

УДК 629.113+519.652+006.86

Кривошапов С.И. «Оцінка точності і достовірності вимірювання витрат палива»

Розглянуто необхідність визначення фактичного значення витрати палива під час експлуатації дорожньо-транспортних засобів. По витраті палива можна оцінювати складність умов експлуатації, технічний стан автомобіля, коригувати періодичність технічних впливів, розраховувати ресурс машин. Від витрати палива залежить вартість транспортної операції і інтенсивність забруднення навколишнього середовища. Законодавство обмежує споживання палива, накладає обмеження на точність вимірювання і умови випробування. Розглянуто чинники, що впливають на вимірювання витрати палива. Витрата палива визначається аналітичними і експериментальними методами. Фактичні витрати палива вимірюються за рівнем палива в баку, за даними з контролера блоку управління двигуном (*k-line*, *CAN Buss*), шляхом вимірювання потоку палива, що надходить по паливопроводу від бака до форсунок. В останньому випадку застосовуються непрямі методи вимірювання витрати: виміри силового впливу потоку, перепад тиску, швидкості потоку, часу заповнення мірного обсягу. Проаналізовано переваги та недоліки основних типів витратоміра палива. Дослідження проводилися на поршневому витратомірі палива. Після виміру необхідно виконати наступні аналогового, аналогово-цифрового і чисельного перетворення. Розроблено схему тарировки витратоміра. Зроблено оцінку загальної похибки. Отримано значення абсолютної і відносної похибки на всьому діапазоні вимірюваного показника. Проведено обробку результатів вимірювання методом регресійного аналізу. Отримано коефіцієнти лінійної коригування робочого об'єму витратоміра палива. Зроблено оцінку максимальної помилки за коефіцієнтом детермінації. Запропоновано в програму контролера управління витратоміром включати процедуру коригування та урахування похибки. Розроблено висновки та рекомендації, вказані основні шляхи подальших досліджень.

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

Кривошапов С.И. «Оценка точности и достоверности измерения расхода топлива»

Рассмотрены необходимость определения фактического значения расхода топлива во время эксплуатации дорожно-транспортных средств. По расходу топлива можно оценивать сложность условий эксплуатации, техническое состояние автомобиля, корректировать периодичность технических воздействий, рассчитывать ресурс машин. От расхода топлива зависит стоимость транспортной операции и интенсивность загрязнения окружающей среды. Законодательство ограничивает потребление топлива, накладывает ограничение на точность измерения и условия испытания. Рассмотрены факторы, влияющие на измерение расхода топлива. Расход топлива определяется аналитическими и экспериментальными методами. Фактический расход топлива измеряется по уровню топлива в баке, по данным с контроллера блока управления двигателем (*k-line*, *CAN Buss*), путем измерения потока топлива, поступающего по топливопроводу от бака к форсункам. В последнем случае применяются косвенные методы измерения расхода: измерения силового воздействия потока, перепад давления, скорости потока, времени заполнения мерного объема. Проанализированы достоинства и недостатки основных типов расходомера топлива. Исследования проводились на поршневом расходомере топлива. После измерения необходимо выполнить последующие аналогового, аналогово-цифрового и численного преобразования. Разработана схема тарировки расходомера. Произведена оценка общей погрешности. Получены значения абсолютной и относительной погрешности на всем диапазоне измеряемого показателя. Проведена обработка результатов измерения методом регрессионного анализа. Получены коэффициенты линейной корректировки рабочего объема расходомера топлива. Произведена оценка максимальной ошибки по коэффициенту детерминации. Предложено в программу контроллера управления расходомером включать процедуру корректирования и учета погрешности. Разработаны выводы и рекомендации, указаны основные пути дальнейших исследований.

