



АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ НА НАДЕЖНОСТЬ И СВОЕВРЕМЕННОСТЬ ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

✉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.

Приведено описание дорожных и природно-климатических условий эксплуатации лесовозных автопоездов. Рассмотрены основные особенности лесовозных дорог, характеризующиеся недостаточной обустроенностью. Выполнен анализ негативных последствий движения лесовозных автопоездов по таким лесовозным дорогам в различных природно-климатических условиях. Приведены зависимости изменения скорости движения и расхода топлива лесовозным автопоездом от характера продольного профиля лесовозной дороги, производительности автопоезда от расстояния вывозки лесоматериалов. Проанализированы закономерности изменения скорости движения и путевого расхода топлива лесовозного автопоезда от его загрузки и движения по лесовозным дорогам с различными значениями уклона, а также параметрами неровности дороги. Описано влияние дорожных условий эксплуатации

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE WORKING CONDITIONS OF WORKING ROAD TRUCKS ON THE RELIABILITY AND TIMELINESS OF THEIR MAINTENANCE

✉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.

The description of the road and natural-climatic conditions for the operation of timber-carrying road trains is given. The main features of logging roads, which are characterized by insufficient infrastructure, are considered. The analysis of the negative consequences of the movement of logging road trains along such logging roads in various natural and climatic conditions is carried out. The dependences of the change in the speed of movement and fuel consumption of a logging road train on the nature of the longitudinal profile of the logging road, the performance of the road train on the distance of hauling timber are given. The patterns of change in the speed of movement and the travel fuel consumption of a logging road train depending on its workload and movement along logging roads with different slope values, as well as road roughness parameters, are analyzed. The influence of road conditions of operation of timber road trains on

лесовозных автопоездов на надежность их основных агрегатов и систем. Проанализированы особенности технического обслуживания лесовозных автопоездов, задействованных в процессе вывозки лесоматериалов. Рассмотрены зависимости изменения потока расхода запасных частей на поддержание работоспособного состояния автомобилей в течение года. Показаны закономерности изменения с увеличением пробега автомобиля КАМАЗ-53105 средней наработки на отказ и коэффициента технической готовности.

Ключевые слова: НАДЕЖНОСТЬ, ЛЕСОВОЗНЫЙ АВТОПОЕЗД, ЛЕСОВОЗНАЯ ДОРОГА, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ, ДОРОЖНЫЕ УСЛОВИЯ, ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ, ТЕКУЩИЙ РЕМОНТ, РАСХОД ТОПЛИВА, БЕЗОПАСНОСТЬ, НЕГАТИВНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ.

the reliability of their main units and systems is described. The features of maintenance of timber road trains involved in the process of hauling timber are analyzed. The dependences of the change in the flow of spare parts consumption for maintaining the working condition of cars during the year are considered. The patterns of change with increasing mileage of the KAMAZ-53105 vehicle in the mean time between failures and the coefficient of technical readiness are shown.

Keywords: RELIABILITY, LOGGING ROAD TRAIN, LOGGING ROAD, MAINTENANCE, ROAD CONDITIONS, NATURAL AND CLIMATIC CONDITIONS, MAINTENANCE, CURRENT REPAIRS, FUEL CONSUMPTION, SAFETY, NEGATIVE CONSEQUENCES.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Условия работы лесовозных автопоездов (ЛАП) значительно отличаются от условий работы автопоездов общего назначения. Их эксплуатация осуществляется в сложных дорожных условиях, характеризующихся изменяющимся рельефом местности, а также значительной сетью недостаточно обустроенных лесовозных дорог (ЛД). Такие ЛД отличаются от дорог общего пользования наличием на них: узких проездов, отгороженной или застроенной площади, больших по величине поперечных и продольных уклонов, труднопроходимых заболоченных и плохо просматриваемых участков, многократных поворотов с очень большой кривизной, водных преград, неровностей, ям, выхода скальных пород, выбоин, древесной поросли, гребенки, крупных поверхностных корней, глубоких колеи, рвов, поваленных деревьев, опасных крутых подъемов и затяжных спусков, спиленных пней, поверхностей покрытых кочками, отдельных кустарников, валунов, морозных пучений, порубочных остатков, камней [1].

Целью данной работы является анализ последствий движения ЛАП по недостаточно обустроенным ЛД, а также анализ влияния дорожных и природно-климатических условий на надежность, и своевременность выполнения технического обслуживания ЛАП.

2 Материалы и методы

В приведенной научной статье проведен анализ исследований российских и зарубежных ученых, область интересов которых связана с повышением эффективности эксплуатации лесовозных автопоездов. Поиск научной литературы осуществлялся в открытых источниках сети интернет: eLIBRARY.RU, Google Scholar, РГБ, Scopus и др. В качестве научной литературы использовались статьи на русском и английском языках, монографии, авторефераты и диссертации. Основными ключевыми словами при осуществлении поиска научной литературы являлись: надежность, лесовозный автопоезд, лесовозная дорога, техническое обслуживание, дорожные условия, природно-климатические условия, техническое обслуживание, текущий ремонт, расход топлива, безопасность, негативные последствия.

3 Результаты исследований

Движение ЛАП по таким ЛД сопровождается негативными последствиями, которые значительно снижают эффективность их работы в технологическом процессе вывозки лесоматериалов. К негативным последствиям движения ЛАП по недостаточно обустроенным ЛД следует отнести [2-12]:

– низкое сцепление колес с опорной поверхностью ЛД, ухудшение проходимости, затрудненное маневрирование в стесненных условиях, многократные торможения, разгоны и повороты ЛАП, способствующие увеличению в 1,5-3 раза динамических нагрузок, воспринимаемых ходовой частью ЛАП, их трансмиссиями, сцепными устройствами, подвесками, а также рамными конструкциями;

– частые включения и выключения сцепления, пробуксовывание ведущих колес, приводящие к сокращению их ресурса и возникновению в них поломок;

– работу в неустановившихся режимах тормозной системы ЛАП, их двигателей, сцеплений, коробок передач, а также раздаточных коробок, приводящих к их перегреву и интенсивному износу;

– снижение плавности хода, повышение напряженности в каркасе шин, повышающих вероятность разрыва покрышек колес;

– ухудшение устойчивости, управляемости и безопасности ЛАП при их резком торможении на прямых участках необустроенных ЛД, крутых продольных и поперечных уклонах, за счет увеличения тормозного пути, взаимного отклонения траектории движения их звеньев, сопровождающееся возможным складыванием или опрокидыванием;

– возникновение трудно предсказуемых отказов и случаев выхода из строя ЛАП, существенно снижающие их надежность;

– повышенную потребность в техническом обслуживании, текущем ремонте, запасных частях в связи с весьма быстрым износом основных агрегатов и систем ЛАП, и, как следствие, сокращение межремонтных пробегов, возрастание потерь времени и материальных средств на поддержание ЛАП в работоспособном состоянии;

– возрастание физических усилий водителя при управлении ЛАП, возникновение частых колебаний поддрессоренных и неподдрессоренных масс, тряски кузова, значительных толчков колес, ухудшающих условия труда водителя, а также повышающих дискомфорт и его утомляемость;

– сокращение более чем в два раза срока службы агрегатов и систем ЛАП, снижение их скорости на 25 и 40 % при повреждении покрытия ЛД соответственно на 10 и 20 %, возрастание в 8-8,5 раза удельной работы трения тормозных механизмов, повышение в 1,3-1,4 раза частоты вращения коленчатого вала, увеличение в 3-3,5 раза числа переключений передач, ухудшение на 45-50 % производительности;

– возникновение дополнительных затрат мощности двигателя на преодоление ЛАП сопротивления при движении по неровностям ЛД, оказывающих влияние на возрастание примерно в два раза расхода топлива, и, как следствие рост конечной стоимости вывозимых лесоматериалов.

