest exploitation]. Textbook for stud. higher. study. establishments. M. : Publishing Center "Academy", 2006. 320 p. ISBN 5-7695-2471-5. (In Russ.).

18. Smirnov M. Yu., Bakulina I. R. *Analiz granic ekonomicheskoi effektivnosti pogruzki, vivozki i vigruzki lesomaterialov zvenyami avtopoezdov* [Analysis of the boundaries of the economic efficiency of loading, hauling and unloading timber by units of road trains]. *Vestnik MarGTU* [Bulletin of MarSTU]. 2011, № 1. S. 39-51. (In Russ.).
19. Kolominova M. V. *Sravnienie effektivnosti tehnologicheskikh processov lesozagotovok po kriteriyam udelnoi energoemkosti i udelnoi trudoemkosti* [Comparison of the efficiency of technological processes of logging according to the criteria of specific energy intensity and specific labor intensity]. *Sistemi. Metodi. Tehnologii* [Systems. Methods. Technologies]. 2016, № 1 (29). S. 104-112. doi: 10.18324/2077-5415-2016-1-104-112 (In Russ.).
20. Patent for invention US 3341221A, IPC B60P 3/41. Hydraulic stake ; Applicant : American Can Co ; Inventors : Kane Eric D., Olson Ole E. – № US 43021765A ; stat. 03.02.1965 ; publ. 12.09.1967.
21. Copyright certificate № 157225 USSR, IPC B62D, B63C. Tipper semi-trailer: No. 795539 / 27-11 : app. 09/18/1962 ; published in the Bulletin of Inventions and Trademarks № 17 for 1963 / V. Ya. Emelianenko, V. V. Komarenko, N. P. Ermakov. (In Russ.).
22. Patent for invention DE 1033135B, IPC B60P 1/48, B60P 3/41, B65G 67/00. Vorrichtung zum Aufladen von Langholz auf Lastkraftwagen und deren Anhaenger ; Applicant : Franz Kaier ; Inventors : Franz Kailer. – № DEK0030199A ; stat. 27.10.1956 ; publ. 26.06.1958.
23. Patent for invention GR 20050100542A, IPC B60P 1/43, B60P 3/40, B62D 33/03. Mechanism for unloading pillars from a trailer ; Applicant : Diamantikos Efthymios ; Inventors : Diamantikos Efthymios. – № GR 20050100542A, stat. 26.10.2005 ; publ. 23.05.2007.
24. Kuvaldin B. I. *Pricepnoi sostav lesovoznih dorog* [Trailer structure of timber roads]. Textbook for universities. 2nd ed. revised Moscow : Lesn. prom-st, 1979. 240 p. (In Russ.).
25. Patent for invention US 3650422A, IPC B60P 3/41, B65G 69/24, B65G 67/12. Side transfer apparatus ; Applicant : Logging systems Inc. ; Inventors : Batson Dossie M. US85459169A ; stat. 02.09.1969 ; publ. 21.03.1972.
26. Patent for invention CA 1083537A, IPC B60P 3/41, B60P 3/00. Method of handling harvested trees ; Applicant : Koehring Canada Ltd ; Inventors : Locker Victor E. № CA 313381A ; stat. 13.10.1978 ; publ. 12.08.1980.
27. Patent for invention US 2540803A, IPC B60P 3/41. Log carries ; Inventors : O'Brien William P., Rouleau Alexander Ronald. № US 7651449A ; stat. 15.02.1949 ; publ. 06.02.1951.
28. Sidelifter. URL : <https://en.wikipedia.org/wiki/Sidelifter/> date of access : 06.07.2021).
29. *Multilift dlya transportirovki lesa: proizvodstvo i prodaja lesovozov i sortimentovozov na shassi samopogruzchikov tipa kryukovoi multilift* [Multilift for timber transportation: production and sale of timber and timber trucks on the chassis of self-loaders of the hook type]. URL: www.euronato.ru/articles/multilift_dlya_transportirovki_lesa_proizvodstvo_i_prodazha_lesovozov_na_shassi_samopogruzchikov_tipa_kryukovoj_multilift/ (date of access : 06.07.2021).
30. Naskovec M. T., Horoshun N. V. *Perspektivi razvitiya konteynernih gruzoperevozok v lesnoi otrasli respubliki Belarus* [Prospects for the development of containerized cargo transportation in the forest industry of the Republic of Belarus]. *Trudi BGTU* [Proceedings of BSTU]. 2021, series 1, № 1. S. 126-131 (in Russ.).
31. Timber trucks General information on timber trucks. URL : https://til.scania.com/groups/bwd/documents/bwm/bwm_0000211_01.pdf. (date of access: 06.07.2021).
32. Westerberg S. Virtual Environment for Teleoperation of Forwarder Crane. Master's Thesis in Computing Science, 20 credits Supervisor at CS-UmU : Niclas Borlin, Examiner : Per Lindstrom, June 5, 2007. 63 p.
33. Ringdahl O. Automation in Forestry – Development of Unmanned Forwarders. PhD Thesis, Department of Computing Science, Umeå University, Sweden, May 2011. 45 p.
34. Posmetev V. I., Nikonov V. O. *Perspektivi ispolzovaniya kolesnih modulei v gruzovih avtomobilyah* [Prospects for the use of wheel modules in trucks]. *Stroitelnie i dorojnie mashini* [Construction and road machines]. 2018. № 10. P. 37-43 (In Russ.).
35. Posmetev V. I., Nikonov V. O., Posmetev V. V. *Ocenka aktualnosti i obosnovanie vibora shemi lesovoznogo avtomobilya s distancionnim upravleniem* [Assessment of the relevance and justification of the choice of the scheme of

a logging vehicle with remote control]. *Lesotekhnicheskii jurnal* [Forestry journal], 2017, Vol. 7, № 1 (25), pp. 211-218 (In Russ.).

Сведения об авторах

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

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

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

Information about the authors

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

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

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

✉ – Для контактов/Corresponding author