

С. И. Кривошапов¹В. А. Зуев¹В. А. Кашканов²

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ АВТОМОБИЛЯ НА СТЕНДЕ С БЕГОВЫМИ БАРАБАНАМИ

¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет²Винницкий национальный технический университет

Топливная экономичность является одним из показателей оценки эффективности подвижного состава. В статье рассмотрены основные причины, которые обуславливают необходимость оценки топливной экономичности дорожно-транспортных средств в процессе эксплуатации. Приведен анализ рекомендаций в нормативно-правовой документации к точности измерения параметров автомобиля. Сформулирована цель работы, которая заключается в разработке мероприятий для повышения точности измерений при стендовых испытаниях автомобилей. Рассмотрены главные особенности измерения расхода топлива на имитационном стенде с беговыми барабанами. Представлены формулы для расчета путевого расхода топлива на дороге и на стенде с беговыми барабанами. Определен критерий подобия дорожных и стендовых испытаний на топливную экономичность автомобиля. Рассмотрены факторы, влияющие на измерение расхода топлива. Составлена общая измерительная схема имитационного стенда. Проанализированы составляющие нагрузочно-скоростных режимов работы стенда. Произведена метрологическая оценка аппаратуры для измерения крутящего момента и скорости вращения приводного вала беговых барабанов. Приведена схема тарирования тензометрической балки, которая применяется для измерения крутящего момента на беговых барабанах стенда и колесах автомобиля. Оценена закономерность изменения выходного канала измерительного сигнала от крутящего момента. Получена характеристика относительной погрешности для двух диапазонов измерений нагрузки. Установлено влияние частоты и количества последовательных измерений на сходимость точности определения расхода топлива, скорости и нагрузки транспортного средства при стендовых испытаниях. Получено оптимальное время измерения с допустимой точностью. Получена зависимость общей погрешности измерения расхода топлива на стенде с беговыми барабанами с учетом точности замера, обработки и дискретизации сигнала. Оценено влияние частоты дискретизации аналогово-цифрового преобразования. Разработаны выводы и рекомендации, указаны основные пути дальнейших исследований.

Ключевые слова: автомобиль, диагностика, техническое состояние, оборудование, измерение, точность, стенд с беговыми барабанами, расход топлива.

Введение

Эффективность дорожно-транспортных средств оценивается эксплуатационными свойствами: динамичностью, управляемостью, устойчивостью и др. [1] Топливная экономичность является одним из потребительских свойств автомобиля, заключающаяся в рациональном использовании энергии.

Расход топлива может выступать показателем, который характеризует дорожные, транспортные и атмосферно-климатические условия эксплуатации автомобилей [2]. По суммарному расходу топлива предложено корректировать периодичность технического обслуживания и ресурс машин [3]. Отклонение расхода топлива от нормативного значения – диагностический признак нарушения работоспособности в узлах и агрегатах автомобиля [4]. Поэтому, в процессе эксплуатации необходимо контролировать фактическое значение расхода топлива транспортного средства.

Постановка проблемы в общем виде

Расход топлива можно измерять на дороге или на специальных имитационных стендах с беговыми барабанами. Использовать имитационное оборудование проще, поскольку не требует ровных участков дороги, однако на стенде необходимо полностью повторять нагрузочно-скоростной режим, соответствующий движению автомобиля по дороге. Измерительная аппаратура получает информацию о состоянии автомобиля на стенде через датчики, которые должны обладать приемлемой точностью.

Погрешность нормирования расхода топлива [5] в эксплуатационных условиях должно производиться не выше $\pm 0,1$ л/100 км. Согласно положения [7], точность измерения расхода топлива должна быть не менее 1 %, а скорости движения – до 1 % на дороге и 0,5 км/ч на стенде, времени и пути – до 0,5 %.

Нагрузочно-тормозное устройство стенда также косвенно оказывает влияние на значение расхода топлива, которое непременно необходимо учитывать.

Анализ публикаций

Расход топлива дорожно-транспортных средств в Украине нормируется и ограничивается на законодательном уровне [5]. Разработаны расчетные методики и математические модели определения расхода топлива для каждой модели автомобиля [6]. Разработаны экспериментальные методики дорожных и стендовых испытаний автомобиля на топливную эффективность [7]. Для проведения стендовых испытаний широко используются специальные стенды с беговыми барабанами [8]. Внедряются средства мониторинга состояния машин в процессе эксплуатации [9].

