

DOI: [10.34220/2311-8873-2024-64-74](https://doi.org/10.34220/2311-8873-2024-64-74)



УДК 629.331

UDC 629.331

2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

**СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ВЛИЯНИЯ УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ
АВТОМОБИЛЯ НА БЕЗОПАСНОСТЬ
ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ**

**STATISTICAL STUDY OF THE
INFLUENCE OF VEHICLE POWER
DENSITY ON ROAD SAFETY**

Черевастов Максим Геннадьевич,
аспирант кафедры «Строительные и дорожные машины», Нижегородский государственный технический университет им. Алексеева, г. Нижний Новгород, e-mail: Chermaxim_1978@mail.ru

Cherevastov Maxim Gennadievich,
postgraduate student of the department of Construction and road machines, Nizhny Novgorod state technical university named after Alekseev, Nizhny Novgorod, e-mail: Chermaxim_1978@mail.ru

Аннотация. Проведено статистическое исследование влияния удельной мощности автомобиля на дорожную аварийность. Для оценки аварийности использован относительный показатель, получаемый как отношение количества дорожно-транспортных происшествий на единицу длины пробега автомобилей. Получена стохастическая связь аварийности от удельной мощности автомобиля. Даны рекомендации по возможности замены двигателя внутреннего сгорания при переоборудовании автомобиля.

Annotation. The study of the influence of the specific power of the car on the road accident rate. To assess the accident rate, a relative indicator is used, obtained as the ratio of the number of road accidents per unit length of the mileage of cars. A stochastic relationship between the accident rate and the specific power of the car was obtained. Recommendations are given on the possibility of replacing the internal combustion engine during the conversion of the car.

Ключевые слова: БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ, ВНЕСЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ В КОНСТРУКЦИЮ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА, УДЕЛЬНАЯ МОЩНОСТЬ АВТОМОБИЛЯ.

Keywords: MAKING CHANGES TO THE DESIGN OF THE VEHICLE, ROAD SAFETY, SPECIFIC POWER OF THE CAR.

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Вопрос установления связи между мощностью двигателя автомобиля и дорожной аварийностью периодически возникает в разное время. Основной интерес к наличию или отсутствию данной связи проявляют страховые компании, осуществляющие страхование транспортных средств. По их мнению, данная связь существует, что в значительной степени оправдывает наличие коэффициента, связанного с мощностью двигателя, при формировании стоимости полиса ОСАГО. Существует также и другая точка зрения, в своей основе полагающая отсутствие таковой связи, и необходимости неприменения данного коэффициента. Обращаем внимание, что в указанных выше случаях говорится о величине мощности двигателя без учета массы автомобиля, однако существует множество вариантов, в которых при равных мощностях транспорт-

ные средства обладают значительно разными массами. Таким образом, в целях нашего исследования мы будем нормализовать представление мощности двигателя автомобиля по его массе, что, по сути, означает удельную мощность.

Вместе с тем определение наличия связи между удельной мощностью автомобиля и аварийностью, потенциально позволит вносить рекомендации о возможности изменения конструкции автомобиля, например, в части замены двигателя внутреннего сгорания.

