



**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ
СХЕМ КОМПОНОВАНИЯ ЛЕСОВОЗНЫХ
АВТОПОЕЗДОВ**

✉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

Посметьев Валерий Иванович

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

Аннотация.

В данной статье рассмотрена актуальность использования для вывозки лесоматериалов лесовозных автопоездов. Приведены существующие схемы компонования лесовозных автопоездов. Выполнен анализ основных преимуществ лесовозных автомобилей-тягачей с прицепами, лесовозных седельных тягачей с полуприцепами, лесовозных тягачей с прицепами-ропусками, а также трехзвенных лесовозных автопоездов. Представлены зависимости изменения грузоподъемностей седельных и прицепных автопоездов от их удельной грузоподъемности. Приведены закономерности изменения удельного объема платформы от грузоподъемностей прицепных и седельных автопоездов. Проанализированы зависимости монтажной длины рамы и удельной площади платформы седельных и прицепных автопоездов от их грузоподъемности. Приведено сравнение показателей эффективности прицепного лесовозного автопоезда и лесовозного автопоезда с ропуском. Показаны закономерности изменения вредных выбросов в

**ANALYSIS OF THE INFLUENCE
EVALUATION OF THE EFFICIENCY
OF THE USE OF EXISTING LAYOUT
DIAGRAM OF WOOD TRUCKS**

✉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

Posmetev Valerii Ivanovich

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

Annotation.

This article discusses the relevance of using timber trucks for the removal of timber. The existing schemes for the layout of timber road trains are given. The analysis of the main advantages of logging trucks with trailers, logging truck tractors with semi-trailers, logging trucks with drop trailers, as well as three-link logging road trains is carried out. The dependences of changes in the load capacities of saddle and trailer road trains on their specific load capacity are presented. The regularities of changes in the specific volume of the platform from the carrying capacities of trailer and saddle road trains are given. The dependences of the mounting length of the frame and the specific area of the platform of saddle and trailer road trains on their carrying capacity are analyzed. A comparison of the efficiency indicators of a trailer logging road train and a logging road train with dissolution is given. The patterns of changes in harmful emissions into the environment during a given period of time

окружающую среду в течение заданного периода времени большегрузными многозвенными лесовозными автопоездами. Рассмотрена технико-экономическая эффективность вывозки лесоматериалов одинаковой партии различными по компонованию лесовозными автопоездами. Проанализированы закономерности производительности трехзвенных и двухзвенных автопоездов от допустимой скорости их движения, а также закономерности изменения их топливной характеристики при движении по дорогам переменного продольного профиля.

Ключевые слова: ЛЕСОВОЗНЫЙ АВТОПОЕЗД, КОМПОНОВАНИЕ, ПРИЦЕП, ПОЛУПРИЦЕП, ПРИЦЕП-РОСПУСК, ВЫВОЗКА ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ, ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ.

by heavy-duty multilink timber haulers are shown. The technical and economic efficiency of hauling timber of the same batch by different configurations of timber road trains is considered. The regularities of the performance of three-link and two-link road trains from the permissible speed of their movement, as well as the regularities of changes in their fuel characteristics when driving on roads of a variable longitudinal profile, are analyzed.

Keywords: LOGGING ROAD TRAIN, LAYOUT, TRAILER, SEMI-TRAILER, DISSOLUTION TRAILER, TIMBER HAULING, EFFICIENCY, LOGGING COMPANY.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Широкая номенклатура видов и форм заготавливаемой и вывозимой древесины, обширный диапазон их массово-габаритных параметров, множество условий эксплуатации (климат, рельеф местности, обустроенность лесовозных дорог и т.п.), специфические особенности лесозаготовительного производства, различный экономический потенциал отдельных районов, технологии процессов транспортирования, конструктивные особенности автомобилей, обуславливают необходимость применения при вывозке лесоматериалов различных по компонованию лесовозных автопоездов, обеспечивающих в заданных условиях транспортирования за счет полного использования своих эксплуатационных параметров повышение производительности лесозаготовительных предприятий [1].

Рациональный выбор лесовозных автопоездов требуемого компонования оказывает значительное влияние на эффективность процесса вывозки лесоматериалов, и, как следствие на производительность функционирования лесозаготовительных предприятий. В настоящее время отечественными и зарубежными автомобильными заводами освоен выпуск различных модификаций лесовозных автопоездов, отличающихся между собой множеством параметров. Модельный ряд таких лесовозных автопоездов с каждым годом интенсивно обновляется. Для комплектования лесовозных автопоездов создаются прицепы, полуприцепы, прицепы-ропуски с различными характеристиками. Кроме этого, значительная разбросанность погрузочных пунктов, усложняющая организацию погрузочных работ, возрастание объемов заготовки и вывозки лесоматериалов привели к существенному росту производства гидравлических манипуляторов, устанавливаемых для самопогрузки лесовозных автопоездов. Целью данной работы является оценка эффективности задействованных в процессе вывозки лесоматериалов лесовозных автопоездов различного компонования.

2 Материалы и методы

В представленной статье выполнен анализ эмпирических исследований российских и зарубежных ученых, область интересов которых связана с повышением эффективности лесовозных автопоездов различного компонования. Поиск научной литературы осуществлялся в открытых источниках сети интернет: eLIBRARY.RU, Web of Science, Google Scholar, MDPI PГБ,

Scopus и др. В качестве научной литературы использовались статьи на русском и английском языках, а также монографии. Основными ключевыми словами при осуществлении поиска научной литературы являлись: лесовозный автопоезд, компонование, прицеп, полуприцеп, прицеп-ропуск, вывозка лесоматериалов, эффективность, лесозаготовительное предприятие.