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

Krivoshepov S.I. "Evaluation of accuracy and reliability of measuring fuel consumption"

The necessity of determining the actual value of fuel consumption during the operation of road vehicles is considered. The fuel consumption can be used to assess the complexity of operating conditions, the technical condition of the vehicle, adjust the frequency of technical impacts, and calculate the life of the machines. The cost of the transport operation and the intensity of environmental pollution depend on fuel consumption. Legislation limits fuel consumption, limits the accuracy of measurements and test conditions. The factors affecting the measurement of fuel consumption are considered. Fuel consumption is determined by analytical and experimental methods. Actual fuel consumption is measured by the fuel level in the tank, according to the data from the controller of the engine

control unit (k-line, CAN Buss), by measuring the flow of fuel entering the fuel line from the tank to the nozzles. In the latter case, indirect methods of measuring the flow are used: measuring the force effect of the flow, pressure drop, flow rate, time of filling the measured volume. The advantages and disadvantages of the main types of fuel flow meter are analyzed. Research was conducted on a piston fuel flow meter. After the measurement, it is necessary to perform the subsequent analog, analog-to-digital and numerical conversion. A flow meter calibration scheme has been developed. The estimation of the total error. The absolute and relative error values are obtained over the entire range of the measured indicator. The measurement results were processed by regression analysis. The coefficients of linear adjustment of the working volume of the fuel flow meter are obtained. The maximum error was estimated by the coefficient of determination. It is proposed to include in the program of the flowmeter control controller the procedure for correcting and accounting for errors. Conclusions and recommendations are developed, the main ways of further research are indicated.

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

Введение

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

Актуальность проблемы

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

Анализ последних достижений

В процессе эксплуатации расход топлива транспортных средств автомобильного транспорта в Украине ограничивается на законодательном уровне [5]. Разработаны математические модели расчета потребления топлива в зависимости от конструкции и условий эксплуатации [6]. Предусмотрено проведение дорожных и стендовых испытаний автомобиля на топливную эффективность [7]. Для имитации нагрузочного и скоростного режима применяют специальные стенды с беговыми барабанами [8]. Предложены средства непрерывного мониторинга основных параметров машин в процессе эксплуатации [9].

Формулирование цели исследования

Цель исследования – определение достоверности и оценка точности измерения расхода топлива. Для этого необходимо: оценить факторы, влияющие на точность измерения расхода топлива; оценить погрешность поршневого расходомера; произвести метрологическую оценку абсолютной и относительной ошибки в рабочем диапазоне расхода.

Результаты исследования

На автомобиле расход топлива принято измерять в массовых (кг) и объемных (л) единицах. Причем, массовые единицы применяются в лабораторных измерениях, а объемные – в процессе эксплуатации. Различают расходомеры измеряющие: объем, перепад давления (постоянного и переменного), силу, скорости вращения, изменение

температуры, времени распространения ультразвука, степень вихреобразования, изменение электромагнитного поля и др. [11].

Принцип работы объемных расходомеров заключается в том, что жидкость поступает в измерительные камеры определенного объема, снабженные подвижными вытеснителями, с помощью которых камеры попеременно заполняются и опорожняются [12].

Объемные расходомеры топлива имеют ряд достоинств: прямое измерение, простота исполнения, высокая точность (особенно при малых расходах), не требует сложной обработки измеряемых величин, малая чувствительность к изменению физических свойств жидкости. По исполнению объемные расходомеры могут быть: шестеренчатыми, дисковыми, лопастными, поршневыми, кольцевыми и др.

Точность измерения расхода топлива [7] должна быть не менее 1 %, скорости движения – до 1 % на дороге и 0.5 км/ч на стенде, времени и пути – до 0.5 %.

Исследования проводились на поршневом расходомере топлива. На рис. 1 представлена принципиальная схема расходомера топлива.