Изменения, вносимые в конструкцию транспортного средства на стадии его эксплуатации, или как их еще называют переоборудованием, в настоящее время приобрели широкий масштаб. Само по себе изменение, зачастую, диктуется не условием улучшения конструкции автомобиля, как при тюнинге [1], а пожеланием потребителя или потенциального собственника. В основном целью является либо сокращение себестоимости перевозок, либо приспособленность транспортного средства к определенным видам (особенностям) грузов, категорий пассажиров или условиям эксплуатации, либо повышение общей экономической эффективности использования автомобиля. При этом переоборудование не всегда осуществляется в рамках сформировавшихся научных основ проектирования автомобиля, направленных, в частности, на увеличение грузоподъемности транспортных средств за счет снижения снаряженной массы автомобиля без уменьшения прочности и надежности при сохранении его полной массы, а также на уменьшение материалоемкости [2]. Между тем, как показывает практика, значительное количество случаев внесения изменений, наоборот, сопровождается увеличением снаряженной массы автомобиля и снижением его грузоподъемности, что, как следствие, приводит к ухудшению тягово-скоростных свойств автомобиля. В случаях изменения (зачастую увеличение) габаритной длины транспортного средства при его переоборудовании, увеличивается материалоемкость автомобиля и уменьшается его компактность, вместе с этим изменяется и длина колесной базы, которая, в свою очередь, оказывает непосредственное влияние на управляемость автомобиля. Таким образом, нельзя забывать о том, что измененная конструкция в определенной степени влияет на эксплуатационные свойства автомобиля, а значит, может повлиять на безопасность дорожного движения.

Анализ научных работ и публикаций, относящихся к тематике переоборудования автомобилей, в целом, обозначил направленность исследований в отношении вопросов установки газобаллонного оборудования, в целях повышения экологической безопасности, а также использования альтернативного топлива меньшей стоимостью. Однако, авторы данных научных публикаций не учитывали возможное изменение эксплуатационных свойств транспортных средств после их переоборудования, но, к примеру, при установке газобаллонного оборудования отмечается увеличение снаряженной массы автомобиля и уменьшение мощности двигателя [3, 4]. Необходимо отметить работы Зубрицкого С.Г. [5], Кириллова К.А. [6] и Белехова А.А., [7]. Данные авторы направили свои исследования в сферу обеспечения безопасности транспортных средств с измененной конструкцией. Однако, учитывая изложенную информацию, можно говорить о недостаточной изученности как взаимосвязи удельной мощности автомобиля и аварийности, так и влияния конструктивных изменений при переоборудовании, способных воздействовать на различные эксплуатационные свойства, в том числе и тягово-скоростные, на безопасность дорожного движения.

2 Материалы и методы

По оценкам, сделанным нами при анализе сведений о количестве выданных разрешений на внесение изменений в конструкцию находящегося в эксплуатации колесного транспортного средства [8], удельный объем переоборудованных автомобилей составляет практически 5%, а их количество неуклонно растет. Разновидность изменений достаточно разнообразна, она затрагивает множество систем и элементов конструкции. Наиболее востребованными, принимая во

внимание обобщенную статистику [8], являются: установка газобаллонного оборудования, установка тягово-сцепного устройства, замена двигателя внутреннего сгорания (далее - ДВС) и ряд других изменений.

За период с 2015 по 2020 годы количество замен ДВС, в случаях переоборудования транспортных средств, выросло практически в два раза (см. рис. 1), при этом общий годовой объем переоборудований за тот же период времени возрос в четыре раза.