Постановка задачи

Цель исследования – повышение точности измерения расхода топлива при стендовых испытаниях дорожно-транспортных средств. Для этого необходимо: предложить измерительную схему имитационного оборудования; оценить факторы, влияющие на точность измерения расхода топлива; произвести метрологическую оценку нагрузочно-скоростного устройства стенда с беговыми барабанами; установить влияние достоверности измерений от временных характеристик.

Изложение основного материала исследования

Расход топлива зависит от нагрузочного и скоростного режима движения автомобиля. Определение расхода топлива на дороге и на стенде с беговыми барабанами отличается. Согласно [13] расход топлива на дороге рассчитывается:

$$Q = \frac{1}{\eta_i} \left[A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a + C \cdot (G_0 \cdot \psi + 0.077 \cdot kF \cdot V_a^2) \right], \quad (1)$$

где η_i – индикаторный КПД двигателя; G_0 – вес автомобиля в нормированном состоянии, Н; ψ – суммарное дорожное сопротивление; kF – фактор обтекаемости, $\text{Н} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-2}$; V_a – скорость движения автомобиля, км/ч; i_k – передаточное число коробки передач; A, B, C – коэффициенты конструкции автомобиля и качества топлива.

На дороге необходимо учитывать: сопротивление воздуха, уклон дороги, потери от дороги, инерцию автомобиля.

Расход топлива на стенде с беговыми барабанами [13]

$$Q = \frac{1}{\eta_i} \left[A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a + C \cdot (G_a \cdot f_{\bar{o}} + P_{\bar{o}} + P_m) \right], \quad (2)$$

где $f_{\bar{o}}$ – коэффициент сопротивления качению колеса на беговых барабанах; G_a – вес автомобиля, приходящийся на беговые барабаны, Н; $P_{\bar{o}}$ – сила механических потерь в беговых барабанах, Н; P_m – усилие, поглощаемое тормозом стенда, Н;

В ходе стендовых испытаний на расход топлива будут оказывать воздействие параметры стенда: моменты инерции, тормозное усилие, повышенные потери на деформацию шин, изменение распределения массы по осям автомобиля.

Для имитации реального движения автомобиля используется стенд с беговыми барабанами. Роликовые стенды измеряют мощность и скорость воздействия вращающейся поверхности на колеса автомобиля. Достоинство стенда: неподвижность автомобиля в пространстве, широкий диапазон изменения нагрузки, измерение силы в пятне контакта между колесом и опорной поверхностью. Общая схема подключения контрольно-измерительного оборудования приведена на рис. 1.

При проведении стендовых испытаний на топливную экономичность должна быть обеспечена идентичность нагрузочного режима, соответствующего дорожному испытанию [7]. Это будет обеспечено, если приравнять выражения (1) и (2). Тогда стенд будет создавать тормозное усилие

$$P_m = G_0 \cdot \psi + 0.077 \cdot kF \cdot V_a^2 - G_a \cdot f_{\bar{o}} - P_{\bar{o}} - P_m. \quad (3)$$

Из этой формулы видно, что на расход топлива на стенде с беговыми барабанами будет оказывать влияние точность определения скорости и тормозного усилия.