Буторин Н.Н. в своей работе выполнил исследование влияния средней технической скорости движения на расход топлива ЛАП МАЗ-509А с полуприцепом ГКБ-9363-011 от характера конкретного продольного профиля ЛД. Получены формулы для расчета средней технической скорости V и расхода топлива g при движении ЛАП по грунтовой ЛД:

$$V = 4067 - 0,01125 \cdot \sigma,$$
$$g = 0,353 + 0,00984 \cdot \bar{x} + 0,0000603 \cdot \sigma,$$

где σ – дисперсия уклонов ЛД; \bar{x} – среднее арифметическое значение продольных уклонов на профиле.

Установлено, что скорость движения и расход топлива ЛАП существенно зависят от характера продольного профиля ЛД (рис. 1) [13].

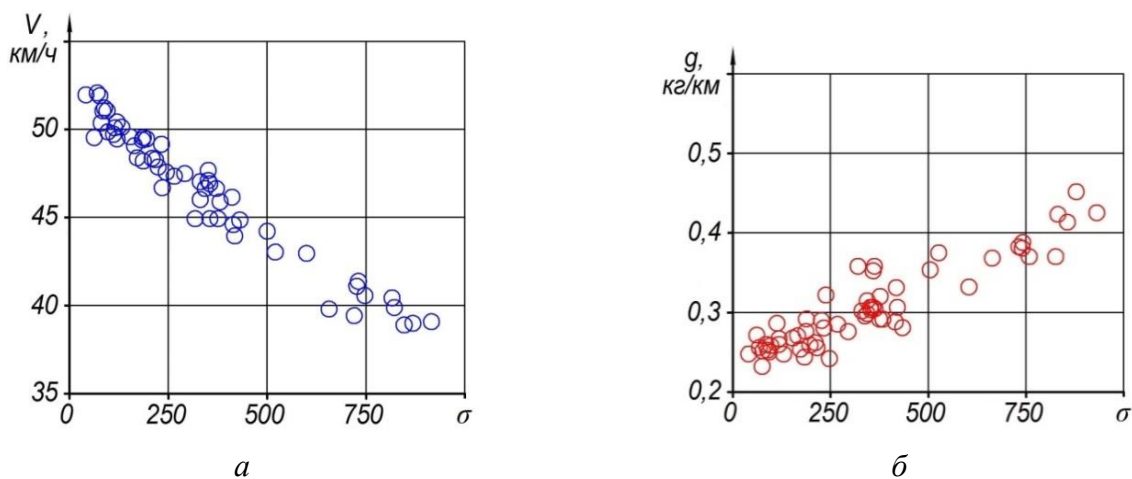
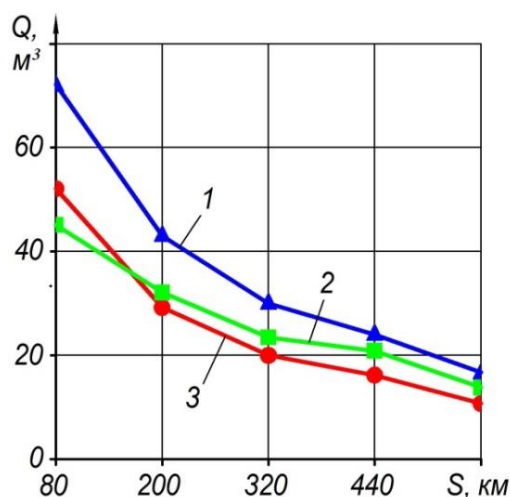


Рисунок 1 – Зависимости изменения средней скорости движения $V(a)$ и расхода топлива $g(b)$ от дисперсии уклонов ЛД

В научной статье Васильева А.С. установлено, что с увеличением расстояния вывозки лесоматериалов, производительность ЛАП ухудшается (рис. 2). Дополнительно к этому выявлено, что наибольшая производительность прослеживается у ЛАП, в состав которого входит лесовозный тягач (6 × 6) с четырехосным активным прицепом [14].



1 – ТМ-45-02; 2 – АТ-6301 + ТМЗ-8966-020; 3 – RFVFP-6874-0000010-20 + NVP-8966-020

Рисунок 2 – Зависимости производительности ЛАП от расстояния вывозки лесоматериалов

В работе Платонова А.А. приведены закономерности изменения скорости движения и путевого расхода топлива ЛАП КАМАЗ-5410 + КЗАП-9370 при различной его полной массе в процессе движения по ЛД с заданными значениями коэффициента сопротивления f_a (рис. 3). Выявлено, что с повышением загрузки ЛАП и ухудшением уровня обустроенности ЛД наблюдается значительное сокращение скорости движения ЛАП, а также возрастание путевого расхода топлива.

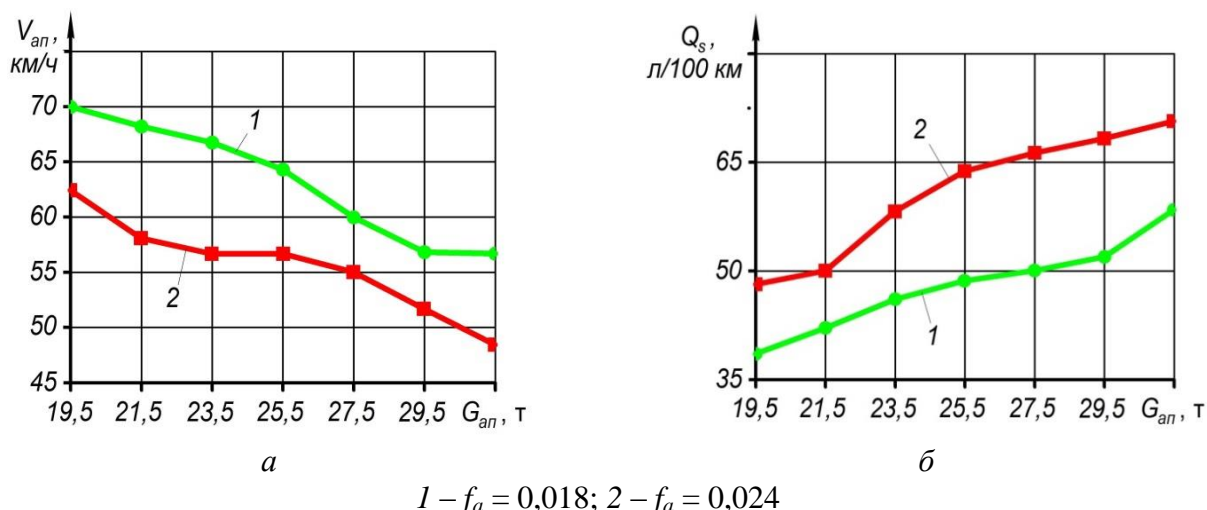


Рисунок 3 – Закономерности изменения скорости движения (а) и путевого расхода топлива (б) ЛАП при различной его загруженности и движении по ЛД с заданными значениями коэффициента сопротивления f_a

При эксплуатации ЛАП на одинаковых по уровню обустроенности ЛД, но отличающихся значениями уклона i_{cp} , увеличение загруженности ЛАП лесоматериалами сопровождается существенным снижением скорости его движения и повышением путевого расхода топлива (рис. 4) [15].