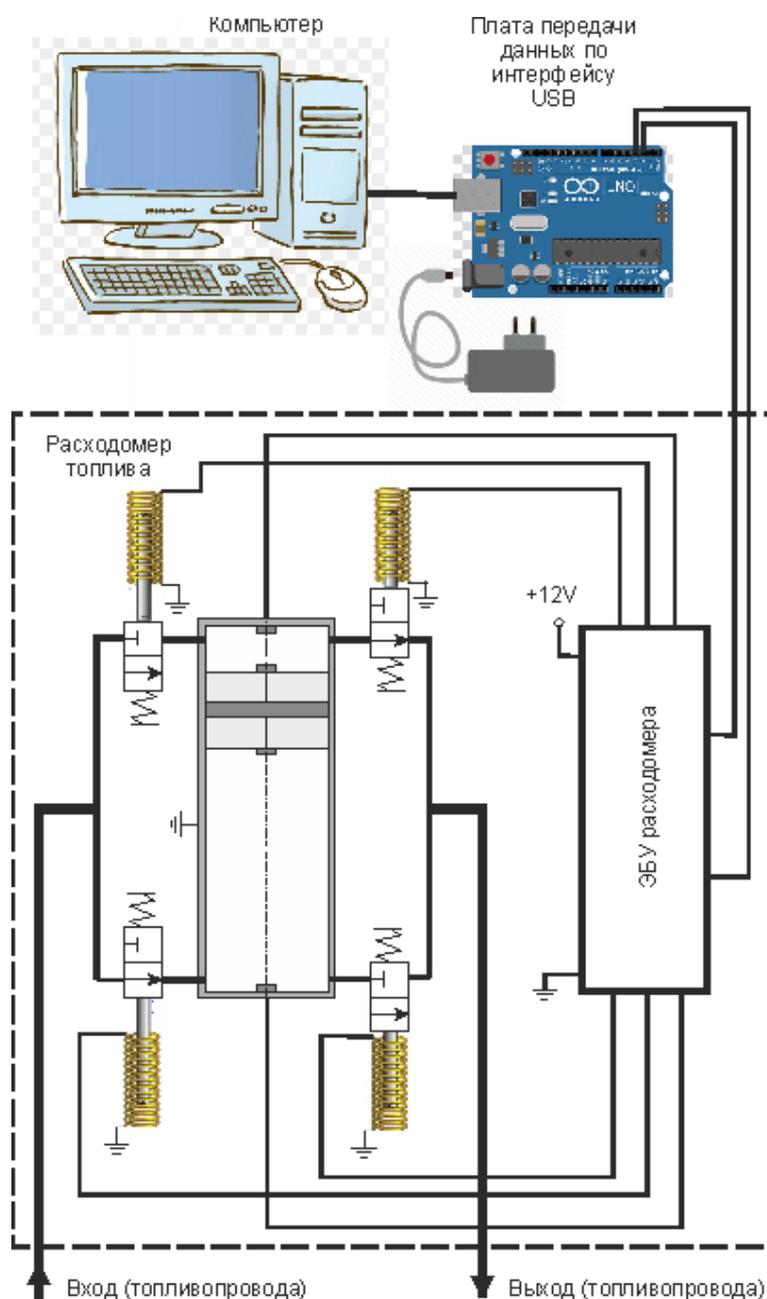


Рис.1. Схема расходомера топлива

Расходомер топлива устанавливается в разрыв топливопровода, между насосом и форсунками (топливной рампой). В системах с обратной топливной магистралью необходимо установить второй расходомер топлива в магистрали слива топлива.

В расходомере топливо поступает попеременно в одну из двух секций цилиндра, разделенного подвижным поршнем. Из другой секции топливо выводится из расходомера. По достижении поршнем крайнего положения ЭБУ, с помощью электрических реле и электромагнитных клапанов, изменяет подачу топлива по секциям цилиндра.

Расход топлива пропорционален частоте переключений состояния электромагнитных клапанов или скорости перемещения поршня.

Информация о расходе топлива выводится на информационный дисплей, подключенный к ЭБУ расходомера. Также время между переключениями состояния расходомера топлива, через интерфейсную плату (Arduino Uno) передается по протоколу USB на компьютер, для последующего анализа.

Оценку погрешности измерения расхода топлива и тарировку расходомера производилась на специальном стенде (рис. 2). Этот стенд позволяет имитировать работу топливной системы автомобиля. Он состоит из бака с топливом (1), из которого по специальному трубопроводу (2) с помощью топливного насоса (3), приводимого электродвигателем (8), топливо через фильтр (4) и дроссель (6) поступает в мерную колбу (7). Расходомер топлива (5) устанавливается между фильтром (4) и дросселем (6). Регулирование расхода топлива производится измерением пропускной способности дросселя (6).