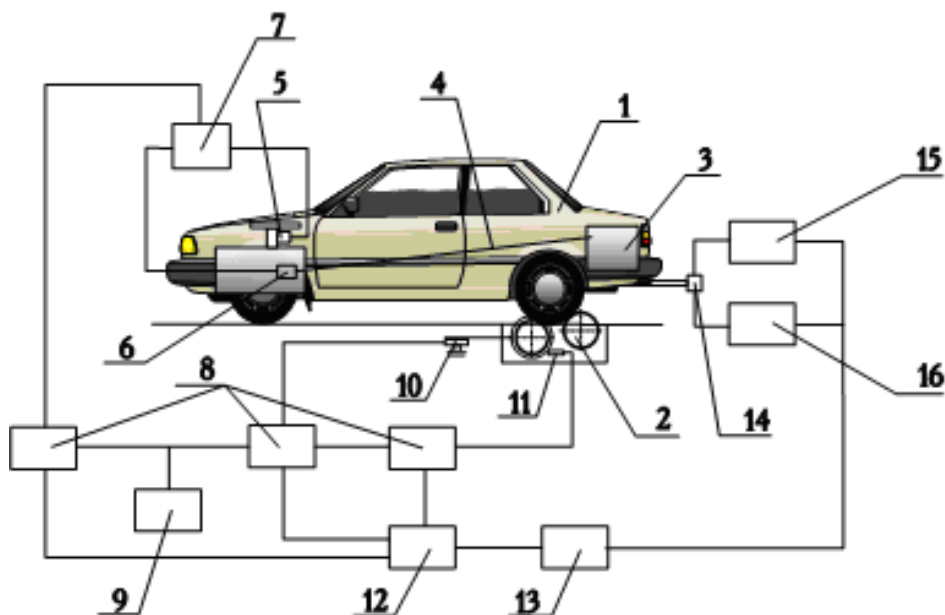


Рис. 1. Схема определения расхода топлива на стенде с беговыми барабанами: 1 – автомобиль; 2 – стенд с беговыми барабанами; 3 – автомобильный топливный бак; 4 – топливопровод; 5 – инжектор; 6 – топливный насос; 7 – расходомер топлива; 8 – усилители электрического сигнала; 9 – источник электрического питания; 10 – тензометрический датчик крутящего момента; 11 – датчик измерения угловой скорости колеса; 12 – АЦП; 13 – ПЭВМ; 14 – газо-приемник с влагоотделителем и фильтром; 15 – прибор для проверки CO и CH; 16 – прибор для проверки NOx

Нагрузка на колесах автомобиля оценивается тензометрической балкой, которая измеряет крутящий момент на корпусе тормозного устройства стенда. Тарировка тензометрической балки заключается в сопоставлении показаний измерительной аппаратуры эталонному моменту. В качестве эталона принимался момент на плече в 1 м, создаваемый выверенными мерными грузилами. Для этого на балансирном гидравлическом моторе жестко закреплялся рычаг в виде консольной балки, на другом конце которого, устанавливалась специальная чашка для размещения мерного груза. Схема тарировки тензобалки приведена на рис. 2.

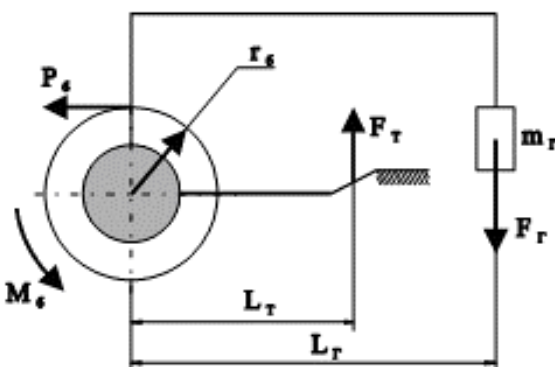


Рис. 2. Схема тарировки тензобалки

Величина максимального веса, необходимого при тарировке тензобалки, выбирают из расчета реализации максимального момента, который может быть создан нагрузочным устройством. Номинальный момент, развиваемый мотором-насосом РМНА-63/320, установленным в качестве нагрузочного устройства на стенде с беговыми барабанами, составляет $M_{ном} = 220$ Н·м. При этом моменте сила, действующая на тензобалку,

$$F_T = \frac{M_{ном}}{L_T} = \frac{220}{0.45} = 490 \text{ Н.} \quad (4)$$

Момент на плече L_T

$$M_{ном} = F_T \cdot L_T, \text{ Н·м.} \quad (5)$$

Отсюда

$$F = \frac{M_{ном}}{L_{\Gamma}} = \frac{220}{1} = 220 \text{ Н, что соответствует 22,5 кг.} \quad (6)$$

Эта величина была принята за верхний предел шкалы, в то время как за нижний предел - нулевая отметка.