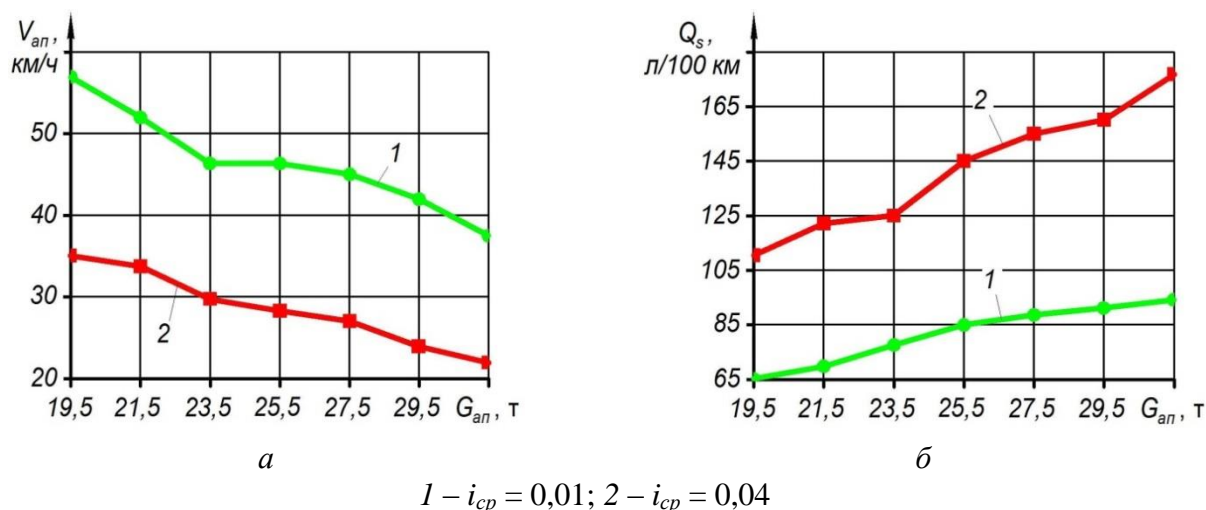
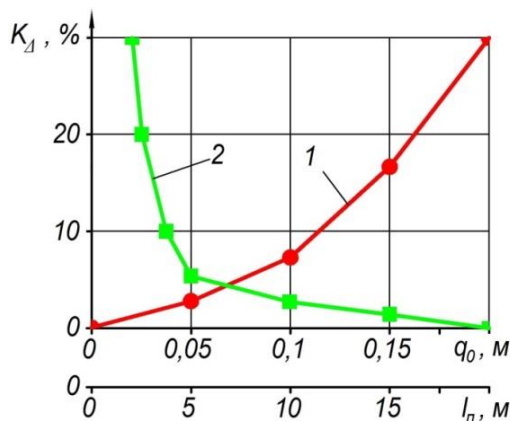


Рисунок 4 – Закономерности изменения скорости движения (а) и путевого расхода топлива (б) ЛАП при различной его загруженности и движении по ЛД с заданными значениями уклона i_{cp}

В работе Кривошапова С.И. приведена методика, с помощью которой можно установить влияние параметров продольного профиля дороги на изменение расхода топлива автомобилем. Используя зависимость, приведенную ниже для корректировки расхода топлива получены графики влияния расхода топлива от высоты q_0 неровности дороги и от длины l_n между неровностями дороги (рис. 5).

$$K_{\Delta} = 400 \cdot \frac{R \cdot q_0 + 1,37 \cdot q_0^2 \cdot \frac{V_a}{l_n} \cdot (c_1 + 2 \cdot c)}{l_n \cdot \left(G_a \cdot i + \frac{k \cdot \alpha_i \cdot B_a \cdot H_a \cdot V_a^2}{13} \right)},$$

где R – сила трения в рессорах; q_0 – максимальная высота неровности дороги; l_n – расстояние между неровностями; c_1 – коэффициент затухания в шинах; c – коэффициент затухания амортизаторов; G_a – вес автомобиля; i – уклон дороги; k – коэффициент лобового сопротивления воздуха; α_l – коэффициент заполнения лобовой площади; B_a – ширина автомобиля; H_a – высота автомобиля [16].



1 – от высоты q_0 неровности дороги; 2 – расстояния l_n между неровностями

Рисунок 5 – Зависимости изменения расхода топлива автомобиля

Солодкая М.Г. в своем научном исследовании приводит данные о рациональных скоростях движения автомобиля МА3-5440Х5, зависящих от величины показателя ровности покрытия дороги (табл. 1). Установлено, что движение автомобиля по неровностям дороги сопровождается изменением в широком диапазоне, как скоростей автомобиля, так нагрузок на него [17].

Таблица 1 – Рациональные скорости движения автомобиля МА3-5440Х5 в зависимости от среднего значения ровности дорожного покрытия IRI

Среднее значение IRI, м/км	Рациональная скорость, км/ч
4-4,5	60
3,5-4	65
3,0-3,5	70
2,75-3	75
2,5-2,75	80
2,17-2,5	85
1,73-2,17	90
1,67-1,73	95
0-1,67	100

В работе Ерохова В.И. приведены данные о доле топлива, затрачиваемого автомобилем на преодоление им подъемов, сопротивления качения и аэродинамического сопротивления при движении по дорогам различного типа (табл. 2). Выявлено, что на дорогах, характеризующихся наличием крутых подъемов и затяжных спусков, при движении автомобиля преобладают инерционные силы при ускорении и сопротивление на преодоление подъемов. Расход топлива на таких дорогах в значительной степени зависит от квалификации и мастерства водителя. Выбор и прогнозирование в процессе движения автомобиля рациональной скорости, частоты, интенсивности разгона и торможения дает возможность сократить расход топлива, и, как следствие снизить количество вредных выбросов в окружающую среду [18].

Таблица 2 – Данные о доле топлива, затрачиваемого автомобилем при движении по дорогам различных категорий

Тип (категория) автомобильной дороги	Доля топлива на преодоление движения, %		
	аэродинамическое сопротивление	сопротивление качению	преодоление подъемов
Горизонтальная дорога (уклоны до 0,5 %)	37	62	1
Пересеченная местность, небольшие спуски и подъемы (уклоны до 4-5 %)	18	40	42
Холмистая, пересеченная местность (уклоны до 5-7 %)	8	44	48
Тяжелые дороги с подъемами и спусками (уклоны до 8-12 %)	3	26	71

В работе Леоновича И.И. приведены статистические характеристики неровностей опытных участков ЛД с гравийным покрытием (табл. 3). На основе выполненного исследования построены зависимости изменения транспортной составляющей и себестоимости на вывозке лесоматериалов ЛАП МАЗ в зависимости от состояния ЛД (рис. 6). Установлено, что с ухудшением состояния ЛД, себестоимость вывозки лесоматериалов и транспортная составляющая значительно возрастают [19].

Таблица 3 – Данные о неровностях опытных участков ЛД с гравийным покрытием

№ участка	Ширина проезжей части, м	Длина участка, м	Числовые характеристики ровности	
			$D(H)$, см	G_H , см
1	8	450	0,26	0,51
2	8	500	0,86	0,93
3	8	400	2,16	1,47
4	7,5	500	4,09	2,02
5	7,5	500	5,95	2,44
6	8	510	8,89	2,98
7	7,5	500	9,54	3,09
8	8	340	16	4
9	8	450	20,52	4,53
10	7,5	500	25,5	5,05
11	7,5	500	30,47	5,52