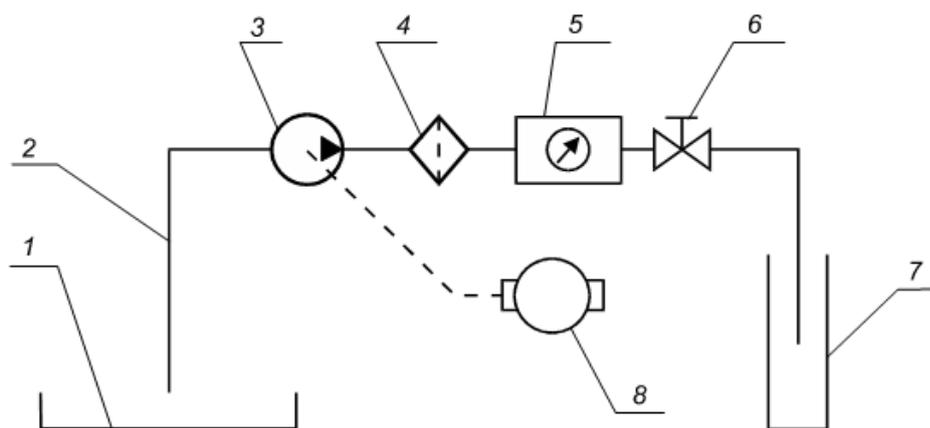


Рис.2. Схема проверки расходомера топлива

1 - топливный бак; 2 – топливный трубопровод; 3 – топливный насос; 4 – топливный фильтр тонкой очистки; 5 – расходомер топлива; 6 – дроссель; 7 – мерная колба; 8 – электродвигатель

Эталонный расход топлива определяется по количеству топлива, пропущенного через расходомер в мерную колбу за определенное время при некоторой постоянной подаче топлива:

$$Q_u = \frac{V_t \cdot 3.6}{t} \quad (1)$$

где V_t - объем топлива, мл;

t - время замера, с.

Расход топлива по показаниям расходомера определялся по формуле:

$$Q_t = \frac{V_n \cdot k \cdot 3600}{t} \quad (2)$$

где V_n - объем рабочего поршня расходомера, м³;

k - число хода поршня.

Путем сравнения расхода топлива, полученного мерным способом, с показаниями расходомера при равных условиях, определялась погрешность расходомера:

$$\delta_{pm} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Q_{ui} - Q_{ti}}{Q_{ui}}}{n}; \quad (3)$$

где n - количества замеров.

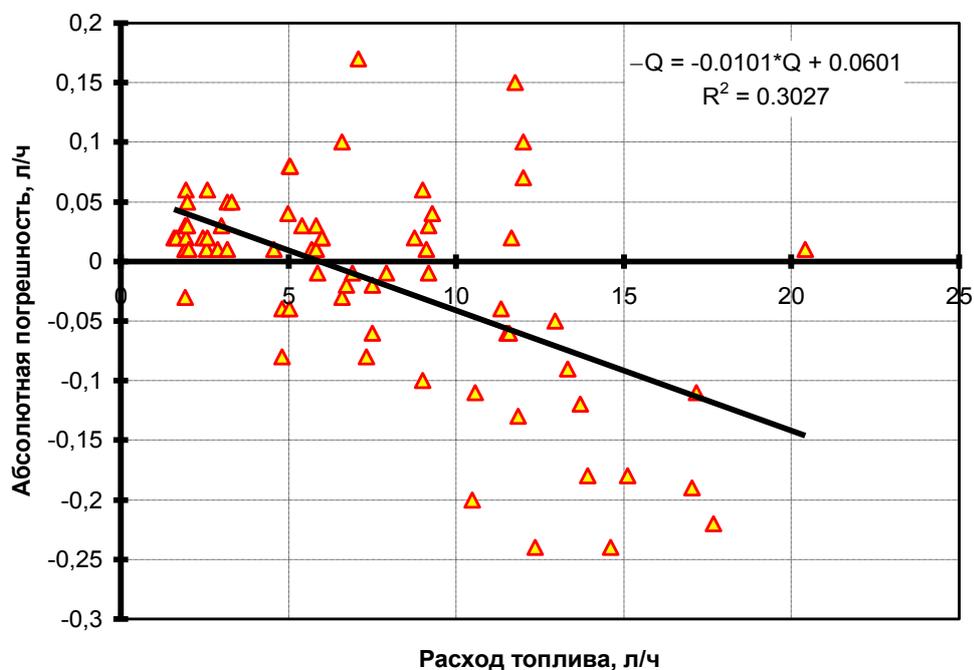


Рис.3. Абсолютная погрешность расходомера топлива при различных значениях расхода топлива