Оценка степени равномерности показаний измерительной аппаратуры тензобалки, а также оценка величины гистерезисных потерь и оценка ошибки измерений производились сопоставлением показаний величины момента на нагрузочном устройстве, полученного по тензобалке и величины момента, полученного погрузкой массы при варьировании различной величины массы. Результаты замеров представлены в виде графика на рис. 3 (а).

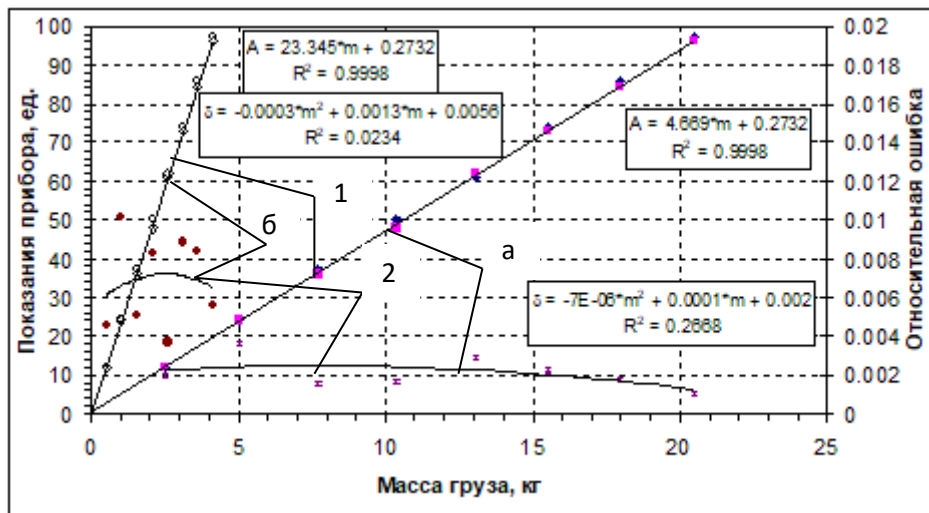


Рис. 3. Тарировочный график тензометрической балки (1) и относительной ошибки (2): а – основной диапазон; б – малый диапазон.

Измерительная система не выдерживает требованиям по точности измерения крутящего момента при малых погрузках, поэтому полученный сигнал усиливался с коэффициентом усиления 5. Тогда измерительная шкала способна измерить максимальный крутящий момент

$$M_{ном} = \frac{220}{5} = 44 \text{ Н·м,} \quad (7)$$

что соответствует тяговой силе

$$P_{\delta} = \frac{M_{ном}}{r_{\delta}} = \frac{44}{0.11935} = 370 \text{ Н.} \quad (8)$$

В этом случае максимальный вес груза, необходимого для проведения тарировки

$$F_{\Gamma} = \frac{M_{ном}}{L_{\Gamma}} = 44 \text{ Н.} \quad (9)$$

Тарировочные графики при дополнительном усилении сигнала с тензодатчика приведены на рис. 3 (б).

Для пересчета показаний на шкале прибора в значение момента на барабане использовалась зависимость, полученная при многократной тарировке тензобалки при последовательной погрузке и разгрузке погрузочного устройства отдельно для большого и для малого диапазона.

Максимальное отклонение фактического значения момента в принятой зависимости составило: $\delta_{m\delta} = 0.012$. В условиях динамической погрузки (при переменном направлении силы) эффект гистерезиса уменьшается, следовательно, погрешность замера крутящего момента на барабанах стенда при статическом испытании соответствует максимальному значению.

Скорость автомобиля на стенде с беговыми барабанами определяется оптическим датчиком, измеряющего время прохождения между двумя прорезями. Вопросу оценки точности измерения скорости посвящены отдельные исследования [14, 15].

Для определения погрешности аналогово-цифрового преобразования необходимо выразить скорость через временную составляющую Δt .

Для скорости Δt – время прохождения двух соседних прорезей обтюратора:

$$\Delta t_v = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{N_{II} \cdot V_6 / 3.6}, \quad (10)$$

где N_{II} – количество прорезей на обтюраторе; V_6 – измеряемая скорость вращения барабанов, км/ч.