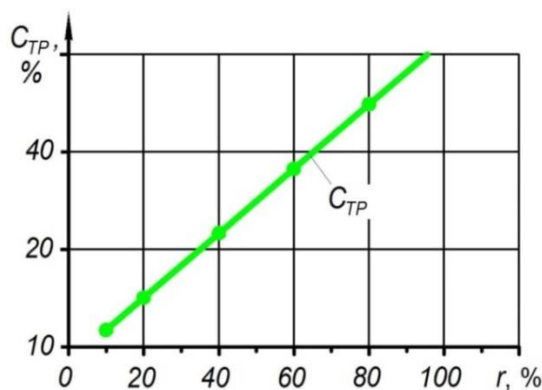
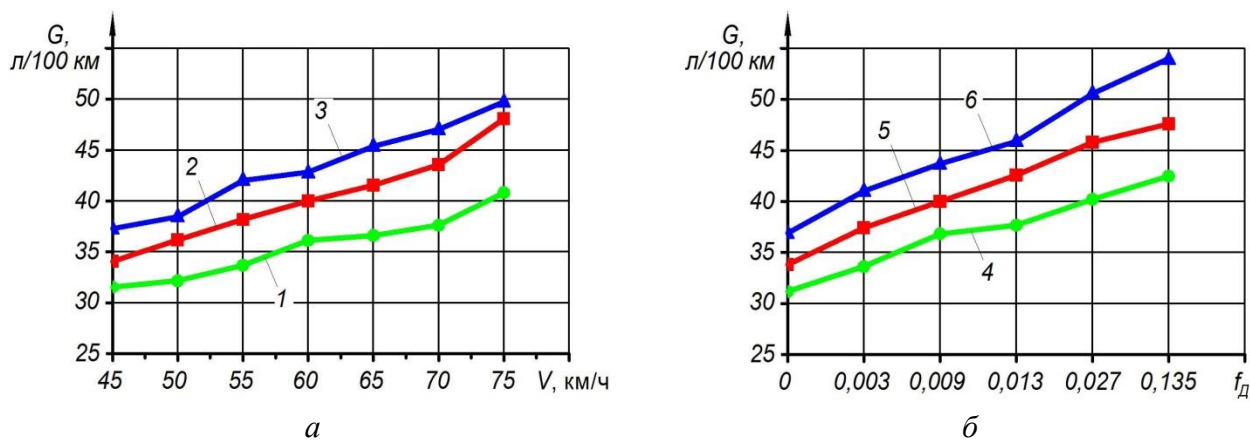


Рисунок 6 – Зависимости изменения транспортной составляющей от состояния ЛД

В работе Щитова С.В. выявлены в ходе экспериментального исследования зависимости расхода топлива автомобиля КАМАЗ-45143 от скорости движения и состояния дорожного покрытия (рис. 7). Кроме этого, представлены значения коэффициентов сопротивления качению исследуемого автомобиля в зависимости от типа и состояния дорожного покрытия (табл. 4) [20].



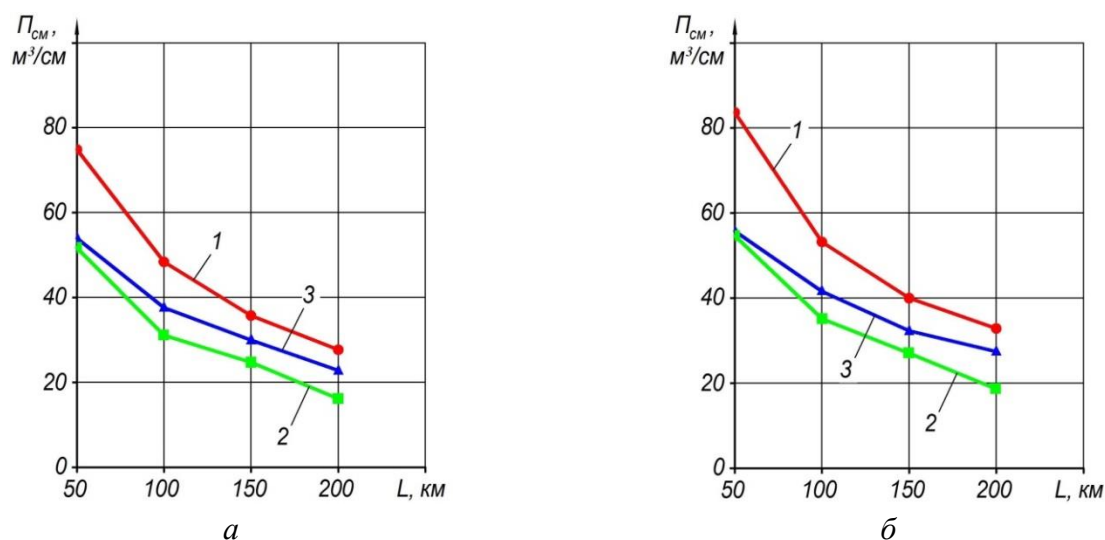
1 – $f_D = 0$; 2 – $f_D = 0,09$; 3 – $f_D = 0,027$; 4 – $V = 45$ км/ч; 5 – $V = 55$ км/ч; 6 – $V = 65$ км/ч

Рисунок 7 – Закономерности изменения расхода топлива автомобилем КАМАЗ-45143 от скорости движения (а) и от типа и состояния дорожного покрытия (б)

Таблица 4 – Значения коэффициентов сопротивления качению

Тип и состояние поверхности дороги	Коэффициент сопротивления качению f_D
Асфальтобетонная дорога	0
Гравийно-щебеночная дорога	0,009
Грунтовая дорога	0,027

В работе Кузнецова А.В. получены зависимости сменной производительности от расстояния вывозки лесоматериалов ЛАП различного компонования (рис. 8). Установлено, что сменная производительность во многом зависит от состояния опорной поверхности ЛД. В процессе дви-



1 – МАЗ 6317Х0-465-000 + прицеп МАЗ-892620-010;
2 – КАМАЗ-54115 + полуприцеп 9019-10; 3 – КРАЗ-64372-054 + ГKB-9362-010

Рисунок 8 – Зависимости сменной производительности от расстояния вывозки лесоматериалов лесовозными автопоездами по слабо укрепленному (а) и укрепленному (б) покрытиям лесовозной дороги

жения исследуемых ЛАП по гравийному слабо укрепленному покрытию в сравнении с укрепленным покрытием, значение сменной производительности уменьшается [21].

Существенно затрудняют вывозку лесоматериалов ЛАП не только обустроенность ЛД и характер рельефа местности, но и метеорологические условия. К ним относят низкие температуры, более короткий световой день, гололедица, ухудшение видимости вследствие частых снегопадов и тумана, заносы, оттепели, заморозки, естественные разрушения горных пород (селевые потоки, камнепады, обвалы, оползни, снеговальные деревья, осыпи и т.п.). Глубокий снег, как свежесвыпавший, так и слежавшийся на ЛД, затрудняет движение и не выдерживает нагрузок от ЛАП, ведет к образованию колеи, уменьшает сцепление колес с покрытием ЛД, увеличивает сопротивление движению.

Частые дожди, а также гололед способствуют в процессе вывозки лесоматериалов существенному снижению сцепления с ЛД колес ЛАП. Интенсивное движение ЛАП в период затяжных дождей приводит к ухудшению состояния грунтовых ЛД, которые в большинстве случаев становятся труднопроходимыми. Кроме этого, избыточная влага, образующаяся от различных грунтовых вод и родников, приводит к размыву опорной поверхности ЛД, ухудшению ее несущей способности, и, как следствие, к снижению скорости движения ЛАП. Серьезную опасность для ЛАП представляют возможные оползни, а также сильный ветер, воздействие которого вызывает ухудшение устойчивости, потерю управления и способствует опрокидыванию. Значительное влияние на снижение скорости движения ЛАП оказывает ограниченная видимость, которая проявляется при наличии слепящего солнечного света, тумана, смога, пыли, а также дымки. Ограниченная видимость представляет повышенную опасность при движении ЛАП, так как может спровоцировать столкновение не только с возможным на пути следования препятствием, но и со встречным транспортным средством.