3 Результаты исследований

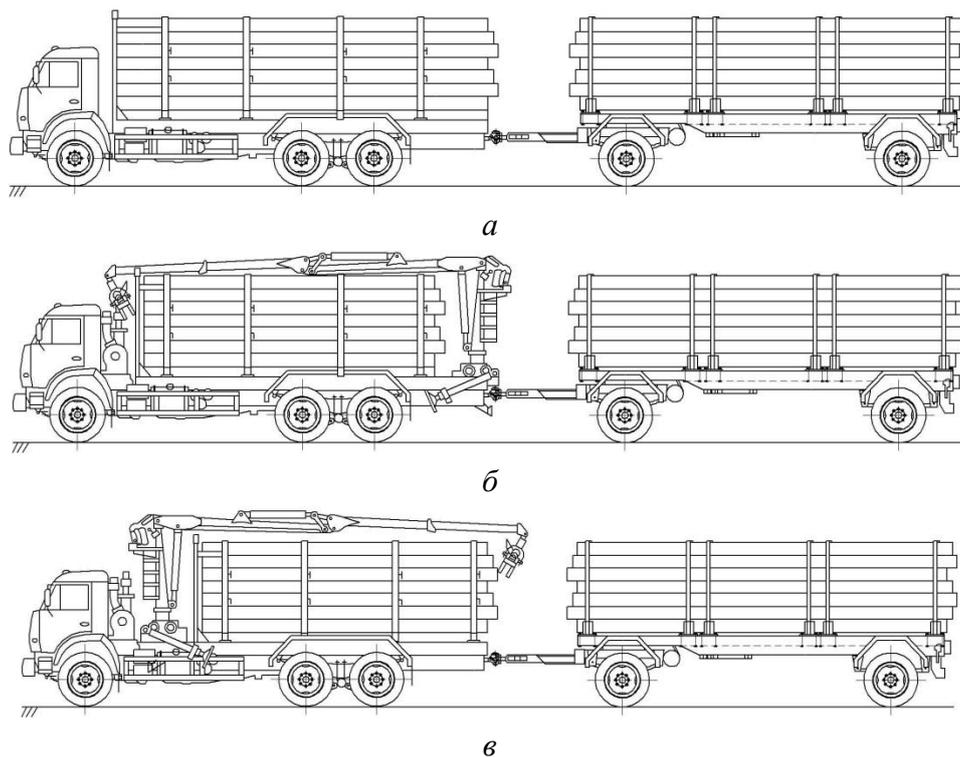
Отсутствие необходимых по протяженности лесовозных дорог хорошего качества ограничивает стабильность функционирования лесовозных автопоездов и лесозаготовительных предприятий в целом. Это связано с тем, что компонование лесовозных автопоездов и типы дорожного покрытия лесовозных дорог взаимосвязаны. Их выбор необходимо осуществлять с учетом грузоподъемности лесовозного автопоезда, его осевой нагрузки, срока действия лесовозной дороги, годового грузооборота, а также условий дорожного строительства. Все существующие лесовозные автопоезда можно классифицировать в соответствии со схемой, представленной на рисунке 1.



ЛАТ – лесовозный автомобиль-тягач; П – прицеп; ЛСТ – лесовозный седельный тягач;
 ПП – полуприцеп; ЛТ – лесовозный тягач; ПР – прицеп-ропуск

Рисунок 1 – Классификация компонования автопоездов, задействованных в процессе вывозки лесоматериалов

К первой группе двухзвенных лесовозных автопоездов относится автопоезд, состоящий из лесовозного автомобиля-тягача с прицепом (рис. 2). Рассматриваемый вариант компонования лесовозного автопоезда обладает значительными преимуществами перед одиночным лесовозным автомобилем, задействованным в процессе вывозки лесоматериалов. Так, использование прицепов позволяет без усложнения конструкции значительно увеличить за счет более равномерного распределения нагрузки на оси вместимость и грузоподъемность транспортного средства, а также эффективнее использовать в работе мощность двигателя лесовозного автомобиля-тягача. Отсутствие в прицепе сложных по конструкции агрегатов и систем в сравнении с одиночными лесовозными автомобилями равной грузоподъемности способствует увеличению надежности, снижению стоимости их изготовления, сокращению затрат на ремонт и техническое обслуживание. Лесовозный автомобиль-тягач с прицепом обладает таким важным эксплуатационным свойством, как делимость, которая дает возможность задействовать в технологическом процессе один лесовозный автомобиль-тягач с несколькими прицепами. Это дает возможность такому автопоезду в зависимости от обустроенности лесовозных дорог, объемов вывозимых лесоматериалов, оптимальности маршрута движения значительно повысить производительность процесса вывозки, свести к минимуму время простоев при погрузке и разгрузке лесоматериалов. Обладая рассмотренными преимуществами перед одиночными лесовозными автомобилями равной грузоподъемности, при-

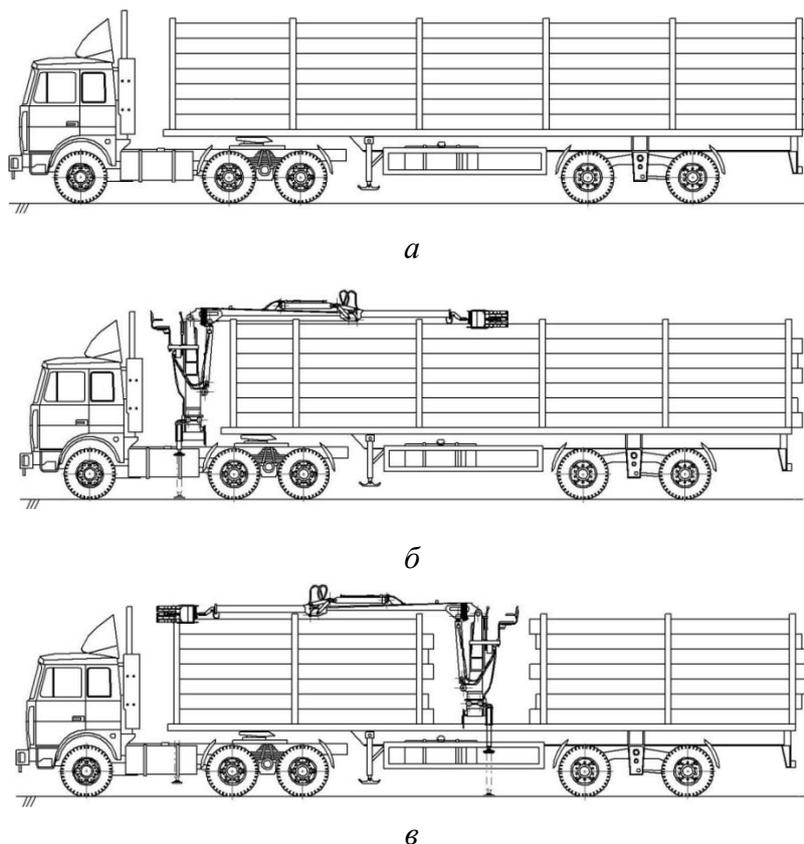


а – без гидроманипулятора; *б, в* – с различным расположением гидроманипулятора на раме лесовозного автомобиля

Рисунок 2 – Схемы лесовозных автомобилей с прицепами

менение лесовозных автомобилей-тягачей с прицепами позволяет существенно повысить показатели эффективности функционирования лесозаготовительных предприятий. Повышение достигается за счет сокращения требуемого количества водителей, задействованных в процессе вывозки лесоматериалов, сокращения на 30-40 % расходуемого топлива на одну тонну транспортируемых лесоматериалов, и, как следствие, снижения на 20-30 % конечной стоимости вывозимых потребителям лесоматериалов [2-8].