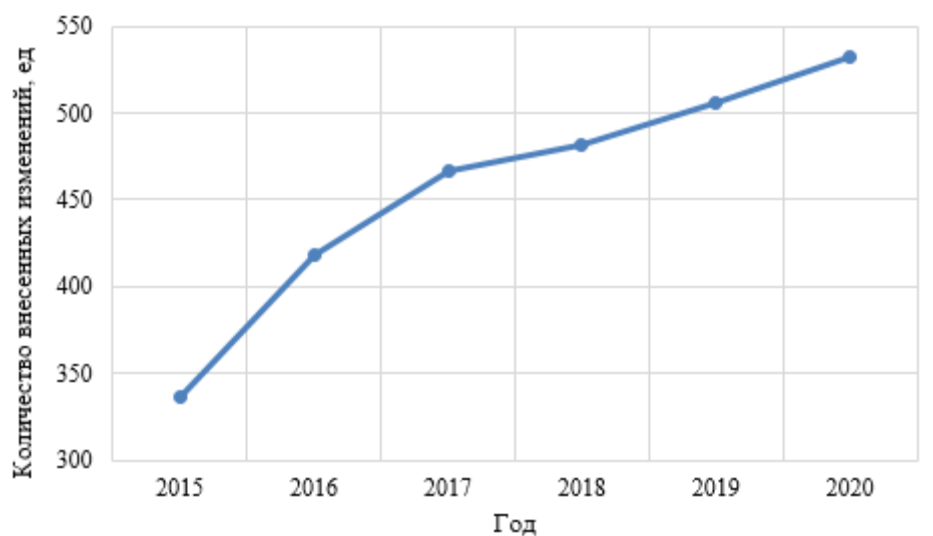


Рисунок 1 – Распределение по годам вносимых изменений – «замена ДВС»

Значительный интерес к изучению, учитывая количество обращений в органы госавтоинспекции, представляет замена ДВС при переоборудовании автомобилей. В ходе исследования были получены следующие данные. Практически в 40% случаев замена ДВС осуществляется на грузовых автомобилях категории N_1 , в 30% случаев на легковых автомобилях категории M_1 . В подавляющих случаях устанавливаемый взамен старого двигатель обладает большей максимальной мощностью (примерно 90% изменений), при этом снаряженная масса автомобиля практически не изменяется. В половине случаев возрастание максимальной мощности происходит примерно на 40%. Фиксируются также случаи, когда двигатель заменяется на менее мощный (около 10% изменений). При этом уменьшение мощности обычно происходит на величину не более 20%. Следовательно, очевидным образом при замене двигателя автомобиля изменяется его удельная мощность, что непосредственно влияют на тягово-скоростные свойства. В нашем случае под термином «удельная мощность автомобиля» мы будем понимать отношение максимальной мощности двигателя к снаряженной массе транспортного средства.

Выражение для удельной мощности выглядит следующим образом:

$$P_{уд} = \frac{P_{дв}}{m_{сн}}, \quad (1)$$

где $P_{дв}$ – максимальная мощность двигателя; $m_{сн}$ – снаряженная масса автомобиля.

Проведем статистическое исследование влияния удельной мощности автомобиля на дорожную аварийность. Для этого нами был собран массив данных о 5000 транспортных средств, включающий в себя информацию о модели, пробеге, количестве дорожно-транспортных происшествий (далее - ДТП), максимальной мощности ДВС и снаряженной массе, различных категорий, годов выпуска и имеющих разную удельную мощность [9]. Полученные сведения легли в основу выборки. Доля автомобилей с измененной конструкцией в данной выборке составила 6%. Для оценки аварийности нами применялся показатель безопасности дорожного движения

(далее - БДД), получаемый отношением количества дорожно-транспортных происшествий к длине пробега автомобиля [10].

Сведения из выборки позволили получить динамический ряд, где в качестве признака, по которому производится упорядочивание показателя БДД, выбрано отношение снаряженной массы автомобиля к его максимальной мощности двигателя, округленное до целого числа. Выбор признака упорядочивания, таким образом, позволил получить ряд с равноотстоящими уровнями при изменении признака от 7 до 46 кг/л.с. с шагом 1 кг/л.с. Внутри 40 полученных групп (уровней ряда) были рассчитаны показатели БДД после определения общего пробега и общего количества ДТП. На рис. 2 представлен полученный динамический ряд.