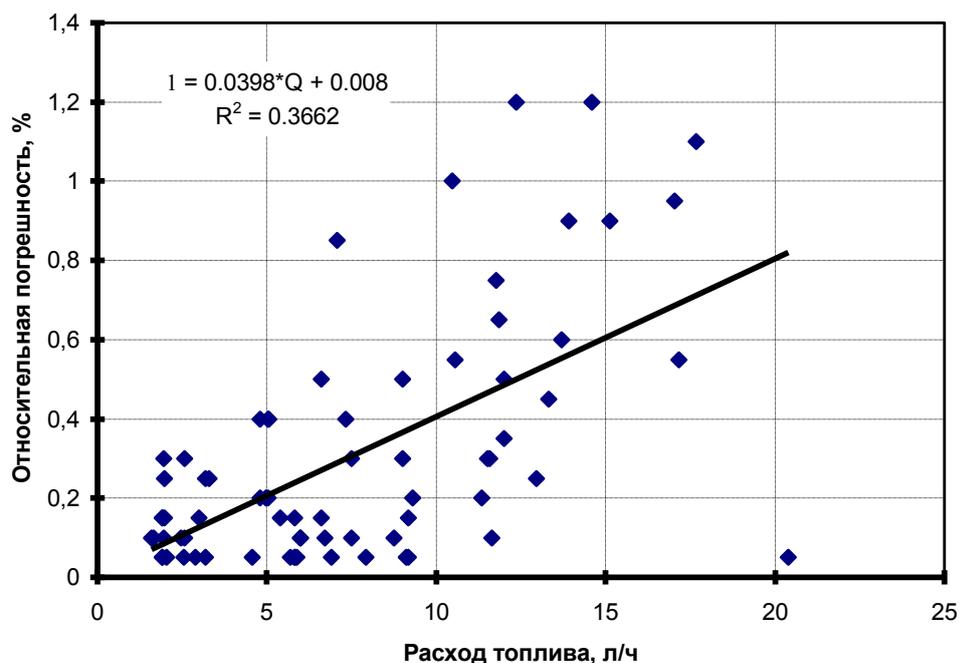


Рис.4. Относительная погрешность расходомера топлива при различных значениях расхода топлива

Погрешность показаний расхода топлива корректировалась изменением величины объема цилиндра расходомера. Истинный объем цилиндра расходомера определялся по зависимости:

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(Q_{ui} - Q_{ti}) \cdot t_i \cdot 1000}{3600 \cdot i}}{n}; \quad (4)$$

Корректировка рабочего объема цилиндра показала, что погрешность расходомера не превышает 1 %, что соизмеримо с нормативным значением [7]. Точность определения расхода топлива выше при измерении малых потоков, а с повышением расхода – точность несколько снижается. Кроме этого, с увеличением расхода топлива увеличивается разброс величин измеряемого расхода (см. рис. 2, 3).

Общая погрешность замера определялась по результатам многократного измерения:

$$\delta_3 = \frac{\sum_{i=1}^n |\bar{Q} - Q_i|}{\bar{Q}}; \quad (5)$$

где $\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}$ - среднее значение расхода топлива автомобиля;

Q_i - текущее значение расхода топлива i -го замера;

n - количества замеров.

Выводы

Система самодиагностирования, встроенная в систему управления двигателем, не обладает средствами непосредственного измерения расхода топлива. Измерение расхода топлива по уровню топлива в баке имеет низкую точностью. Объемный поршневой расходомер топлива, встраиваемый в топливную магистраль автомобиля, позволяет измерять расход топлива с точностью до 1 %. Диапазон измерения расхода топлива – 0 ... 20 л/ч. Максимальное давление – 0.5 МПа. При расходе топлива до 7 л/ч точность измерения максимальная, которая снижается при больших значениях. Достоверность измерений может быть повышена за счет динамической корректировки точности от величины расхода, функция которой встроена в программу ЭБУ расходомером. Достоверность повышается за счет проведения многократных измерений, с последующем усреднением результатов.