Ко второй группе двухзвенных лесовозных автопоездов относится автопоезд, состоящий из лесовозного седельного тягача с полуприцепом (рис. 3). Такое компонование имеет ряд преимуществ перед одиночными лесовозными автомобилями и лесовозными автомобилями-тягачами с прицепами. Использование таких автопоездов дает возможность повысить грузоподъемность и грузоместимость, уменьшить при равной грузоподъемности габаритную длину автопоезда в сравнении с лесовозным автомобилем-тягачом с прицепом, оказывающую положительное влияние на маневренность, а также размещение автопоезда на стоянке. Такие автопоезда оказывают меньшее негативное влияние на опорную поверхность лесовозной дороги за счет более равномерного распределения общей массы лесоматериалов между осями лесовозного седельного тягача и полуприцепа. Это в свою очередь способствует повышению срока службы лесовозной дороги, снижению затрат на поддержание ее в работоспособном состоянии. Более равномерное распределение массы лесоматериалов по осям автопоезда повышает его устойчивость при движении по недостаточно обустроенным лесовозным дорогам, способствует росту допустимых скоростей, и, как следствие, сводит к минимуму возникновение аварийных ситуаций на дороге. Применение автопоездов рассматриваемого компонования в сравнении с одиночными лесовозными автомобилями, позволяет за счет увеличения в 2-3 раза объема вывозимых лесоматериалов и снижения расхода топлива



а – без гидроманипулятора; *б* – с гидроманипулятором, расположенным на раме седельного тягача; *в* – с гидроманипулятором, расположенным на раме полуприцепа

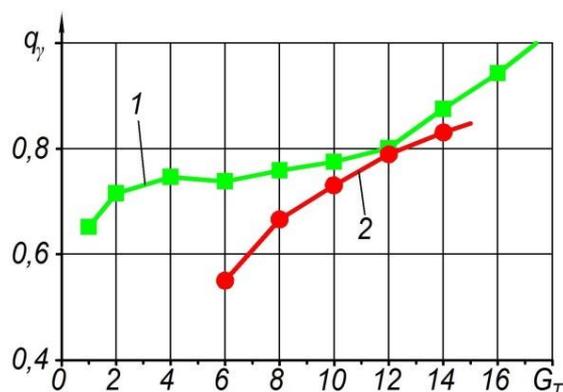
Рисунок 3 – Схемы лесовозных тягачей с полуприцепами

на 28-40 % повысить производительность автопоезда на 40-50 %, а также сократить на 30-35 % стоимость вывозимых лесоматериалов потребителям. Кроме этого, такой лесовозный автопоезд, как и лесовозный автомобиль-тягач с прицепом дает возможность сократить количество задействованных в процессе вывозки лесоматериалов водителей, а также обладает важным эксплуатационным свойством – делимостью.

Вывозка лесоматериалов седельными автопоездами, имеющими в своем составе полуприцепы способствует сокращению времени пребывания автопоезда в пунктах погрузки и разгрузки лесоматериалов, увеличению коэффициента пробега, снижению затрат на поддержание автопарка в работоспособном состоянии, уменьшению расходов на строительство зон хранения. Лесовозные седельные тягачи с полуприцепами в сравнении с лесовозными автомобилями-тягачами с прицепами обладают меньшим коэффициентом металлоемкости за счет более простой конструкции, менее подвержены влиянию при движении по недостаточно обустроенным лесовозным дорогам, обладают более высокими скоростями движения при одинаковых полных массах и при аналогичных характеристиках трансмиссий и двигателей, характеризуются меньшей на 25-35 % потребной мощностью двигателя. Кроме этого, такие автопоезда отличаются лучшей устойчивостью при неустановившихся режимах движения по недостаточно обустроенным лесовозным дорогам. Повышение устойчивости достигается за счет значительно меньших боковых и вертикальных ускорений в полуприцепе с лесоматериалами при движении в сравнении с аналогичными ускорениями в прицепе [9-14].

Из графика, представленного на рисунке 4 видно, что удельная грузоподъемность

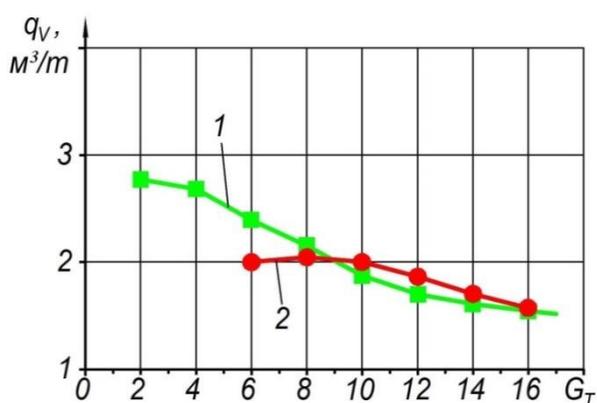
седельных автопоездов ниже, чем прицепных. Это объясняется тем, что седельный автопоезд, имея более длинную раму в сравнении с прицепным автопоездом, воспринимает большую силовую напряженность несущих элементов. С точки зрения металлоемкости конструкции, применение седельных автопоездов грузоподъемностью ниже 6-8 тонн нецелесообразно. Аналогичных ограничений по грузоподъемности для прицепных автопоездов не установлено. Это обосновывается их более высокой удельной грузоподъемностью, которая оправдывает их использование во всем диапазоне возможных грузоподъемностей прицепных автопоездов (рис. 4) [15].



1 – прицепной и 2 – седельный автопоезда, функционирующие в трудных дорожных и природно-климатических условиях

Рисунок 4 – Зависимость изменения грузоподъемности автопоездов от их удельной грузоподъемности

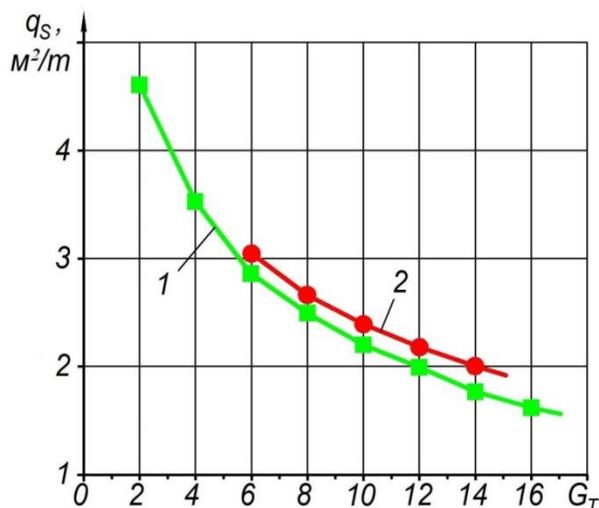
На прицепных и седельных автопоездах, функционирующих в трудных дорожных и природно-климатических условиях, в соответствии с зависимостью, приведенной на рисунке 5, минимальное значение удельного объема платформы прицепного и седельного автопоездов обеспечено при грузоподъемности 16-18 т.