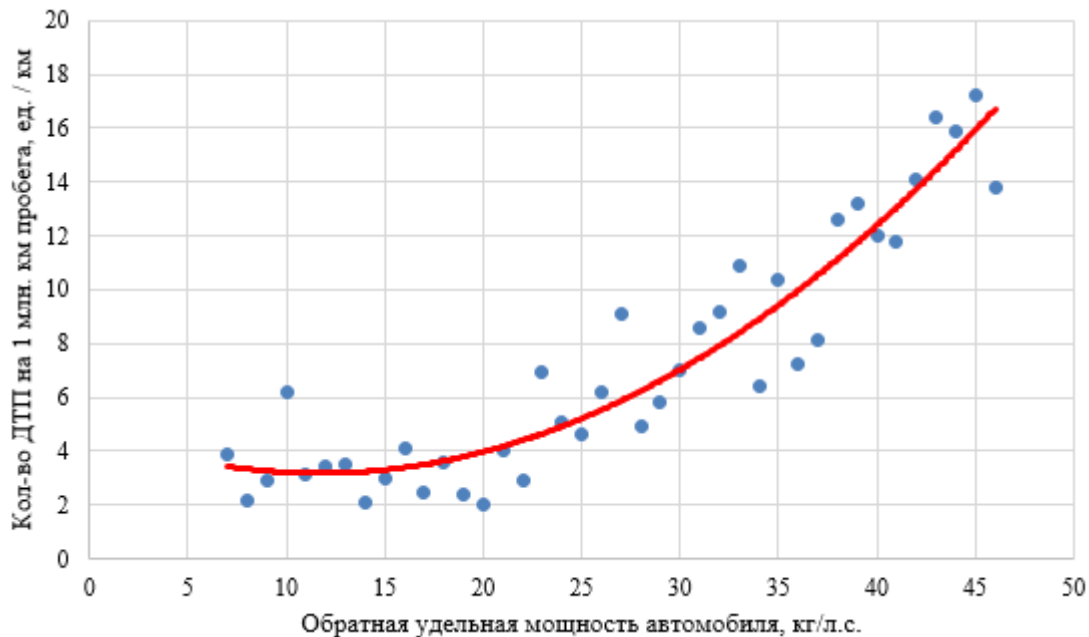


Рисунок 2 – Распределение количества ДТП на единицу длины пробега по признаку упорядочивания

Проведем обработку данных, содержащихся в полученном ряде, в целях установления тренда (динамики) либо его отсутствия [11]. Разбив динамический ряд на две равные части, определим расчетное значение критерия, используя выражение (2). Сопоставив полученное значение с его критической величиной, примем решение о случайности либо неслучайности тенденции (тренда) ряда.

$$t_{расч} = \frac{\bar{y}_I - \bar{y}_{II}}{\sqrt{(n_I - 1)d_I + (n_{II} - 1)d_{II}}} \cdot \sqrt{\frac{n_I n_{II} (n_I + n_{II} - 2)}{n_I + n_{II}}}, \quad (2)$$

где n_I и n_{II} - число уровней первой и второй половины ряда ($n_I = n_{II} = 20$); \bar{y}_I и \bar{y}_{II} – оценки математического ожидания первой и второй половин ряда; d_I и d_{II} – оценки дисперсий первой и второй половин ряда.

Указанные выше числовые параметры определяются по нижеприведенным формулам (3) – (6):

$$\bar{y}_I = \frac{1}{n_I} \sum_{p=7}^{26} y_p, \quad (3)$$

$$\bar{y}_{II} = \frac{1}{n_{II}} \sum_{p=27}^{46} y_p, \quad (4)$$

$$d_I = \frac{1}{n_I - 1} \sum_{p=7}^{26} (y_p - \bar{y}_I)^2, \quad (5)$$

$$d_{II} = \frac{1}{n_{II} - 1} \sum_{p=27}^{46} (y_p - \bar{y}_{II})^2, \quad (6)$$

где y_p – значение уровня ряда [количество ДТП на единицу длины пробега]; p – признак группировки [кг/л.с.].