Кроме этого, эксплуатация ЛАП в условиях недостаточно обустроенных лесовозных дорог, в сравнении с эксплуатацией ЛАП в условиях нормально обустроенных ЛД сопровождается существенным снижением их надежности из-за возрастающего числа отказов. Установлено, что долговечность ЛАП, эксплуатируемых в таких сложных условиях в 1,5-2 раза меньше ЛАП, работающих в нормальных условиях.

Надежность ЛАП имеет тенденцию изменяться в зависимости от условий эксплуатации и времени года. Это приводит к тому, что в течение всего года в ЛАП могут возникать отказы, требующие необходимых трудовых ресурсов и материальные затраты на их устранение. При эксплуатации ЛАП на песчаных грунтовых ЛД износ деталей их ходовой части возрастает в несколько раз. Это связано с тем, что присутствующий на ЛД песок, пыль и вода при многочисленных торможениях ЛАП проникают на поверхности трения его тормозных механизмов, провоцируя ускоренный износ за счет перегрева рабочих поверхностей, а также ухудшение эффективности процесса торможения ЛАП. Долговечность рессор ЛАП, эксплуатируемых по недостаточно обустроенным ЛД, составляет 10-15 тыс. км, в сравнении с долговечностью рессор ЛАП, эксплуатируемых по новым ЛД – 100-150 тыс. км.

Установлено, что при низких температурах эксплуатации ЛАП, параметр количества отказов их основных агрегатов и систем значительно выше, в сравнении с параметрами отказов ЛАП при положительных температурах эксплуатации. Причиной этого является нарушение подачи смазочного материала к узлам трения, из-за запаздывания, связанного с его высокой вязкостью. Также низкие температуры способствуют повышению хрупкости деталей, изготовленных из металла, и снижению эластичности изделий, изготовленных из резины, все еще широко применяемой в подвижных уплотнениях ЛАП. При низких температурах увеличивается вероятность разрушения таких деталей. Высокие же температуры способствуют уменьшению вязкости смазочного материала в агрегатах ЛАП. Это приводит к уменьшению толщины масляной пленки, ухудшению ее прочности, возрастанию температуры рабочих поверхностей пар трения, и, как следствие, к повышению интенсивности их износа.

При резком изменении температуры окружающей среды, увеличении скорости дви-

жения ЛАП и нагрузок на него происходит нарушение теплового баланса его агрегатов и двигателя, которое приводит к их переохлаждению и перегреву. При перегреве двигателя наблюдаются такие дефекты, как повышенный износ цилиндро-поршневой группы, закоксовывание колец, тепловые деформации и прогар днища поршня. При перегреве системы питания двигателя ЛАП наблюдаются перебои в его работе, образование паровых пробок в топливопроводах, а также трудность пуска.

Зимой, при воздействии низких температур на агрегаты и механизмы ЛАП происходит их переохлаждение, приводящее к ухудшению функционирования. При низких температурах помимо возникновения трудностей пуска холодного двигателя ЛАП, также происходит повышение износа в его трущихся поверхностях. В процессе эксплуатации двигателя при низких температурах в наибольшей степени имеют место износы при пуске двигателя. Сравнение функционирования двигателей ЛАП при различной температуре охлаждающей жидкости в системах охлаждения двигателей показало, что износ последних в 5-6 раз выше при температуре охлаждающей жидкости $+30^{\circ}\text{C}$ в сравнении с износом при ее температуре $+80^{\circ}\text{C}$.

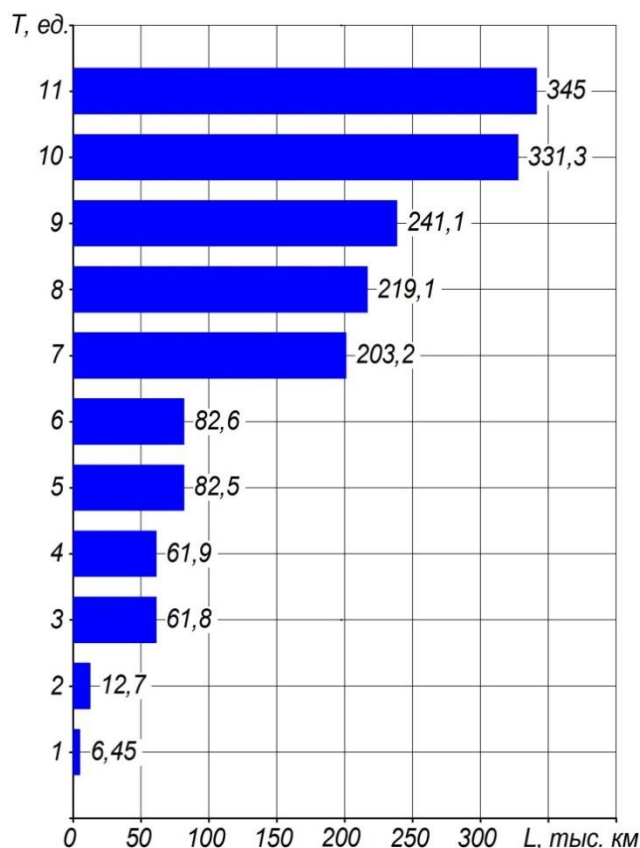
При достаточно низких температурах (-30°C и ниже) прослеживается резкое ухудшение работоспособности пластмассовых и резиновых изделий ЛАП, в том числе шин. В результате циклических режимов функционирования двигателя ЛАП при установившихся термодинамических процессах происходит снижение его мощности, увеличение расхода топлива, а также ухудшение долговечности. Выявлено, что в процессе выполнения одной и той же работы, износ двигателя функционирующего при циклических нагрузках в 2-3 раза выше, чем износ двигателя, работающего при постоянных нагрузках. Снижение показателей надежности основных узлов и агрегатов ЛАП в результате изменения дорожных условий их эксплуатации связано с возрастанием нагрузочного режима, частым его изменением, а также увеличением трения и соответственно износом деталей узлов и агрегатов ЛАП. В частности, увеличение пути трения деталей двигателя и трансмиссии связано в основном с необходимостью перехода на пониженные передачи. Изменение нагрузок на детали ЛАП во многом зависит от коэффициента дорожного сопротивления. Этот коэффициент изменяется в зависимости от продольного профиля ЛД, наличия на ней препятствий, дефектов и неровностей. Кроме этого, неустановившиеся скоростные режимы эксплуатации ЛАП приводят к повышению износа шин, а также деталей сцепления и тормозов.

Карпов А. С. в своей работе приводит результаты показателей надежности ЛАП, эксплуатируемых в сложных дорожных и природно-климатических условиях (табл. 5). Распределение отказов по агрегатам и системам ЛАП различных моделей показывает, что наибольшее количество отказов приходится на двигатели ЛАП [22].

Таблица 5 – Показатели надежности ЛАП

Вид агрегата, узла или системы ЛАП	Распределение отказов, ед.	
	МАЗ-509	КРАЗ
Двигатель со сцеплением	0,245	0,117
Тормозные системы	0,174	0,133
Коробка передач, задний и передний мосты	0,067	0,116
Электрооборудование	0,065	0,058

В работе Магомедова В.К. в результате исследования эксплуатации магистрального автомобиля-тягача с полуприцепом в горных условиях определены и систематизированы значения средней наработки до отказа основных элементов его полуприцепа (рис. 9). Выявлено, что наибольшей надежностью обладают подвеска, электрооборудование и балка оси, менее надежными элементами являются борта и элементы их фиксации [23].