1 – прицепной и 2 – седельный автопоезда, функционирующие в трудных дорожных и природно-климатических условиях

Рисунок 5 – Зависимость удельного объема платформы от грузоподъемности

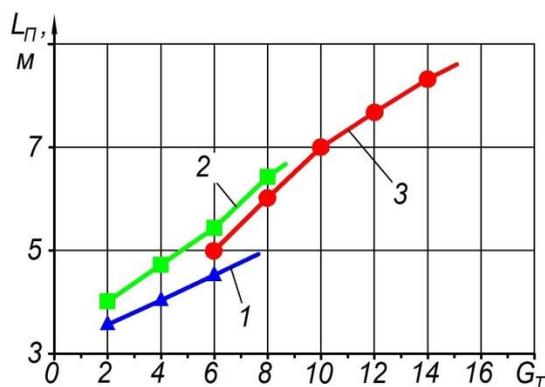
С ростом грузоподъемности прицепных и седельных автопоездов, значение удельной площади платформы уменьшается. Значение удельной площади платформы у седельных автопоездов немного выше, чем у прицепных (рис. 6).



1 – прицепной и 2 – седельный автопоезда, функционирующие в трудных дорожных и природно-климатических условиях

Рисунок 6 – Зависимость удельной площади платформы от грузоподъемности

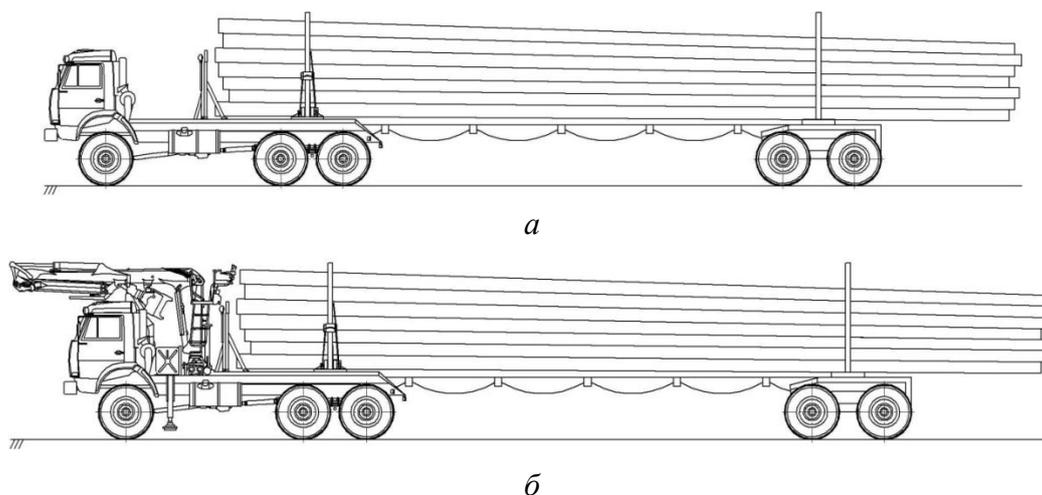
На рисунке 7 представлена зависимость монтажной длины рамы одиночного автомобиля, прицепов и полуприцепов автопоездов от грузоподъемности. Установлено, что при одинаковой грузоподъемности, значение монтажной длины рамы прицепа или полуприцепа существенно больше, в сравнении с одиночным грузовым автомобилем. Седельный автопоезд является более компактным и маневренным, чем прицепной автопоезд с трехосным прицепом [15].



1 – одиночный автомобиль, 2 – прицепной и 3 – седельный автопоезда, функционирующие в трудных дорожных и природно-климатических условиях

Рисунок 7 – Зависимость монтажной длины рамы от грузоподъемности

К третьей группе двухзвенных лесовозных автопоездов относится автопоезд, состоящий из лесовозного тягача с прицепом-ропуском (рис. 8). Данный автопоезд в большинстве случаев используется только для вывозки длинномерных лесоматериалов. Производительность таких автопоездов за счет увеличения грузоподъемности и грузоподъемности в 1,5-2 раза больше производительности одиночных лесовозных автомобилей, эксплуатируемых в одинаковых дорожных и природно-климатических условиях. Сменная же выработка при одинаковом среднем расстоянии вывозки лесоматериалов почти в 2,5 раза превосходит одиночные лесовозные автомобили. Такие автопоезда позволяют за счет увеличения на 112 % часовой транспортной работы сократить на 33 % расход топлива, приходящийся на единицу



а – без гидроманипулятора; *б* – с гидроманипулятором, установленным на раме лесовозного тягача