Результаты проведенных вычислений сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Значения числовых характеристик

Половина ряда	Оценка математического ожидания	Оценка дисперсии
I	$\bar{y}_I = 3,73$	$d_I = 2,05$
II	$\bar{y}_{II} = 10,73$	$d_{II} = 13,36$

Поставив в выражение (2) данные из табл. 1, получим:

$$t_{расч} = -8,0.$$

Принимая во внимание уровень значимости $\alpha = 0,05$ и число степеней свободы $df = n_I + n_{II} - 2 = 38$, необходимые для получения критической (табличной) величины распределения Стьюдента $t_{кр}$ [7], получим:

$$t_{кр} = 2,02.$$

Сравним вычисленное расчетное значение (по абсолютной величине) с критическим:

$$|t_{расч}| = 8,0 > 2,02.$$

В результате проведенных действий нами делается вывод с вероятностью ошибки 5%, утверждающий наличие динамики ряда, или присутствие тренда, что тоже самое, а сам исследуемый динамический ряд не стационарен.

Далее получим уравнение тренда динамического ряда как функции удельной мощности автомобиля. Для этого, применяя метод наименьших квадратов, произведем аналитическое выравнивание статистических данных, изображенных на рис. 2. Для представления динамики нами применена полиномиальная функция.

В общем виде уравнение динамики имеет следующий вид:

$$\hat{y}_p = ap^2 + bp + c, \quad (7)$$

где a, b, c – постоянные коэффициенты.

Вычислим недостающие коэффициенты [7], решив систему уравнений (8):

$$\begin{cases} a \sum_{p=7}^{46} p^4 + b \sum_{p=7}^{46} p^3 + c \sum_{p=7}^{46} p^2 = \sum_{p=7}^{46} p^2 y_p \\ a \sum_{p=7}^{46} p^3 + b \sum_{p=7}^{46} p^2 + c \sum_{p=7}^{46} p = \sum_{p=7}^{46} p y_p \\ a \sum_{p=7}^{46} p^2 + b \sum_{p=7}^{46} p + 40c = \sum_{t=7}^{46} y_p \end{cases}, \quad (8)$$

В результате расчетов получим: $a = 0,012$, $b = -0,275$ и $c = 4,88$.

Окончательно запишем уравнение динамики следующим образом:

$$\hat{y}_p = 0,012 p^2 - 0,275 p + 4,88. \quad (9)$$

Теперь, на основе F – критерия Фишера, в целом проверим статистическую значимость уравнения, используя расчетное выражение:

$$F_{расч} = \frac{\sum_{p=7}^{46} \left(\hat{y}_p - y_p \right)^2}{\sum_{p=7}^{46} \left(\hat{y}_p - y_p \right)^2} \cdot \frac{n - m - 1}{m}, \quad (10)$$

где $m+1$ – число коэффициентов уравнения тренда; $n = 40$ – количество уровней динамического ряда.

В результате вычислений определяем, что $F_{расч} = 145,36$.

Принимая во внимание уровень значимости $\alpha = 0,05$ и число степеней свободы $df_1 = m = 2$ и $df_2 = n - m - 1$, выберем по табличным данным [3] критическое значение распределения Фишера:

$$F_{кр} = 3,26.$$

Сравним вычисленное расчетное значение с критическим:

$$F_{расч} = 145,36 > 3,26.$$

Таким образом, с вероятностью ошибки 5% уравнение тенденции динамического ряда в целом статистически адекватно (значимо).

3 Результаты исследований

Учитывая определение показателя БДД, применяемого в настоящей работе, а также понятие признака, по которому производится упорядочивание данного показателя, уравнение тренда можно представить следующим образом:

$$\frac{N}{L} \cdot 10^6 = 0,012 \cdot \left(\frac{1}{P_{y\partial}} \right)^2 - 0,275 \cdot \frac{1}{P_{y\partial}} + 4,88, \quad (11)$$

где N – количество ДТП; L – пробег транспортного средства [км].

На рис. 3 изображена стохастическая связь аварийности от удельной мощности автомобиля, определяемая выражением (11).