1 – полуприцеп в целом; 2 – борта и элементы их фиксации; 3 – опорный лист со шкворнем в сборе; 4 – рама с настилом пола; 5 – пневмопривод тормозов; 6 – колеса с тормозными устройствами; 7 – держатель запасного колеса; 8 – опорные устройства; 9 – подвеска; 10 – электрооборудование; 11 – балка оси

Рисунок 9 – Гистограмма распределения отказов основных элементов полуприцепа ОДА3-9337 при достижении лесовозным автопоездом пробега 350 тыс. км

Специфическими особенностями функционирования ЛАП также являются ограниченные возможности использования ремонтных баз из-за их значительной удаленности от места эксплуатации ЛАП, неудовлетворительная материально-техническая оснащенность таких баз и недостаточная квалификация обслуживающего персонала. Эти особенности являются причиной существенного снижения качества и своевременности осуществления регламентированных работ по техническому обслуживанию и ремонту ЛАП. Они приводят из-за неоправданно повышенного износа ответственных деталей и узлов к возникновению большого потока мало и трудно предсказуемых отказов и случаев выхода из строя ЛАП, следствием которых являются большие потери времени и материальных средств на ремонтно-восстановительные работы. Это сопровождается простаиванием ЛАП в ремонте или его ожидании до 30 % рабочего времени, а также неблагоприятно сказывается на их продолжительности эксплуатации до списания, которая становится значительно меньше установленного нормативного срока. При этом за счет более продолжительных простоев ЛАП в ремонте, значительно возрастает экономический ущерб лесозаготовительных предприятий. Количество затрат, расходуемых на ЛАП для поддержания их в работоспособном состоянии за весь срок службы в 8-9 раз больше первоначальной стоимости приобретения ЛАП.

В статье Попова В.А. и Захарова Н.С. представлена зависимость изменения необходимого потока запасных частей для поддержания работоспособного состояния автомобилей КРАЗ от сезонных условий их эксплуатации в течение года (рис. 10). Установлены два периода времени, в течение которых возникает повышенный спрос на приобретение запасных частей для ремонта автомобилей КРАЗ. Также, увеличение спроса на приобретение запасных частей прослеживается при

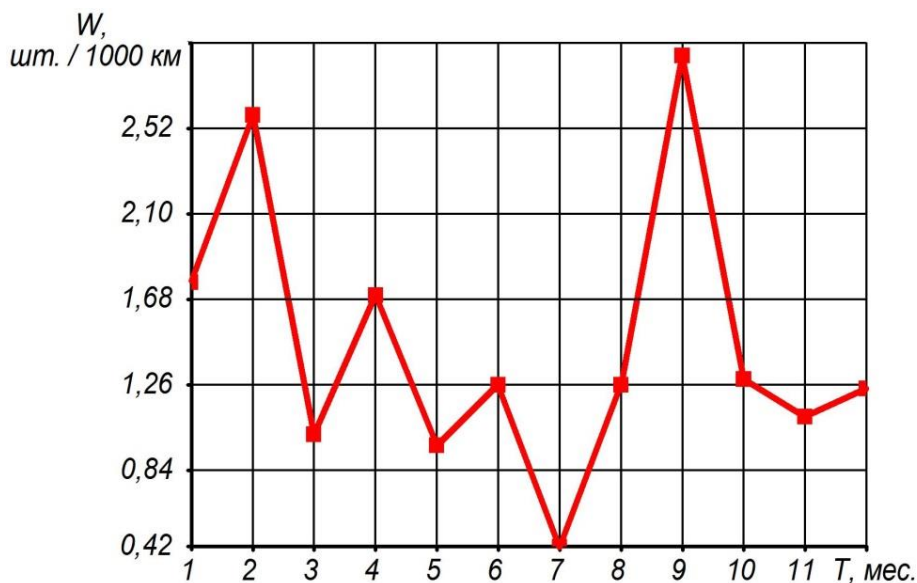


Рисунок 10 – Зависимость изменения потока расхода запасных частей на поддержание работоспособного состояния автомобилей КРАЗ с течением года

смене сезона года при подготовке автомобилей к эксплуатации в зимний период. Выявлено, что понижение температуры при эксплуатации автомобилей КРАЗ способствует повышению количества отказов их узлов, деталей и систем, определяющих надежность автомобиля [24].

В работе Родионова Ю.В. выявлены зависимости изменения коэффициента технической готовности α_T , средней наработки на отказ X_{np}^{cp} и коэффициента $K_{ТЭ/С}$, определяемого как отношение расходов на поддержание работоспособного состояния автомобиля к его начальной себестоимости, в процессе преодоления седельным тягачом КАМАЗ-53105 пробега 800 тыс. км. Для обеспечения работоспособного состояния исследуемого автомобиля при прохождении им данного значения пробега было израсходовано около 51 % себестоимости приобретения нового автомобиля КАМАЗ-53105. Установлено также, что за данный интервал пробега, коэффициент технической готовности α_T сокращается с 0,97 до 0,91, а средняя наработка на отказ X_{np}^{cp} снижается с 900 до 600 км (рис. 11). Сделан вывод о том, что увеличение расходов на эксплуатацию автомобилей, с целью повышения их надежности и сокращения времени пребывания в техническом обслуживании и ремонте оправдывает себя [25].

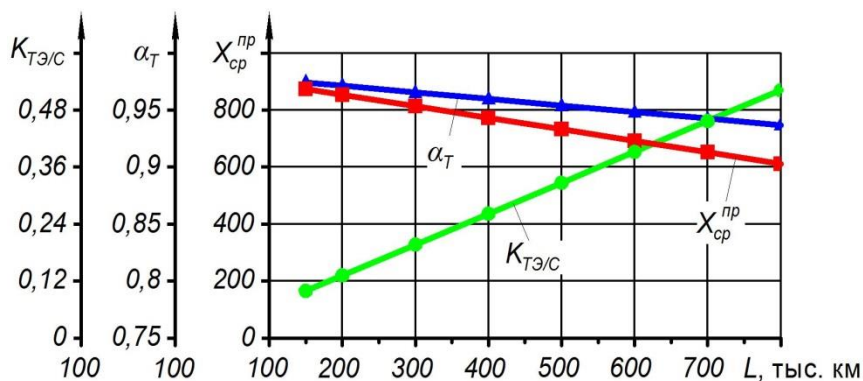


Рисунок 11 – Закономерности изменения с увеличением пробега автомобиля КАМАЗ-53105 средней наработки на отказ X_{np}^{cp} , коэффициента технической готовности α_T и коэффициента $K_{ТЭ/С}$

4 Обсуждение и заключение

Таким образом, можно сделать вывод, что эксплуатация ЛАП в существующих дорожных природно-климатических условиях, а также своевременность поддержания их в работоспособном состоянии оказывают значительное влияние на их надежность, транспортные издержки, конечную стоимость вывозимых лесоматериалов, и, как следствие на эффективность работы лесозаготовительных предприятий в целом. Это подтверждается приведенными зависимостями, из которых видно, что: с увеличением продольного профиля ЛД уменьшается скорость движения ЛАП и увеличивается его расход топлива; с ростом расстояния вывозки лесоматериалов производительность ЛАП ухудшается; с повышением загруженности ЛАП, ухудшением уровня обустроенности ЛД (ростом уклонов и параметров неровностей) наблюдается значительное сокращение скорости движения ЛАП, а также возрастание путевого расхода топлива; прогнозирование в процессе движения ЛАП рациональной скорости, частоты и интенсивности разгона и торможения дает возможность сократить расход топлива, и, как следствие снизить количество вредных выбросов в окружающую среду; с ухудшением состояния ЛД, себестоимость вывозки лесоматериалов и транспортная составляющая значительно возрастают; сменная производительность ЛАП во многом зависит от состояния опорной поверхности ЛД; понижение температуры при эксплуатации ЛАП способствует повышению количества отказов их узлов, деталей и систем, определяющих надежность автомобилей; увеличение расходов на эксплуатацию автомобилей, с целью повышения их надежности и сокращения времени пребывания в техническом обслуживании и ремонте оправдывает себя.