Рисунок 8 – Схема лесовозных тягачей с прицепами-ропусками

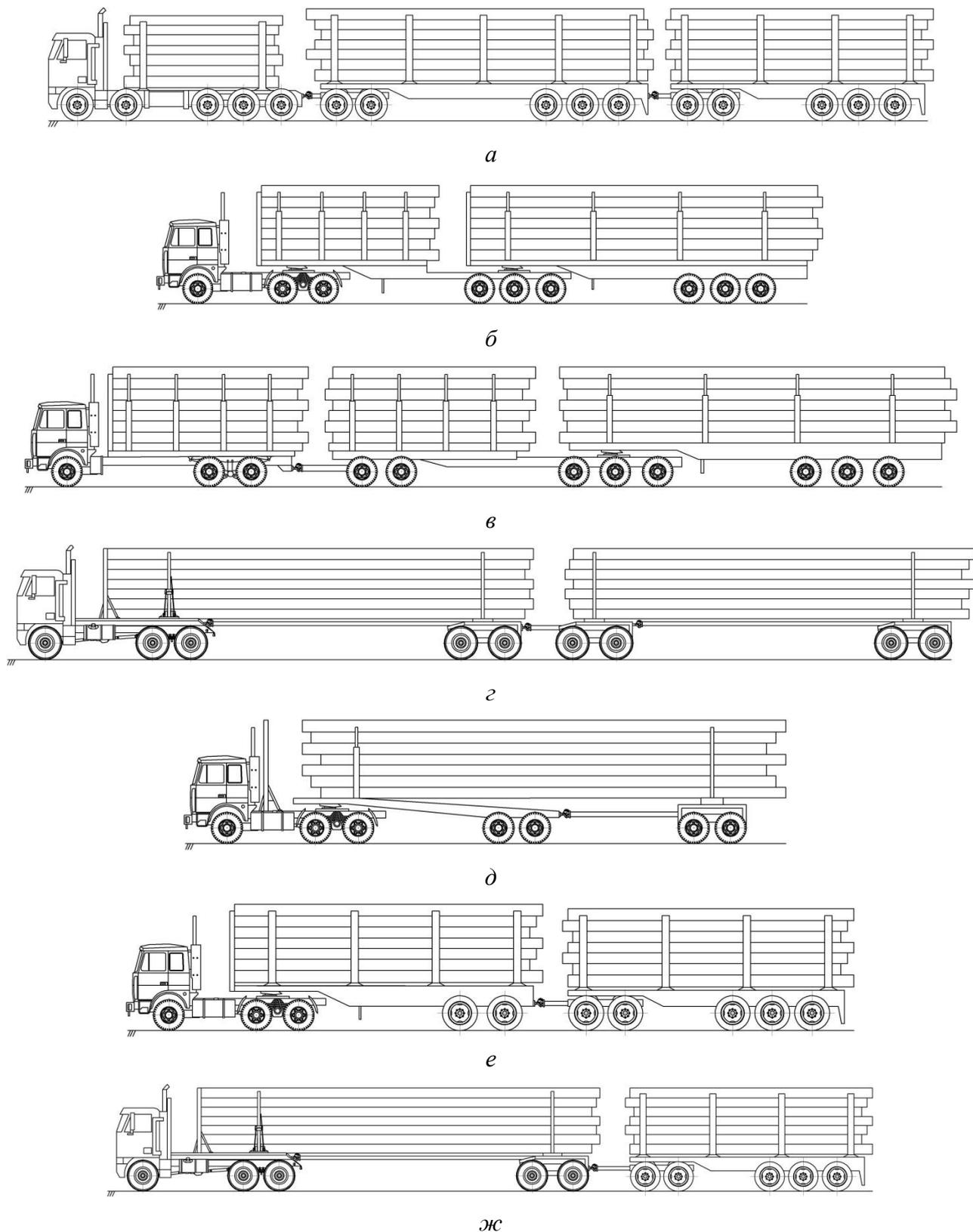
объема вывозимых лесоматериалов. На такой автопоезд рассматриваемого компонования в сравнении с двумя одиночными лесовозными автомобилями расходуется значительно меньше денежных средств при осуществлении технического обслуживания и ремонта. Сменная выработка лесовозного тягача с прицепом-ропуском в сравнении с лесовозным автомобилем-тягачом с двухосным прицепом при одинаковом среднем расстоянии вывозки лесоматериалов на 26 % выше, часовая же транспортная работа рассматриваемого автопоезда на 32 % выше, а расход топлива на единицу объема вывозимых лесоматериалов ниже на 17 % [16-21].

В работе Пикушова А.Н. и др. установлено, что при почти одинаковом среднем расстоянии вывозки лесоматериалов, сменная выработка лесовозных автопоездов с ропусками на 26 % выше, чем лесовозных автопоездов с двухосными прицепами. При незначительном снижении среднетехнической скорости движения, часовая транспортная работа лесовозных автопоездов с ропусками на 32 % выше, чем лесовозных автопоездов в составе лесовозного тягача с двухосным прицепом. Расход топлива, приходящийся на единицу объема вывезенных лесоматериалов ниже на 17 % (табл. 1) [22].

Таблица 1 – Сравнительные показатели эксплуатации лесовозных автопоездов

Наименование показателя	Тип лесовозного автопоезда	
	МАЗ-501 + 2Р-15Т	МАЗ-501 + прицеп
Среднее расстояние вывозки, км	33	34
Сменная выработка, м ³	20,8	16,5
Средняя техническая скорость, км/ч:		
	с лесоматериалами	15,7
без лесоматериалов	20	22,4
Часовая транспортная работа, м ³ · км	272	205
Расход топлива в литрах на 1 м ³ · км	0,082	0,099

Лесовозные автопоезда, включающие в свой состав более двух звеньев нашли широкое применение в таких зарубежных странах, как Швеция, США, Бразилия, Австралия, Канада (рис. 9). В зависимости от транспортного законодательства, особенностей развития автомобильного транспорта и условий эксплуатации, конструктивные параметры многозвенных автопоездов в разных странах отличаются друг от друга. Так, использование таких лесовозных автопоездов в России на дорогах общего пользования сдерживается действующими правилами, ограничивающими максимальную длину лесовозного автопоезда на уровне не более 20 метров.



а – лесовозный автомобиль-тягач с двумя прицепами; *б* – лесовозный автомобиль-тягач с прицепом и полуприцепом; *в* – седельный лесовозный тягач с двумя полуприцепами; *г* – лесовозный тягач с тремя прицепами-ропусками; *д* – лесовозный автомобиль-тягач с полуприцепом и прицепом-ропуском; *е* – лесовозный автомобиль-тягач с полуприцепом и прицепом; *ж* – лесовозный автомобиль тягач с прицепом-ропуском и прицепом

Рисунок 9 – Схемы многосвязных лесовозных автопоездов

Применение многозвенных автопоездов в процессе вывозки лесоматериалов позволяет в определенных условиях эксплуатации значительно повысить их эффективность при увеличении производительности и снижении себестоимости перевозок. Этому способствуют преимущества многозвенных лесовозных автопоездов перед двухзвенными и одиночными лесовозными автомобилями одинаковой суммарной грузоподъемности. Среди них, наиболее значимыми являются [23-26]:

- увеличение длины лесовозного автопоезда за счет большого количества осей позволяет сохранить стандартные нагрузки на каждую из них, и, как следствие улучшить несущую способность, поднять разрешенную полную массу автопоезда, полезный объем при перевозке лесоматериалов, уменьшить износ и повреждение дорожного полотна лесовозной дороги, сократить затраты на ремонт и содержание дорог, а также снизить инвестиционные вложения в лесовозные тягачи;

- использование многозвенных лесовозных автопоездов позволяет обойтись существенно меньшим парком автопоездов, формировать лесовозные автопоезда заданной грузоподъемности из имеющегося в наличии подвижного состава без значительного изменения их конструкции, снизить удельные расходы топлива и других эксплуатационных материалов, расходы на техническое обслуживание и текущий ремонт, сократить количество задействованных в процессе вывозки лесоматериалов водителей и в процессе ремонта рабочих, понизить тем самым расходы на их социальные выплаты;

- применение многозвенных автопоездов обладает легкостью разделения вывозимых лесоматериалов без перегрузки, при необходимости доставки лесоматериалов нескольким потребителям, позволяет сократить число зон хранения подвижного состава, дает возможность использования прицепного состава в качестве временного склада, а также освобождает лесовозный автомобиль-тягач от погрузочно-разгрузочных работ;