Ход кривой (см. рис. 3), условно, можно разделить на три участка. На первом участке показатель БДД существенно уменьшается при увеличении удельной мощности автомобиля с 0,02 до 0,04 л.с./кг. При этом уменьшение показателя происходит более чем в 3 раза. На втором участке при увеличении удельной мощности с 0,04 до 0,06 л.с./кг уменьшение показателя менее значительное, а на третьем отрезке, где удельная мощность более 0,06 л.с./кг показатель БДД практически не изменяется и без существенной потери точности может считаться постоянным.

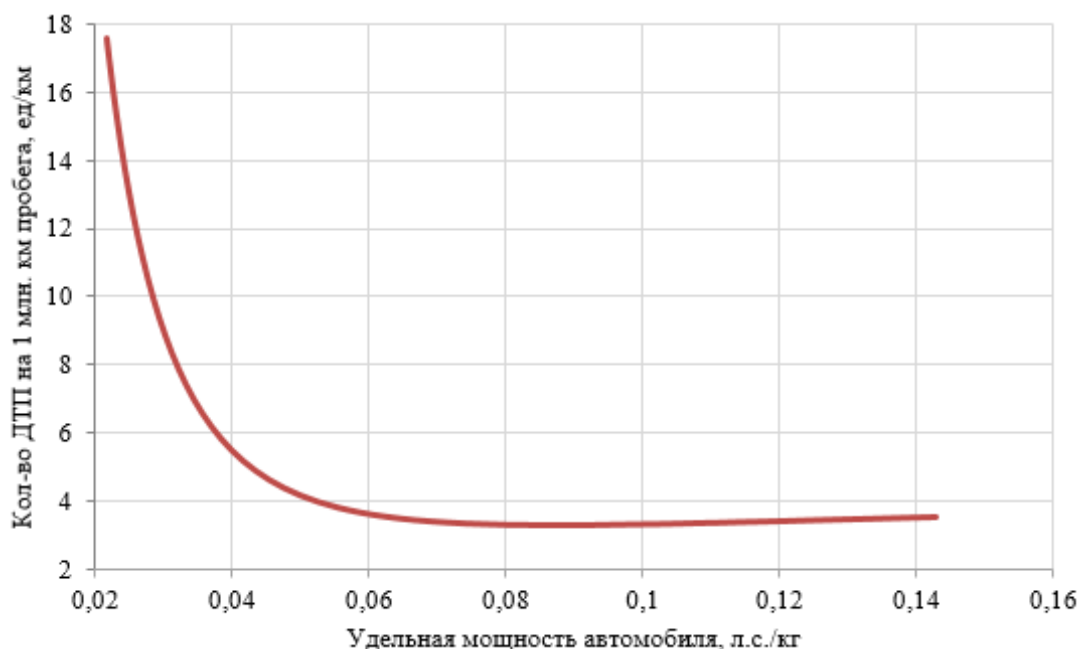


Рисунок 3 – Стохастическая связь аварийности с удельной мощностью автомобиля

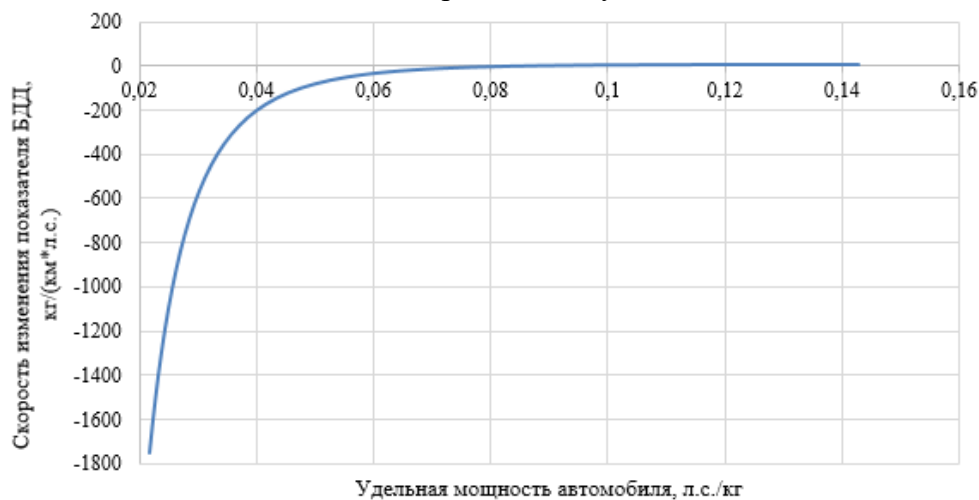


Рисунок 4 – Скорость изменения аварийности по удельной мощности автомобиля

На рис. 4 проведено дифференцирование графика, изображенного на рис. 3. Наблюдается существенное уменьшение, по модулю, скорости изменения показателя БДД при увеличении удельной мощности автомобиля с 0,02 до 0,04 л.с./кг.

В настоящее время определено нормирование [12] мощности устанавливаемого двигателя в пределах 25% от самого мощного двигателя, предусмотренного типом транспортного средства, либо от штатного двигателя (при отсутствии одобрения типа транспортного средства), при этом, каких-либо ограничений на уменьшение мощности нет. Вместе с тем проведенное исследование показывает, что уменьшению удельной мощности (энерговооруженности) автомобиля ниже 0,04 л.с./кг сопутствует значительный рост показателя БДД и это обстоятельство заслуживает внимательного изучения.

4 Обсуждение и заключение

В завершение, обобщая полученные результаты статистического исследования, делаем следующие выводы:

- установлена стохастическая связь между показателем БДД (аварийностью) и удельной мощностью транспортных средств;
- получено уравнение регрессии указанной выше связи и определена его статистическая значимость;
- сформирована рекомендация – не допускать уменьшение удельной мощности автомобиля ниже значения 0,04 л.с./кг в случае переоборудования автомобиля – «замена двигателя».

Список литературы