Тогда, погрешность аналогово-цифрового преобразования для скорости

$$\Delta \delta_{ac-v} = \frac{V_6 \cdot N_{II}}{7.2 \cdot \pi \cdot R \cdot \gamma}. \quad (11)$$

Как видно из зависимостей на точность определения скорости влияет значения измеряемого параметра. С уменьшением измеряемой величины скорости, из-за уменьшения времени на дискретизацию, точность аналогово-цифрового преобразования падает.

Расход топлива измеряется поршневым расходомером, метрологическая оценка которого исследована в работе [16].

На точность определения расхода топлива оказывает влияние стабильность поддержания постоянного скоростного и погрузочного режимов на заданном уровне на всем протяжении измерения.

На рис. 4–6 показаны также графики средней квадратичной ошибки для измеряемых параметров, представляющие собой «вклад» i -го измерения в общую ошибку, полученную за «бесконечное» время замера.

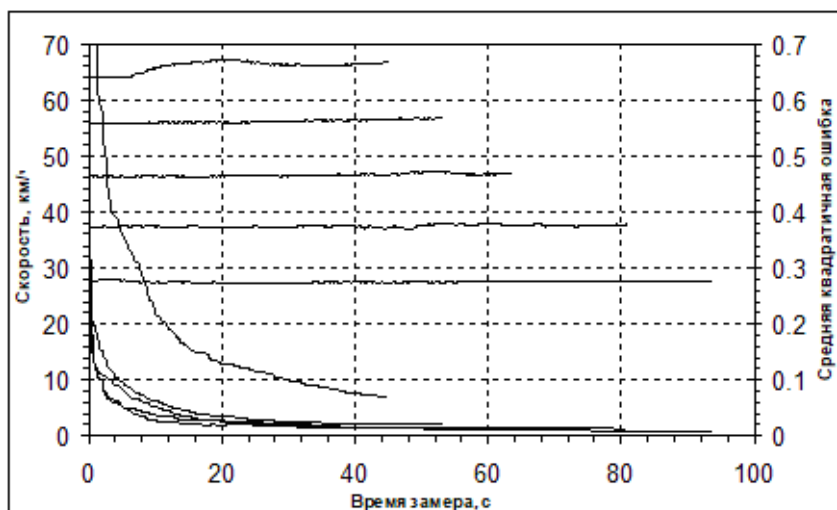


Рис. 4. Графики изменения «мгновенной» скорости и относительной ошибки i -го значения в процессе диагностирования при различных скоростях

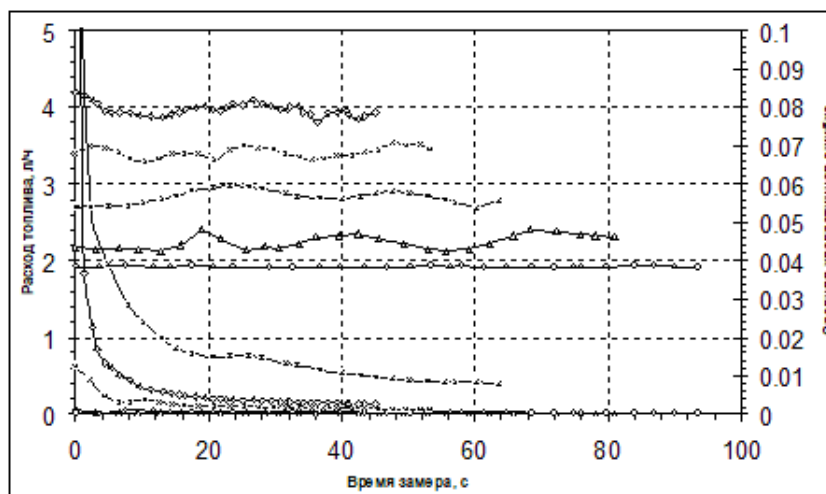


Рис. 5. Графики изменения «мгновенного» расхода топлива и относительной ошибки i -го значения в процессе диагностирования при различных скоростях

