

Компенсация погрешности автомобильных емкостных датчиков уровня топлива при их использовании на специальном самоходном подвижном составе

К. М. ПОПОВ

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва, 129626, Россия

Аннотация. Потребление дизельного топлива специальным подвижным составом ОАО «РЖД» в год составляет десятки тысяч тонн, и вопрос достоверного учета и контроля его расхода является достаточно актуальным. В настоящее время часть специального самоходного подвижного состава оборудована бортовыми системами измерения расхода топлива, однако на многих единицах данной техники контроль и учет топлива производится в ручном режиме. Массовое внедрение бортовых систем измерения расхода топлива на специальном самоходном подвижном составе сдерживает, с одной стороны, достаточно высокая стоимость топливных датчиков, используемых на локомотивах, с другой — повышенная погрешность относительно недорогих автомобильных емкостных датчиков уровня топлива. В рамках проведенных лабораторных испытаний таких датчиков было определено, что при их работе на топливе одного сорта погрешность соответствует паспортной и находится на уровне 1%, а при работе на топливе разных сортов без дополнительной повторной калибровки погрешность может достигать 4% и более. Это во многом связано с упрощенной технологией измерения количества топлива в единицах объема и недостаточной компенсацией изменения плотности дизельного топлива. Для решения указанной проблемы предложена альтернативная штатной технология определения количества топлива с использованием автомобильных емкостных датчиков уровня топлива, при которой задействована однократно полученная в лабораторных условиях зависимость показаний этих датчиков от плотности топлива при стандартной температуре. Предлагаемая технология использования автомобильных емкостных датчиков уровня топлива на специальном самоходном подвижном составе позволит сохранить их относительную приведенную погрешность на уровне 1% и обеспечит измерение количества топлива в единицах массы.

Ключевые слова: железные дороги; специальный самоходный подвижной состав; измерение параметров количества топлива; плотность топлива; датчики уровня топлива; компенсация погрешности

Введение. Для измерения количества топлива в баках единиц специального самоходного подвижного состава (ССПС) для контроля его количества и последующего учета могут использоваться разные типы датчиков. Важной характеристикой, во многом определяющей решение о выборе того или иного датчика, является его стоимость. Как справедливо отмечено в

[1], для локомотивов применение относительно недорогих автомобильных емкостных датчиков уровня топлива (ДУТ) при существующей технологии определения количества топлива приводит лишь к потере финансовых средств при практическом отсутствии результата. Использование на ССПС топливных датчиков локомотивного типа из-за их довольно высокой стоимости также экономически неоправданно [2–4].

Как указано в [1], относительная погрешность автомобильных емкостных ДУТ по уровню составляет 1–2% от диапазона измерения датчика, что для автомобильных баков соответствует погрешности по объему топлива порядка 7 л. Топливные баки ССПС по объему хранимого топлива близки к автомобильным, за исключением тяговых модулей. Последние по размерам ближе к локомотивным. Форма и размеры топливных баков для разных серий ССПС заметно отличаются, причем количество этих серий исчисляется десятками. Вполне закономерно возникает вопрос: насколько оправдано использование на ССПС автомобильных емкостных ДУТ, учитывая их невысокую стоимость? Для ответа на этот вопрос необходимо определить, какова может быть погрешность измерения количества топлива в баках ССПС.

Особенности использования автомобильных емкостных ДУТ на ССПС. Емкостные ДУТ представлены на рынке разными производителями, однако их характеристики по стоимости и относительной погрешности (порядка 1% от диапазона измерения) однотипные. Известен опыт установки таких датчиков на ССПС в составе различных бортовых систем [5–8]. Как правило, ДУТ устанавливается на ССПС через прорезанное в верхнем листе топливного бака отверстие с последующим креплением к этому листу. В отдельных системах на ССПС помимо или вместо ДУТ устанавливают топливные расходомеры, но поскольку они не позволяют производить учет количества топлива в баке, в данной статье они не рассматриваются.