Список використаних джерел

1. Вахламов В.К. Автомобили : эксплуатационные свойства. / В.К. Вахламов – 5-е изд. – М.: Academia, 2012. – 240 с.
2. Говорущенко Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте : учебн. пособ. / Н.Я. Говорущенко. – М: Транспорт, 1990. – 135 с.
3. Положение о профилактическом обслуживании и ремонте транс-портных машин (Методические рекомендации). – Харьков: РИО ХГАДТУ, 1998. – 39 с.
4. Говорущенко Н.Я. Алгоритм диагностирования автомобиля по индикаторному расходу топлива в агрегатах [текст] / Н.Я. Говорущенко, Ю.В. Горбик, С.И. Кривошапов. // Вісник СевНТУ : Зб. наукових праць. - Севастополь, СевНТУ, 2011. - Випуск 121/2011. - С. 26-29. - (Серія: Машиноприладобудування та транспорт).

5. Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті. – 3-я ред., доп. та переробл. / Нормативний документ, затверджений Міністерством інфраструктури України 07.10.2011. – Київ: ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2012. – 120 с.
6. Говорущенко Н.Я. Системотехника автомобільного транспорту (расчетные методы исследований) [текст] : монографія / Н.Я. Говорущенко. – Харків: ХНАДУ, 2011 – 292 с.
7. ГОСТ 20306-90. Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний. – Режим доступа: <http://www.vashdom.ru/gost/20306-90/>. (Обращение: 15.09.2020).
8. Рабинович Э.Х. Исследование и совершенствование методов и средств стендовой проверки автомобильных тормозов : автореф. ... канд. техн. наук; 05.22.10 / Э.Х. Рабинович; Харьковский автомобильно-дорожный институт – Харків: ХАДИ, 1981. – 229 с.
9. Сафиуллин Р.Н. Интеллектуальные бортовые системы на автомобильном транспорте : монография / Р.Н. Сафиуллин, М.А. Керимов; Под. ред. Керимова М.А. – Москва; Берлин : Директ-Медиа, 2017. – 355 с.
10. Цветков Э.И. Процессорные измерительные средства. – Л: Энергоавтомиздат. Ленингр. отдние, 1989. – 224 с.
11. Брднер В.А. Измерительные приборы (теория, расчет, проектирование) : учебник для вузов. В 2 т. – Т. 2: Методы измерений, устройств и проектирования приборов. - М.: Изд-во стандартов, 1986. – 224 с.
12. Вильнер Я. М. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам. / Я.М. Вильнер, Я.Т. Ковалев, Б.Б. Некрасов; под ред. Б. Б. Некрасова. – Минск: «Вышэйш. школа», 1976. - 416 с.
13. Говорущенко Н. Я., Туренко А. Н. Системотехника транспорта (на примерах автомобильного транспорта). // В 2-х частях. – Харків: РИО ХГАДТУ, 1998. – Т. 1 – 255 с.; – Т. 2 – 219 с.
14. Мармут, И.А. Методика поверки измерительной системы инерционного роликового стенда / И.А. Мармут, Ю.В. Зыбцев // Автомобильный транспорт : сб. науч. тр. / М-во образования и науки молодежи и спорта Украины, ХНАДУ ; [редкол.: Туренко А.Н. (гл. ред.) и др.] – Х., 2011. – Вып. 29. – С. 207-217.
15. Мармут И.А. Методика поверки канала измерения скорости инерционного стенда с беговыми барабанами / И. А. Мармут, В. И. Мармут // Автомобильный транспорт. - 2008. - Вып. 22. - С. 53-57