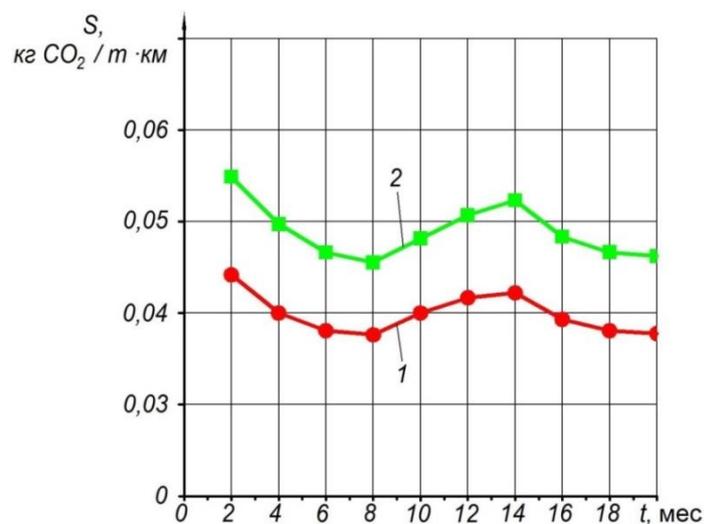
- использование многозвенных лесовозных автопоездов позволяет в сравнении с двухзвенными автопоездами занимать на лесовозной дороге меньше места, снизить выбросы углекислого газа, а также сократить затраты на логистику за счет высокого уровня организации процесса вывозки лесоматериалов при гибком и оперативном управлении парком лесовозных автопоездов, зависящем от дорожных и природно-климатических условий, а также использования передовых методов транспортирования грузов;

- переход лесозаготовительных предприятий на многозвенные лесовозные автопоезда дает возможность улучшить их конкурентоспособность за счет значительного сокращения конечной себестоимости вывозимых лесоматериалов потребителям.

Не смотря на это, практическое использование таких автопоездов способствует снижению ресурса лесовозного автомобиля-тягача, увеличению аварийности на дорогах, из-за их низких тягово-скоростных и тормозных свойств автопоезда, невысокой устойчивости во время движения, недостаточной управляемости, маневренности, а также проходимости. При движении по криволинейной траектории происходит относительный сдвиг траекторий прицепных звеньев, что увеличивает необходимую для маневра ширину проезжей части. В этой связи в большинстве случаев требуется вложение дополнительных инвестиций в расширение и усиление лесовозных дорог.

В работе С. Löfroth установлено, что два 90 тонных лесовозных автомобиля-тягача с двумя полуприцепами не уступают по своей производительности трем 60 тонным лесовозным автомобилям-тягачам с одним полуприцепом. Расход дизельного топлива, приходящийся на единицу объема вывозимых лесоматериалов трехзвенным лесовозным автопоездом на 22 % ниже двухзвенного. Транспортные расходы, затрачиваемые на эксплуатацию трехзвенных лесовозных автопоездов на 20 % ниже расходов, затрачиваемых на эксплуатацию двухзвенных лесовозных автопоездов. Зависимости изменения выбросов CO₂ в процессе эксплуатации исследуемых лесовозных автопоездов представлены на рисунке 10 [27].

В своей работе Высоцкий М.С. предлагает осуществлять оценку технико-экономической эффективности автопоездов, различного компонования на основе сравнения



1 – 90 тонный трехзвенный лесовозный автопоезд;
2 – 60 тонный двухзвенный лесовозный автопоезд

Рисунок 10 – Зависимости изменения выбросов CO₂ при вывозке лесоматериалов лесовозными автопоездами в течение 1,5 лет

их мощностного баланса с мощностным балансом традиционных седельных тягачей с полуприцепами. Для этого используется следующая зависимость [28]:

$$N_K = N_f + N_i + N_j + N_a + N_g,$$

где N_f, N_i – сопротивление качению и подъема; N_a, N_j – аэродинамическое и сопротивление на увеличение кинетической энергии поступательно движущейся массы; N_g – сопротивление на буксование ведущих колес.

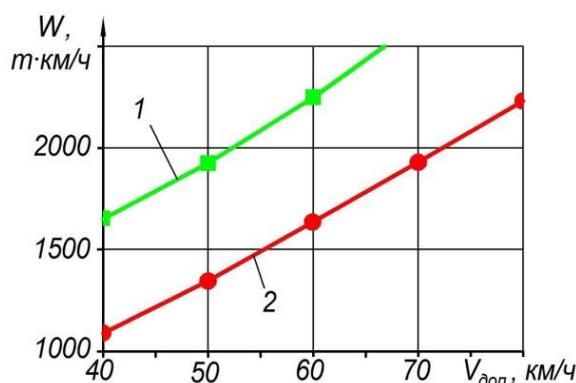
В его работе установлено, что трехзвенный автопоезд, в сравнение с тремя традиционными седельными тягачами с полуприцепами затрачивает на аэродинамическое сопротивление в 2,14 раза меньше мощности. У такого трехзвенного автопоезда значительно меньший расход топлива и более высокая производительность. В таблице 2 показано, что с увеличением полной массы авто-

Таблица 2 – Техничко-экономическая эффективность вывозки лесоматериалов одинаковой партии различными по компонованию лесовозными автопоездами

Полная масса ЛА, т	Кол-во ЛА	Требуемая длина ЛД, м	Расход топлива, л / 1000 т · км
127	1	85	6,5
60	2	130	16
40	3	172	19

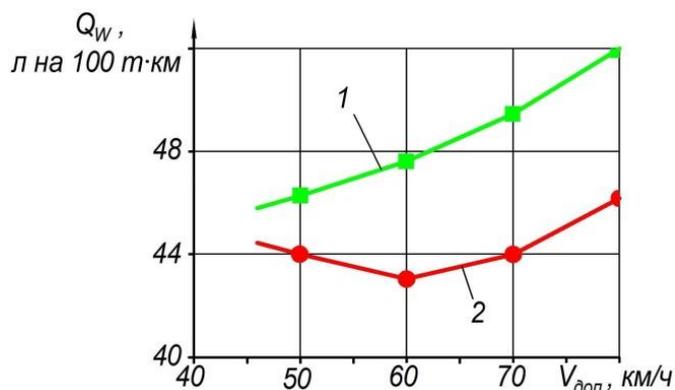
поезда происходит рост экономической эффективности транспортирования грузов, сокращение занимаемой автопоездами, с учетом безопасной дистанции длины дороги.

Фаробин Я.Е. в своей работе установил, что повышение полной массы автопоездов на 44-48 % приводит к снижению: максимальной скорости на 10 %, условной максимальной скорости на 12-13 %, увеличению времени разгона на пути 400 и 1000 м соответственно на 12-13 % и 14-15 % до скорости 60 км/ч – 42 % и 65 % соответственно. Эксплуатация трехзвенных автопоездов с повышенной полной массой эффективна в условиях минимального количества остановок. На рисунке 11 приведена зависимость производительности от допустимой скорости движения, из которой следует, что, несмотря на снижение средних скоростей движения трехзвенных автопоездов, их производительность существенно выше, чем у двухзвенных с аналогичными автомобилями тягачами. На рисунке 12 представлена топливная характеристика автопоездов, из которой видно, что удельный расход топлива трехзвенного автопоезда уменьшается на 20-25 % по сравнению с удельным расходом топлива двухзвенного автопоезда [29].