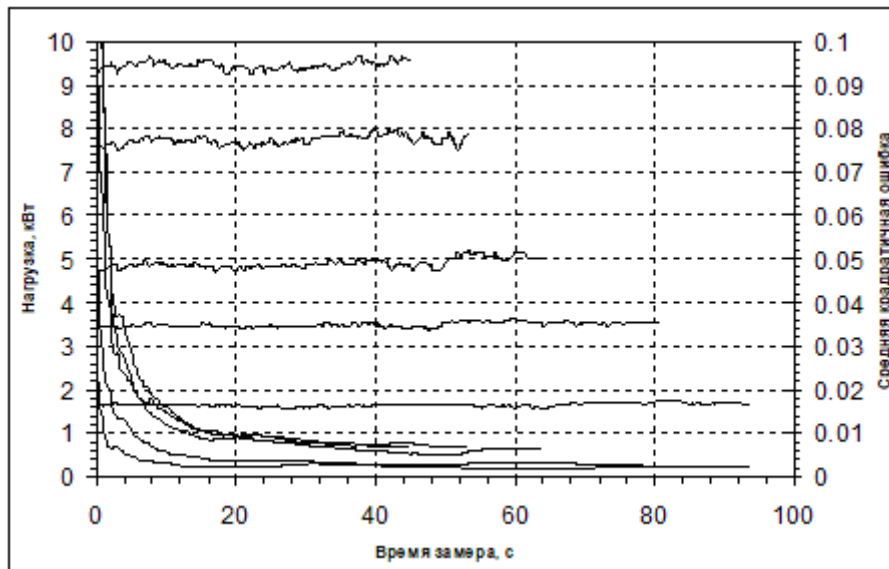


Рис. 6. Графики изменения «мгновенного» крутящего момента и относительной ошибки i -го значения в процессе диагностирования при различных скоростях

Инертность в измерении расхода топлива и крутящего момента оказывает, с одной стороны, стабилизирующее действие, так как сглаживаются резкие изменения измеряемого параметра, а с другой, требуется определенное время для стабилизации показаний. С увеличением времени одного замера стабилизируется точность измеряемых величин до определенного значения. Дальнейшее увеличение времени замера уже не оказывает влияние на точности измерения, а определяется микроизмерениями нагрузочно-скоростного режима.

Для определения предельного времени замера, в течение которого можно получить значение измеряемого параметра с максимальной точностью, были получены мгновенные значения расхода топлива, крутящего момента и скорости, для различных режимов «движения» автомобиля на стенде с беговыми барабанами (см. рис. 4–6).

Из приведенных рисунков видно, что стабилизация замера всех измеряемых величин наступает уже через 40 с. С уменьшением скорости «движения» автомобиля на стенде стабилизация возрастает. Максимальная погрешность, возникающая из-за нарушения режима замера, не превышает для скорости – 0,1; для расхода топлива – 0,01; для нагрузки – 0,007. Наиболее инертным параметром является расход топлива, а нестабильным – скорость движения.

Повысить стабилизирующий эффект можно путем введения в измерительную схему канала обратной связи, но это требует изменения системы управления нагрузкой приводом стенда с беговыми барабанами.

Общая погрешность измерений определялась по точности проведенных измерений и составляла:

$$\delta_{uz} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_{Ni}}{N_i} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_{Qi}}{Q_i} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_{Vi}}{V_i}}{n}, \quad (12)$$

где δ_{Ni} , δ_{Qi} и δ_{Vi} – погрешность i -го замера при определении соответственно мощности, расхода топлива и скорости; N_i , Q_i и V_i – значение i -го замера соответственно мощности, расхода топлива и скорости.

Общая погрешность определялась с учетом погрешности замера, точности измерения и аналогово-цифрового преобразования.