- 1 Функциональный тюнинг автомобилей [Текст] / А.С. Денисов и [др.] // Совершенствование автотранспортных систем и сервисных технологий: материалы XIV Международной научно-технической конференции, посвященной 95-летию юбилею доктора технических наук, профессора, заслуженного деятеля науки и техники РФ Авдонькина Фёдора Николаевича (1923-1996). – Саратов, 2018. – С. 222 – 230.
- 2 Кравец, В. Н. Проектирование автомобиля [Текст]: учеб. пособие. / В.Н. Кравец. – 2-е изд., перераб. – Н. Новгород, Нижегород. политехн. ин-т., 1992. - 230 с.
- 3 Молев, Ю.И. Теоретическая оценка влияния установки газобаллонного оборудования на управляемость автобуса ПАЗ 32054 [Электронный ресурс] / Ю.И. Молев, М.Г. Черевастов // Транспортные системы. - 2017. - №1. - Режим доступа: <https://transport-systems.ru/index/php/arkhiv/14-2017>.
- 4 Харьбина, Е.И. Автомобили фирмы MERCEDES – BENZ с водородными двигателями. «Конструкции автомобилей. Зарубежный опыт» [Текст] / Е.И. Харьбина. - М.: НИИСтандартавтосельхозмаш. - Выпуск 8, 1991, С. 21 – 23.
- 5 Зубрицкий, С.Г. Оценка влияния конструктивных изменений автотранспортных средств на безопасность их использования [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / С.Г. Зубрицкий. - М., 2003. – 185 с.
- 6 Кириллов, К.А. Методика обеспечения безопасности колесных транспортных средств при внесении изменений в их конструкцию [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Кириллов Кирилл Александрович. - М., 2020. - 231с.
- 7 Белехов, А.А. Метод предварительной технической экспертизы транспортных средств при изменении их конструкции в эксплуатации [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 2.9.5 / А.А. Белехов. – Санкт-Петербург, 2023. - 213с.
- 8 Анализ изменений, внесенных в конструкции транспортных средств, при производстве переоборудования автомобилей на территории Нижегородской области в 2015 году [Текст] / А.А. Аникин и [др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. - 2018. - №4(123). - С. 243-248.
- 9 ГИБДД в регионах: информационно-поисковая система [Электронный ресурс] / Режим доступа: гибдд.рф. – Загл. с экрана.
- 10 Молев, Ю.И. Обеспечение дорожной безопасности автомобильного транспорта в зимний период [Текст]: дис. ... док. техн. наук: 05.22.10 / Ю.И. Молев. - Владимир, 2007. – 376 с.
- 11 Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Определения, теоремы, формулы [Текст]: пер. с англ. И.Г. Арамановича и др. - М.: Наука, 1968. - 720 с.