1 – МАЗ-64221 + 93971 + 8378; 2 – МАЗ-64221 + 93971

Рисунок 11 – Зависимость производительности автопоездов от допустимой скорости движения



1 – КАМАЗ-5410 + ОДАЗ-9370; 2 – КАМАЗ-5410 + ОДАЗ-9370 + ГКБ-8350

Рисунок 12 – Топливная характеристика автопоездов при движении по дороге переменного продольного профиля

4 Обсуждение и заключение

Выполненный анализ результатов исследований российских и зарубежных ученых, область интересов которых связана с повышением эффективности двухзвенных и многозвенных автопоездов различного компонования, позволяет заключить, что: удельная грузоподъемность седельных автопоездов ниже, чем прицепных; минимальное значение удель-

ного объема платформы у седельных автопоездов немного выше, чем у прицепных; с ростом грузоподъемности прицепных и седельных автопоездов, значение удельной площади платформы уменьшается; при одинаковой грузоподъемности, значение монтажной длины рамы прицепа или полуприцепа существенно больше, в сравнении с одиночным грузовым автомобилем; седельный автопоезд является более компактным и маневренным, чем прицепной автопоезд с трехосным прицепом; трехзвенный автопоезд, в сравнении с тремя традиционными седельными тягачами с полуприцепами обладает меньшим расходом топлива и более высокой производительностью; с увеличением полной массы автопоезда происходит рост экономической эффективности транспортирования лесоматериалов, а также сокращение занимаемой автопоездом, с учетом безопасной дистанции длины дороги; эксплуатация трехзвенных автопоездов с повышенной полной массой эффективна в условиях минимального количества остановок.

Для дальнейшей наиболее полной оценки эффективности рассмотренных выше лесовозных автопоездов различного компонования, требуется выполнить анализ влияния на эксплуатационные свойства автопоездов наличия в их конструкциях недостаточно совершенных тягово-сцепных, седельно-сцепных, поворотных кониковых устройств, подвесок, а также гидравлического технологического оборудования. Это позволит выявить наиболее важные эксплуатационные показатели, оказывающие наибольшее влияние на эффективность процесса вывозки лесоматериалов лесовозными автопоездами, а также выделить на основании этого возможные направления развития лесовозных автопоездов, реализуемых при проектировании, производстве и эксплуатации их новых моделей.

Список литературы

1 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.).

2 Посметьев, В. И. Повышение эффективности лесовозного автопоезда путем использования рекуперативного пневмо-гидравлического сцепного устройства / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, И. В. Сизьмин // Воронежский научно-технический вестник. – 2021. – Т. 4, № 4 (38). – С. 70-85. Режим доступа : <http://vestnikvglta.ru/arhiv/2021/4-4-38-2021/70-85.pdf> – Загл. с экрана. – *Библиогр.* : с. 81-85 (28 назв.). – DOI: 10.34220/2311-8873-2022-70-85.

3 Marijan Susnjar Axle Load Determination of Truck with Trailer and Truck with Semitrailer for Wood Transportation / Šušnjar Marijan, Horvat Dubravko, Pandur Zdravko, Zorić, Marko // Croatian journal of forest engineering (1845-5719) 32 (2011), 1 379-388. – *Bibliogr.* : pp. 386-387. (11 titles).

4 Zdravko Pandur Energy Efficiency of Timber Transport by Trucks on Hilly and Mountainous Forest Roads / Zdravko Pandur, Hrvoje Nevečerel, Marijan Šušnjar, Marin Bačić, Krno Lepoglavec // Forestist, August 27, 2021. – *Bibliogr.* : pp. 9-10. (31 titles). – DOI 10.5152/forestist.2021.21012.

5 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) 1. pp. 131-138. – *Bibliogr.* : pp. 137-138. (17 titles).

6 R. Mousavi1 Time consumption and productivity analysis of timber trucking using two kinds of trucks in northern Iran / R. Mousavi, R. Naghdi // J. FOR. SCI., 59, 2013 (5) : 211-221. – *Bibliogr.* : pp. 220-221. (22 titles).

7 Anttila P., Nummelin T., Väättäinen K., Juha Laitila J. (2020). The effect of winter weather on timber truck tare weights. *Silva Fennica* vol. 54 no. 4 article id 10385. 16 p. – *Bibliogr.* : pp. 14-16. (24 titles). – DOI 10.14214/sf.10385.

8 Marko Zorić Fuel consumption and greenhouse gas emission in timber haulage in croatian forestry / Marko Zorić, Marijan Šušnjar, Zdravko Pandur, Kristijan Mihaljević // *Nova meh. šumar.* 35(2014). – pp. 89-97. – *Bibliogr.* : pp. 96. (22 titles).

9 Посметьев, В. И. Оценка актуальности использования в конструкции лесовозного тягача с полуприцепом рекуперативного пневмогидравлического седельно-сцепного устройства / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, А. В. Авдюхин // Воронежский научно-технический вестник. – 2021. – Т. 3, № 3 (37). – С. 76-94. Режим доступа : <http://vestnikvglta.ru/arhiv/2021/3-3-37-2021/76-94.pdf> – Загл. с экрана. – *Библиогр.* : с. 76-94 (32 назв.). – DOI: 10.34220/2311-8873-2022-76-94.

10 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.

11 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).

12 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.

13 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).

14 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.

15 Павлов В. А., Муханов С. А. Транспортные прицепы и полуприцепы. – М. : Воениздат, 1981. – 191 с. – *Библиогр.* : с. 189 (11 назв.).

16 Посметьев, В. И. Актуальность разработки и использования в конструкции лесовозного автопоезда рекуперативного пружинно-гидравлического коникового устройства / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, А. Е. Матяшов // Воронежский научно-технический вестник. – 2021. – Т. 3, № 3 (37). – С. 102-116. Режим доступа : <http://vestnikvglta.ru/arhiv/2021/3-3-37-2021/102-116.pdf> – Загл. с экрана. – *Библиогр.* : с. 102-116 (25 назв.). – DOI 10.34220/2311-8873-2022-102-116.

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

18 Joseph L. Conrad IV Costs and Challenges of Log Truck Transportation in Georgia,

USA. Forests 2018, 9, 650 – 14 p. – *Bibliogr.* : pp. 12-14 (31 titles). – DOI 10.3390/f9100650.