Выводы

При разработке методики экспериментального исследования необходимо обеспечить максимально возможное снижение погрешности измерения. Для повышения точности получения результатов необходимо обеспечить: максимальную точность измеряемых параметров на всем допустимом диапазоне их изменения; достаточную точность определения и поддержания на заданном уровне режима движения автомобиля на стенде; оптимальную точность и скорость при передаче, обработке и хранении информации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] В. К. Вахламов, *Автомобили : эксплуатационные свойства*. Москва: Academia, 2012.
- [2] Н. Я. Говорущенко, *Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте*. Москва: Транспорт, 1990.
- [3] *Положение о профилактическом обслуживании и ремонте транспортных машин (Методические рекомендации)*. Харьков: РИО ХГАДТУ, 1998.
- [4] Н. Я. Говорущенко, Ю. В. Горбик, и С. И. Кривошапов, «Алгоритм диагностирования автомобиля по индикаторному расходу топлива в агрегатах», *Вісник СевНТУ*. Вип. 121/2011, с. 26-29, 2011.
- [5] Нормативний документ, затверджений Міністерством інфраструктури України 07.10.2011. *Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті*. Київ: ДержавтотрансНДІпроект», 2012, 120 с.
- [6] Н. Я. Говорущенко, *Системотехника автомобільного транспорту (расчетные методы исследований)*. Харьков: ХНАДУ, 2011.
- [7] ГОСТ 20306-90. Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний». URL: <http://www.vashdom.ru/gost/20306-90/>. (дата обращения: 15.04.2021).
- [8] Э. Х. Рабинович. «Исследование и совершенствование методов и средств стендовой проверки автомобильных тормозов». автореф. канд. техн. наук; 05.22.10. Харьков: ХАДИ, 1981.
- [9] Р. Н. Сафиуллин, и М. А. Керимов, *Интеллектуальные бортовые системы на автомобильном транспорте*. Москва: Директ-Медиа, 2017.
- [10] Э. И. Цветков, *Процессорные измерительные средства*. Ленинград: Энергоавтомиздат, 1989.
- [11] В. А. Брднер. *Измерительные приборы (теория, расчет, проектирование)*. Москва: Изд-во стандартов, 1986.
- [12] Я. М. Вильнер, Я. Т. Ковалев, и Б. Б. Некрасов, *Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам*. Минск: Вышэйш. школа, 1976.
- [13] Н. Я. Говорущенко, и А. Н. Туренко, *Системотехника транспорта (на примерах автомобильного транспорта)*. Харьков: РИО ХГАДТУ, 1998, Т. 1.
- [14] И. А. Мармут и Ю. В. Зыбцев. «Методика поверки измерительной системы инерционного роликового стенда». *Автомобильный транспорт*, Вып. 29, с. 207-217, 2011.
- [15] И. А. Мармут, и В. И. Мармут. «Методика поверки канала измерения скорости инерционного стенда с беговыми барабанами». *Автомобильный транспорт*, Вып. 22, с. 53-57, 2008.
- [16] С. І. Кривошапов, «Оцінка точності і достовірності вимірювання витрат палива». *Технічний сервіс агропромислового лісового та транспортного комплексів*, № 22, с. 90-97, 2020. DOI 10.37700/ts.2020.22.90-97.

Кривошапов Сергей Иванович – канд. техн. наук., доцент, доцент кафедры технической эксплуатации и сервиса автомобилей им. проф. Говорущенко Н. Я., e-mail: tesa@khadi.kharkov.ua.

Зув Владимир Александрович – ассистент кафедры технической эксплуатации и сервиса автомобилей им. проф. Говорущенко Н. Я., e-mail: Vlal/zuiev@gmail.com.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Харьков.

Кашканов Виталий Альбертович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автомобилей и транспортного менеджмента, e-mail: kash_2004@ukr.net.

Винницкий национальный технический университет, г. Винница.

S. Krivoshepov¹

V. Zuyev¹

V. Kashkanov²

Estimation of the accuracy of measuring vehicle parameters on the stand with running drums

¹Kharkov National Automobile and Highway University

²Vinnitsia National Technical University

Fuel efficiency is one of the indicators for evaluating the efficiency of rolling stock. The article discusses the main reasons that determine the need to assess the fuel efficiency of road vehicles during their operation. An analysis of recommendations for the accuracy of measuring vehicle parameters in regulatory documents was given. The goal of the work was formulated, which is to develop measures to improve the accuracy of measurements during bench tests of cars. The main features of measuring fuel consumption on a simulation stand with running drums were considered. Formulas for calculating fuel travel on the road and on the stand with running drums were presented. A criterion for the similarity of road and bench tests for the fuel efficiency of a car was determined. The factors that influence the measurement of fuel consumption were considered. The general measuring scheme of the simulation bench was drawn up. The components of the load-speed modes for the stand operation were analyzed. A metrological assessment was made of the equipment used to measure the torque and rotation speed of the drive shaft of the running drums. A diagram of the calibration process of a strain gauge beam was given, which is used to measure the torque on the running drums of the stand and the wheels of a car. An assessment was made of the regularity of the change in the output channel of the measuring signal from the torque. The characteristic of the relative error was obtained for two ranges of load measurements. The influence of the frequency and number of successive measurements on the convergence of the accuracy of determining the fuel consumption, speed and load of the vehicle during bench tests was established. The optimal measurement