12 ГОСТ 59889-2021. Транспортные средства. Внесение изменений в конструкцию транспортных средств, находящихся в эксплуатации. Технические требования, технический контроль и методы испытаний [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://protect.gost.ru>.

References

1 Functional car tuning [Text] / A.S. Denisov and [others] // Improving motor transport systems and service technologies: materials XIV International scientific and technical conference dedicated to the 95th anniversary Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation Avdonkin Fyodor Nikolaevich (1923-1996). – Saratov, 2018. – P. 222 – 230.

2 Kravets, V. N. Car design [Text]: textbook. allowance. / V.N. Kravets. – 2nd ed., revised. – N. Novgorod, Nizhny Novgorod. Polytechnic int., 1992. - 230 p.

3 Molev, Yu.I. Theoretical assessment of the impact of installing a gas cylinder equipment for controllability of the PAZ 32054 bus [Electronic resource] / Yu.I. Molev, M.G. Cherevastov // Transport systems. - 2017. - №.1. - Access mode: <https://transport-systems.ru/index/php/arkhiv/14-2017>.

4 Kharybina, E.I. MERCEDES – BENZ cars with hydrogen engines. "Car designs. Foreign experience" [Text] / E.I. Kharybina. - M.: Research Institute of Standard Avtoselkhoz mash. - Issue 8, 1991, pp. 21 – 23.

5 Zubrisky, S.G. Assessing the impact of design changes in motor vehicles funds for the safety of their use [Text]: dis. ...cand. tech. Sciences: 05.05.03 / S.G. Zubrisky. - M., 2003. – 185 p.

6 Kirillov, K.A. Methodology for ensuring the safety of wheeled vehicles funds when making changes to their design [Text]: dis. ...cand. tech. Sciences: 05.05.03 / Kirillov Kirill Alexandrovich. - M., 2020. - 231 p.

7 Belekhov, A.A. Method of preliminary technical examination of transport means when changing their design in operation [Text]: dis. ...cand. tech. Sciences:2.9.5 / A.A. Belekhov. – St. Petersburg, 2023. - 213 p.

8 Analysis of changes made to vehicle designs when production of car re-equipment in the Nizhny Novgorod region in 2015 year [Text] / A.A. Anikin and [others] // Proceedings of NSTU im. R.E. Alekseeva. - 2018. - No4(123). – pp. 243-248.

9 Traffic police in the regions: information retrieval system [Electronic resource] / Access mode: trafficpolice.rf. - Cap. from the screen.

10 Molev, Yu.I. Ensuring road safety of motor transport in winter period [Text]: dis. ...doc. tech. Sciences: 05.22.10 / Yu.I. Molev. - Vladimir, 2007. – 376 p.

11 Korn, G. Handbook of mathematics for scientists and engineers. Definitions, theorems, formulas [Text]: trans. from English I.G. Aramanovich and others - M.: Nauka, 1968. - 720 p.

12 GOST 59889-2021. Vehicles. Making changes to the design vehicles in use. Technical requirements, technical control and test methods [Electronic resource]. – Access mode: <https://protect.gost.ru>.

© Черевастов М.Г., 2024