References

- 1 Vahlamov V.K. Avtomobili : jekspluatacionnye svojstva. / V.K. Vahlamov – 5-e izd. – М.: Academia, 2012. – 240 s.
- 2 Govorushhenko N.Ja. Jekonomija topliva i snizhenie toksichnosti na avtomobil'nom transporte : uchebn. posob. / N.Ja. Govorushhenko. – М: Transport, 1990. – 135 s.
- 3 Polozhenie o profilakticheskom obsluzhivanii i remonte transportnyh ma-shin (Metodicheskie rekomendacii). – Har'kov: RIO HGADTU, 1998. – 39 s.
- 4 Govorushhenko N.Ja. Algoritm diagnostirovanija avtomobilja po indikatorno-mu rashodu topliva v agregatah [tekst] / N.Ja. Govorushhenko, Ju.V. Gorbik, S.I. Krivoshepov. // Visnik SevNTU : Zb. naukovih prac'. - Sevastopol', SevNTU, 2011. - Vipusk 121/2011. - S. 26-29. - (Serija: Mashinopriladobuduvannja ta transport).
- 5 Normi vitrat paliva i mastil'nih materialiv na avtomobil'nomu transporti. – 3-ja red., dop. ta pererobl. / Normativnij dokument, zatverdzenij Ministers-tvom infrastrukturi Ukraїni 07.10.2011. – Kiїv: DP «DerzhavtotransNDIpro-ekt», 2012. – 120 s.

- 6 Govorushhenko N.Ja. Sistemotehnika avtomobil'nogo transporta (raschetnye metody issledovanij) [tekst] : monografija / N.Ja. Govorushhenko. – Har'kov: HNADU, 2011 – 292 s.
- 7 GOST 20306-90. Avtotransportnye sredstva. Toplivnaja jekonomichnost'. Me-tody ispytanij. – Rezhim dostupa: <http://www.vashdom.ru/gost/20306-90/>. (Ob-rashhenie: 15.02.2020).
- 8 Rabinovich Je.H. Issledovanie i sovershenstvovanie metodov i sredstv sten-dovoj proverki avtomobil'nyh tormozov : avtoref. ... kand. tehn. Nauk; 05.22.10 / Je.H. Rabinovich; Harkovskij avtomobil'no-dorozhnyj institut – Har'kov: HADI, 1981. – 229 s.
- 9 Safiullin R.N. Intellektual'nye bortovye sistemy na avtomobil'nom transporte : monografija / R.N. Safiullin, M.A. Kerimov; Pod. red. Kerimova M.A. – Moskva; Berlin : Direkt-Media, 2017. – 355 s.
- 10 Cvetkov Je.I. Processornye izmeritel'nye sredstva. – L: Jenergoavtomiz-dat. Leningr. otd-nie, 1989. – 224 s.
- 11 Brdner V.A. Izmeritel'nye pribory (teorija, raschet, proektirovanie) : uchebnik dlja vuzov. V 2 t. – T. 2: Metody izmerenij, ustrojstv i proektirova-nija priborov. - M.: Izd-vo standartov, 1986. – 224 s.
- 12 Vil'ner Ja. M. Spravochnoe posobie po gidravlike, gidromashinam i gidro-privodam. / Ja.M. Vil'ner, Ja.T. Kovalev, B.B. Nekrasov; pod red. B. B. Nekraso-va. – Minsk: «Vyshhejsjsh. shkola», 1976. - 416 s.
- 13 Govorushhenko N. Ja., Turenko A. N. Sistemotehnika transporta (na primerah avtomobil'nogo transporta). // V 2-h chastjah. – Har'kov: RIO HGADTU, 1998. – T. 1 – 255 s.; – T. 2 – 219 s.
- 14 Marmut, I.A. Metodika poverki izmeritel'noj sistemy inercionnogo ro-likovogo stenda / I.A. Marmut, Ju.V. Zybcev // Avtomobil'nyj transport : sb. nauch. tr. / M-vo obrazovanija i nauki molodezhi i sporta Ukrainy, HNADU ; [redkol.: Turenko A. N. (gl. red.) i dr.] – H., 2011. – Vyp. 29. – S. 207-217.
- 15 Marmut I.A. Metodika poverki kanala izmerenija skorosti inercionnogo stenda s begovymi barabanami / I. A. Marmut, V. I. Marmut // Avtomobil'nyj transport. - 2008. - Vyp. 22. - S. 53-57.