time was obtained with an acceptable accuracy. The general dependence of the total error in measuring fuel consumption on a stand with running drums was obtained, taking into account the accuracy of measuring, processing and sampling the signal. The influence of the sampling frequency of the analog-to-digital conversion on the measurement accuracy was assessed. Conclusions and recommendations were developed, which indicated the main avenues for further research.

Key words: car, diagnostics, technical condition, equipment, measurement, accuracy, stand with running drums, fuel consumption.

Krivoshapov Sergey – Ph. D. (Eng), Associate Professor, Associate Professor of Technical operations and service of cars name after prof. Govorushchenko N.Ya. Department, e-mail: tesa@khadi.kharkov.ua.

Zuyev Vladimir – Associate, Associate of Technical operations and service of cars name after prof. Govorushchenko N.Ya. Department, e-mail: Vlal/zuiev@gmail.com.

Kashkanov Vitaliy – Ph. D. (Eng), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, e-mail: kash_2004@ukr.net.

С. І. Кривошапов¹

В. О. Зуєв¹

В. А. Кашканов²

Оцінка точності вимірювання параметрів автомобіля на стенді з біговими барабанами

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

²Вінницький національний технічний університет

Паливна економічність є одним з показників оцінки ефективності рухомого складу. У статті розглянуто основні причини, які обумовлюють необхідність оцінки паливної економічності дорожньо-транспортних засобів в процесі експлуатації. Наведено аналіз рекомендацій в нормативно-правовій документації до точності вимірювання параметрів автомобіля. Сформульовано мету роботи, яка полягає в розробці заходів для підвищення точності вимірювань при стендових випробуваннях автомобілів. Розглянуто головні особливості вимірювання витрати палива на імітаційному стенді з біговими барабанами. Представлено формули для розрахунку шляхової витрати палива на дорозі і на стенді з біговими барабанами. Визначено критерій подібності дорожніх і стендових випробувань на паливну економічність автомобіля. Розглянуто чинники, що впливають на вимірювання витрати палива. Складено загальну вимірювальну схему імітаційного стенду. Проаналізовано складові навантажувально-швидкісних режимів роботи стенда. Проведено метрологічну оцінку апаратури для вимірювання крутного моменту і швидкості обертання приводного вала бігових барабанів. Наведено схему тарування тензометричної балки, яка застосовується для вимірювання крутного моменту на бігових барабанах стенда і колесах автомобіля. Оцінена закономірність зміни вихідного каналу вимірювального сигналу від крутного моменту. Отримано характеристика відносної похибки для двох діапазонів вимірювань навантаження. Встановлено вплив частоти і кількості послідовних вимірювань на збіжність точності визначення витрати палива, швидкості і навантаження транспортного засобу при стендових випробуваннях. Отримано оптимальний час вимірювання з допустимою точністю. Отримано залежність загальної похибки вимірювання витрати палива на стенді з біговими барабанами з урахуванням точності вимірювання, обробки і дискретизації сигналу. Оцінено вплив частоти дискретизації аналогово-цифрового перетворення. Розроблено висновки та рекомендації, вказані основні шляхи подальших досліджень.

Ключові слова: автомобіль, діагностика, технічний стан, обладнання, вимірювання, точність, стенд з біговими барабанами, витрата палива.

Кривошапов Сергей Иванович – канд. техн. наук., доцент, доцент кафедри технічної експлуатації і сервісу автомобілів ім. проф. Говорущенка М. Я., e-mail: tesa@khadi.kharkov.ua.

Зуєв Володимир Олександрович – асистент кафедри технічної експлуатації і сервісу автомобілів ім. проф. Говорущенка М. Я., e-mail: Vlal/zuiev@gmail.com.

Кашканов Віталій Альбертович – канд. техн. наук., доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: kash_2004@ukr.net.