19 Michal Allman Operational Parameters of Logging Trucks Working in Mountainous Terrains of the western Carpathians / Michal Allman, Zuzana Dudakova, Martin Jankovsky, Jan Merganic // Forests 2021, 12, 718 – 13 p. – *Bibliogr.* : pp. 12-13 (27 titles). – DOI 10.3390/f12060718.

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

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

22 Пикушов, А. Н. Горные автопоезда / А. Н. Пикушов, Н. Я. Кудряшов, В. Г. Жидков // Лесная промышленность, Москва, № 12, 1963. – С. 6-7.

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

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

25 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.

26 Teijo Palander The environmental emission efficiency of larger and heavier vehicles – A case study of road transportation in Finnish forest industry / Teijo Palander // Journal of Cleaner Production 155 (2017) 57-62. – *Bibliogr.* : pp. 62. (32 titles). – DOI 10.1016/j.jclepro.2016.09.095.

27 C. Löfroth Ett – a modular system for forest transport a three-year roundwood haulage test in Sweden / C. Löfroth, Lena Larsson, J. Enström, G. Svenson, J. Aurell // Setting future standards : international symposium on heavy vehicle transport technology – HVTT12 : Stockholm, Sweden, 16-19 September 2012. – 18 p. – *Bibliogr.* : pp. 17. (14 titles).

28 Высоцкий, М. С. Основы проектирования модульных магистральных автопоездов / М. С. Высоцкий, С. И. Кочетов, С. В. Харитончик. – Минск : Беларус. Навуки, 2011. – 392 с. – *Библиогр.* : с. 323-332 (128 назв.).

29 Трехзвенные автопоезда / Я. Е. Фаробин, А. М. Якобашвили, А. М. Иванов и др. Под общ. Ред. Я. Е. Фаробина – Машиностроение, 1993. – 224 с. – *Библиогр.* : с. 223 (13 назв.).

References

1 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.).

2 Posmetev V. I., Nikonov V. O., Sizmin I. V. *Povishenie effektivnosti lesovoznogo avtopoezda putem ispolzovaniya rekuperativnogo pnevmo-gidravlicheskogo scepного устройства*

[Improving the efficiency of a timber road train by using a recuperative pneumatic-hydraulic coupling device]. Voronezh Scientific and Technical Bulletin. – 2021. – Vol. 4, № 4 (38). – S. 70-85. Access mode : <http://vestnikvglta.ru/arhiv/2021/4-4-38-2021/70-85.pdf> – Head. from the screen : doi : 10.34220/2311-8873-2022-70-85. (In Russ.).

3 Šušnjar Marijan, Horvat Dubravko, Pandur Zdravko, Zorić, Marko Axle Load Determination of Truck with Trailer and Truck with Semitrailer for Wood Transportation. Croatian journal of forest engineering (1845-5719) 32 (2011), 1 379-388.

4 Zdravko Pandur, Hrvoje Nevečerel, Marijan Šušnjar, Marin Bačić, Kruno Lepoglavec Energy Efficiency of Timber Transport by Trucks on Hilly and Mountainous Forest Roads. Forestist, August 27, 2021 : doi : 10.5152/forestist.2021.21012.

5 Mark Brown, Mohammad Reza Ghaffariyan Timber Truck Payload Management with Different In-Forest Weighing Strategies in Australia. Croat. j. for. eng. 37 (2016) 1. pp. 131-138.

6 R. Mousavi, R. Naghdi Time consumption and productivity analysis of timber trucking using two kinds of trucks in northern Iran. J. FOR. SCI., 59, 2013 (5) : 211-221.

7 Anttila P., Nummelin T., Väätäinen K., Juha Laitila J. The effect of winter weather on timber truck tare weights. Silva Fennica vol. 54 no. 4 article id 10385. 16 p. : doi : 10.14214/sf.10385.

8 Marko Zorić, Marijan Šušnjar, Zdravko Pandur, Kristijan Mihaljević Fuel consumption and greenhouse gas emission in timber haulage in croatian forestry. Nova meh. šumar. 35(2014). – pp. 89-97.

9 Posmetev V. I., Nikonov V. O., Avdyuhin A. V. *Ocenka aktualnosti ispolzovaniya v konstrukcii lesovoznogo tyagacha s polupricepom rekuperativnogo pnevmogidravlicheskogo sedelno-scepnogo ustroistva* [Assessment of the relevance of using a recuperative pneumohydraulic fifth wheel coupling in the design of a timber tractor with a semi-trailer]. Voronezh Scientific and Technical Bulletin. – 2021. – Vol. 3, № 3 (37). – S. 76-94. Access mode : <http://vestnikvglta.ru/arhiv/2021/3-3-37-2021/76-94.pdf> – Head. from the screen : doi : 10.34220/2311-8873-2022-76-94. (In Russ.).

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

11 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.

12 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.

13 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.

14 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.

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

16 Posmetev V. I., Nikonov V. O., Matyashov A. E. *Aktualnost razrabotki i ispolzovaniya v*

konstrukcii lesovoznogo avtopoezda rekuperativnogo prujinno-gidravlicheskogo konikovogo ustroystva [The relevance of the development and use of a recuperative spring-hydraulic conical device in the construction of a timber road train]. *Voronezh Scientific and Technical Bulletin*. – 2021. – Vol. 3, № 3 (37). – S. 102-116. Access mode : <http://vestnikvglta.ru/arhiv/2021/3-3-37-2021/102-116.pdf> – Head. from the screen : doi : 10.34220/2311-8873-2022-102-116. (In Russ.).

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

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

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

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

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

22 Pikushov A. N., Kudryashov N. Ya., Jidkov V. G. *Gornie avtopoezda* [Mountain road trains]. *Timber industry, Moscow*, № 12, 1963. – S. 6-7. (In Russ.).

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

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

25 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.

26 Teijo Palander The environmental emission efficiency of larger and heavier vehicles – A case study of road transportation in Finnish forest industry. *Journal of Cleaner Production* 155 (2017) 57-62 : doi : 10.1016/j.jclepro.2016.09.095.

27 C. Löfroth, Lena Larsson, J. Enström, G. Svenson, J. Aurell Ett – a modular system for forest transport a three-year roundwood haulage test in Sweden. Setting future standards: international symposium on heavy vehicle transport technology – HVT12: Stockholm, Sweden, 16-19 September 2012. – 18 p.

28 Visockii M. S., Kochetov S. I., Haritonchik S. V. *Osnovi proektirovaniya modulnih magistralnih avtopoezdov* [Fundamentals of designing modular main road trains]. Minsk : Belarus. Navuki, 2011. – 392 p. (In Russ.).

29 Farobin Ya. E. *Trehzvennie avtopoezda* [Three-link road trains]. *Engineering*, 1993. – 224 p. (In Russ.).