Перспективным направлением, позволяющим повысить надежность ЛАП, улучшить комфортность движения водителей, существенно снизить затраты на транспортные издержки, сократить себестоимость вывозки лесоматериалов при движении ЛАП в сложных дорожных и природно-климатических условиях, является разработка и исследование различных перспективных рекуперативных устройств, устанавливаемых в конструкцию ЛАП, и позволяющих преобразовывать кинетическую и потенциальную энергию масс ЛАП в гидравлическую или электрическую энергию, накапливать ее и полезно использовать для приведения в действие необходимого технологического оборудования.

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 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.

4 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.

5 Посметьев, В. И. Оценка эффективности перспективной комбинированной технологии для восстановления шеек коленчатых валов двигателей лесовозных автопоездов / В. И. Посметьев, А. М. Кадырметов, В. О. Никонов // Воронежский научно-технический вестник. – 2021. – Т. 4, № 4 (38). – С. 86-101. Режим доступа : <http://vestnikvglta.ru/arhiv/2021/4-4-38-2021/86-101.pdf> – Загл. с экрана. . – *Библиогр.* : с. 86-101 (21 назв.). – DOI: 10.34220/2311-8873-2022-86-101.

6 Guang Xia Linear reversing control of semi-trailer trains based on hitch angle stable and feasible domain / Guang Xia, Mingzhuo Zhao, Xiwen Tang, Shaojie Wang, Linfeng Zhao // Control Engineering Practice 104 (2020) 104625. – *Bibliogr.* : p. 16 (36 titles). – DOI 10.106/j.conengprac.2020.104625.

7 Dong Viet Ha Evaluation of Dynamic Load Reduction for a Tractor Semi-Trailer Using the Air Suspension system at all Axles of the Semi-Trailer / Dong Viet Ha, Vu Van Tan, Vu Thanh Niem, Olivier Sename // Actuators 2022, 11, 12. – *Bibliogr.* : pp. 21-22 (31 titles). – DOI 10.3390/act11010012.

8 J. B. Marcomini Medina Failure Analysis of a Hot Forget SAE 4140 Steel Kingpin / J. B. Marcomini, C. A. R. P. Baptista, J. P. Pascon, R. L. Teixeira, P. C. // International Journal of Engineering Research Science, 2, 6, 2016. – 8 p. *Bibliogr.* : pp. 7-8. (17 titles).

9 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).

10 Guoxing Bai Obstacle Avoidance of Semi-Trailers Based on Nonlinear Model Predictive Control / Guoxing Bai, Chen Liang, Yu Meng, Li Liu, Weidong Luo, Qing Gu // World Electric Vehicle Journal 2019, 10, 72. – *Bibliogr.* : pp. 19-21 (27 titles). – DOI 10.3390/wvej10040072.

11 Andrew Tarko Evaluating the rollover propensity of trucks – A roundabout example / Andrew Tarko, Thomas Hall, Mario Romero, Cristhian Guillermo Lizarazo Jimenez // Accident Analysis and Prevention 91 (2016) 127-134. – *Bibliogr.* : pp. 133-134 (20 titles). – DOI 10.1016/j.aap.2016.02.032.

12 Erik Dahlberg Influence of the fifth-wheel location on heavy articulated vehicle handling / Erik Dahlberg, Johan P. Wideberg // Proceedings 8-th International Symposium on Heavy Vehicle Weights and Dimensions. – *Bibliogr.* : p. 10 (9 titles).

13 Буторин, Н. Н. Средняя техническая скорость и расход топлива автомобильного поезда / Н. Н. Буторин // Лесной журнал, 2001, № 5-6. – С. 60-63. – *Библиогр.* : с. 63 (4 назв.).

14 Васильев, А. С. Обоснование эффективности модернизированной конструкции лесовозного автопоезда / А. С. Васильев, И. Р. Шегельман, В. И. Скрыпник // КубГАУ, № 82(08), 2012. – 13 с. Режим доступа : <http://ej.kubagro.ru/2012/08/pdf/32.pdf>. – *Библиогр.* : с. 13 (10 назв.).

15 Платонов, А. А. Повышение эффективности работы лесовозных автопоездов при вывозке древесины в малолесных районах : специальность 05.21.01 «Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства» : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. А. Платонов ; «Воронежская государственная лесотехническая академия». – Воронеж, 2000. – 20 с.

16 Кривошапов, С. И. Влияние параметров неровности дороги на расход топлива / С. И. Кривошапов // Вісник НТУ «ХП», 2017, № 13(1235). – С. 51-55. – *Библиогр.* : с. 55 (17 назв.).

17 Солодкая, М. Г. Влияние неровности дорожных покрытий на эффективность автомобильных перевозок : специальность 05.23.11 «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей» : автореф. дис. ... канд. техн. наук / М. Г. Солодкая ; «Белорусский национальный технический университет». – Минск, 2020. – 28 с.

18 Ерохов, В. И. Влияние дорожных факторов на выброс вредных веществ и расход топлива автотранспортными средствами / В. И. Ерохов, Е. В. Бондаренко // Вестник ОГУ, 2005, № 4. – С. 139-151. – *Библиогр.* : с. 151 (8 назв.).

19 Леонович, И. И. Влияние состояния транспортных путей на эффективность работы лесовозных автопоездов на вывозке заготовленного леса / И. И. Леонович, Н. П. Вырко, М. Н. Демидко / Труды БГТУ, 2014, № 2. – С. 37-39. – *Библиогр.* : с. 39 (2 назв.).

20 Щитов, С. В. Влияние внешних факторов на топливную экономичность автомобиля при транспортно-технологическом обеспечении АПК / С. В. Щитов, З. Ф. Кривуца // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2014, № 9(119). – С. 111-117. – *Библиогр.* : с. 116-117 (12 назв.).

21 Кузнецов, А. В. Совершенствование процессов лесотранспорта путем рациональной взаимосвязи параметров транспортных средств и первичной транспортной сети : специальность 05.21.01 «Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства» : дис. ... докт. техн. наук / А. В. Кузнецов ; «Петрозаводский государственный университет». – Петрозаводск, 2015. – 282 с. – *Библиогр.* : с. 184-218 (352 назв.).

22 Карпов, А. С. Повышение эксплуатационных характеристик двигателей лесовозных автомобилей : специальность 05.21.01 «Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства», 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» : дис. ... канд. техн. наук / А. С. Карпов ; «Воронежская государственная лесотехническая академия». – Воронеж, 2000. – 168 с. – *Библиогр.* : с. 112-124 (152 назв.).

23 Магомедов, В. К. Прогнозирование и систематизация отказов прицепных звеньев магистральных автопоездов в горных условиях : специальность 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» : автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. К. Магомедов ; «Волгоградский государственный технический университет». – Волгоград, 2012. – 16 с.

24 Попов, В. А. Влияние сезонных условий на расход запасных частей для ремонта и эксплуатации автомобилей в районах Западной Сибири / В. А. Попов, Н. С. Захаров // Межвузовский сборник научных трудов, Тюмень, 2001. – С. 43-47. – *Библиогр.* : с. 47 (2 назв.).

25 Родионов, Ю. В. Исследование влияния уровня затрат на надежность и эффективность грузовых автомобилей / Ю. В. Родионов, М. Ю. Обшивалкин, Н. В. Паули // Мир транспорта и технологических машин, № 1(40) 2013. – С. 3-11. – *Библиогр.* : с. 11 (5 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 Posmetev V. I., Nikonov V. O., Avdyuhin A. V. *Ocenka aktualnosti ispolzovaniya v konstrukcii lesovoznogo tyagacha s polupricepom rekuperativnogo pnevmogidravlicheskogo sedelno-scepного устройства* [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.).

4 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.).

5 Posmetev V. I., Kadirmetov A. M., Nikonov V. O. *Ocenka effektivnosti perspektivnoi kombinirovannoi tehnologii dlya vosstanovleniya sheek kolenchatih valov dvigatelei lesovoznih avtopoezdov* [Evaluation of the effectiveness of a promising combined technology for the restoration of the journals of the crankshafts of the engines of timber road trains]. *Voronezh Scientific and Technical Bulletin*. – 2021. – Vol. 4, № 4 (38). – S. 86-101. Access mode : <http://vestnikvglta.ru/arhiv/2021/4-4-38-2021/86-101.pdf> – Head. from the screen : doi : 10.34220/2311-8873-2022-86-101. (In Russ.).

6 Guang Xia, Mingzhuo Zhao, Xiwen Tang, Shaojie Wang, Linfeng Zhao Linear reversing control of semi-trailer trains based on hitch angle stable and feasible domain. *Control Engineering Practice* 104 (2020) 104625 : doi : 10.106/j.conengprac.2020.104625.

7 Dong Viet Ha, Vu Van Tan, Vu Thanh Niem, Olivier Sename Evaluation of Dynamic Load Reduction for a Tractor Semi-Trailer Using the Air Suspension system at all Axles of the Semi-Trailer. *Actuators* 2022, 11, 12 : doi : 10.3390/act11010012.

8 J. B. Marcomini, C. A. R. P. Baptista, J. P. Pascon, R. L. Teixeira, P. C. Medina Failure Analysis of a Hot Forged SAE 4140 Steel Kingpin. *International Journal of Engineering Research Science*, 2, 6, 2016. – 8 p.

9 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.

10 Guoxing Bai, Chen Liang, Yu Meng, Li Liu, Weidong Luo, Qing Gu Obstacle Avoidance of Semi-Trailers Based on Nonlinear Model Predictive Control. *World Electric Vehicle Journal* 2019, 10, 72 : doi : 10.3390/wevj10040072.

11 Andrew Tarko, Thomas Hall, Mario Romero, Cristhian Guillermo Lizarazo Jimenez Evaluating the rollover propensity of trucks – A roundabout example. *Accident Analysis and Prevention* 91 (2016) 127-134 : doi : 10.1016/j.aap.2016.02.032.

12 Erik Dahlberg, Johan P. Wideberg Influence of the fifth-wheel location on heavy articulated vehicle handling. *Proceedings 8-th International Symposium on Heavy Vehicle Weights and Dimensions*.

13 Butorin N. N. *Srednyaya tehnikeskaya skorost i rashod topliva avtomobilnogo poezda* [Average technical speed and fuel consumption of an automobile train]. *Forest Journal*, 2001, № 5-6. – S. 60-63. (In Russ.).

14 Vasilev A. S., Shegelman I. R., Skripnik V. I. *Obosnovanie effektivnosti modernizirovannoi konstrukcii lesovoznogo avtopoezda* [Substantiation of the effectiveness of the modernized design of a timber road train]. *KubGAU*, № 82(08), 2012. – 13 p. Access mode : <http://ej.kubagro.ru/2012/08/pdf/32.pdf>. (In Russ.).

15 Platonov A. A. *Povishenie effektivnosti raboti lesovoznih avtopoezdov pri vivozke drevesini v malolesnih raionah* [Improving the efficiency of logging trucks when hauling timber in sparsely forested areas]. Specialty 05.21.01 "Technology and machines of logging and forestry" : author. dis. ... cand. tech. Sciences / "Voronezh State Forest Engineering Academy". – Voronezh, 2000. – 20 p. (In Russ.).

16 Krivoshepov S. I. *Vliyanie parametrov nerovnosti dorogi na rashod topliva* [Influence of road roughness parameters on fuel consumption]. *Visnik NTU "XPI"*, 2017, № 13(1235). – S. 51-55. (In Russ.).

17 Solodkaya M. G. *Vliyanie nerovnosti dorozhnikh pokritii na effektivnost avtomobilnih perevozok* [Influence of uneven road surfaces on the efficiency of road transport]. Specialty 05.23.11 "Design and construction of roads, subways, airfields, bridges and transport tunnels" : author. dis. ... cand. tech. Sciences / M. G. Solodkaya; "Belarusian National Technical University". – Minsk, 2020. – 28 p. (In Russ.).

18 Erohov V. I., Bondarenko E. V. *Vliyanie dorozhnikh faktorov na vibros vrednih veschestv i rashod topliva avtotransportnimi sredstvami* [Influence of road factors on the emission of harmful substances and fuel consumption of motor vehicles]. Bulletin of OSU, 2005, № 4. – P. 139-151. (In Russ.).

19 Leonovich I. I., Virko N. P., Demidko M. N. *Vliyanie sostoyaniya transportnih putei na effektivnost raboti lesovoznikh avtopoezdov na vivotzke zagotovlennogo lesa* [Influence of the state of transport routes on the efficiency of the operation of logging road trains for the removal of harvested timber]. Proceedings of BSTU, 2014, № 2. – P. 37-39. (In Russ.).

20 Schitov S. V., Krivuca Z. F. *Vliyanie vneshnikh faktorov na toplivnuyu ekonomichnost avtomobilya pri transportno-tehnologicheskom obespechenii APK* [The influence of external factors on the fuel efficiency of a car in the transport and technological support of the agro-industrial complex]. Bulletin of the Altai State Agrarian University, 2014, № 9(119). – S. 111-117. (In Russ.).

21 Kuznecov A. V. *Sovershenstvovanie processov lesotransporta putem racionalnoi vzaimosvyazi parametrov transportnikh sredstv i pervichnoi transportnoi seti* [Improving the processes of timber transport through the rational relationship between the parameters of vehicles and the primary transport network]. Specialty 05.21.01 "Technology and machines of logging and forestry" : dis. ... doc. tech. Sciences / "Petrozavodsk State University". – Petrozavodsk, 2015. – 282 p. (In Russ.).

22 Karpov A. S. *Povishenie ekspluatatsionnikh harakteristik dvigatelei lesovoznikh avtomobiley* [Improving the performance of forestry vehicle engines]. Specialty 05.21.01 "Technology and machines of logging and forestry", 05.22.10 "Operation of road transport" : dis. ... cand. tech. Sciences / "Voronezh State Forest Engineering Academy". – Voronezh, 2000. – 168 p. (In Russ.).

23 Magomedov V. K. *Prognozirovanie i sistematizatsiya otkazov pricepnykh zvenev magistralnikh avtopoezdov v gornikh usloviyakh* [Forecasting and systematization of failures of trailer links of main road trains in mountainous conditions]. Specialty 05.22.10 "Operation of road transport" : author. dis. ... cand. tech. Sciences / Volgograd State Technical University. – Volgograd, 2012. – 16 p. (In Russ.).

24 Popov V. A., Zaharov N. S. *Vliyanie sezonnikh uslovii na rashod zapasnikh chastei dlya remonta i ekspluatatsii avtomobiley v raionah Zapadnoi Sibiri* [The influence of seasonal conditions on the consumption of spare parts for the repair and operation of vehicles in the regions of Western Siberia]. Interuniversity collection of scientific papers, Tyumen, 2001. – P. 43-47. (In Russ.).

25 Rodionov Yu. V., Obshivalkin M. Yu., Pauli N. V. *Issledovanie vliyaniya urovnya zatrat na nadejnost i effektivnost gruzovikh avtomobiley* [Study of the influence of the level of costs on the reliability and efficiency of trucks]. World of Transport and Technological Machines, № 1(40) 2013. – P. 3-11. (In Russ.).

© Никонов В.О., Посметьев В.И., 2022