В ОАО «РЖД» разработана соответствующая нормативная база [9–11], однако результаты эксплуатации

■ E-mail: popov.kirill@vniizht.ru (К. М. Попов)

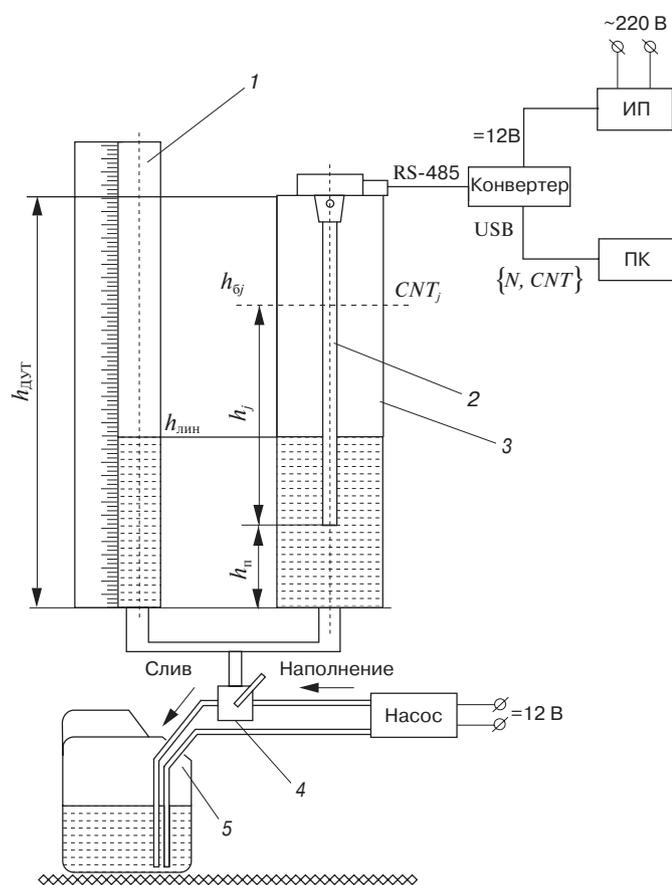


Рис. 1. Схема стенда для испытаний ДУТ:

1 — стеклянная труба с линейкой; 2 — ДУТ; 3 — металлический бак для датчика; 4 — трехходовой кран; 5 — канистра с топливом; $h_{\text{ДУТ}}$ — уровень топлива по сигналу ДУТ, приведенный к шкале контрольной линейки уровня; $h_{\text{бл}}$ — расчетный уровень заполнения бака топливом; h_j — измеренный уровень ДУТ; h_n — конструктивное расстояние от нижней части ДУТ до дна топливного бака; $h_{\text{лин}}$ — уровень по шкале контрольной линейки; ИП — источник питания; ПК — персональный компьютер; N , CNT — исходные параметры, выдаваемые ДУТ

Fig. 1. Layout of the test bench for the fuel level sensor (FLS):

1 — glass pipe with a ruler; 2 — FLS; 3 — metal tank for the sensor; 4 — three-way valve; 5 — canister with fuel; $h_{\text{ДУТ}}$ — fuel level according to the FLS signal, reduced to the scale of the control level ruler; $h_{\text{бл}}$ — estimated level of filling the tank with fuel; h_j — measured level of the FLS; h_n — constructive distance from the bottom of the FLS to the bottom of the fuel tank; $h_{\text{лин}}$ — level on the control ruler scale; ИП — power supply; ПК — personal computer; N , CNT — initial parameters issued by FLS

ДУТ на ССПС в научных публикациях практически не освещены, в том числе из-за отсутствия массового внедрения ДУТ на ССПС.

При использовании бортовых систем измерения количества топлива важным является учет изменения плотности топлива [12, 13], связанного не только с изменением его температуры, но и сорта. При этом производители автомобильных емкостных ДУТ гарантируют соблюдение относительной погрешности в 1% только при их работе на том топливе, на котором производилась калибровка. Какова будет погрешность

ДУТ при работе с топливом, отличным от того, на котором произведена его калибровка, производители не указывают.

Лабораторные испытания автомобильных емкостных ДУТ. С целью определения возможной погрешности автомобильных емкостных ДУТ при работе с разными сортами топлива в рамках инициативной работы были проведены лабораторные испытания на стенде (рис. 1).

Для установки ДУТ на стенде использовался специальный бак, позволявший разместить один датчик. Контроль уровня заполнения бака с установленным в него ДУТ обеспечивался стеклянной трубкой и расположенной рядом с ней линейкой по ГОСТ 427–75 «Линейки измерительные металлические. Технические условия», т. е. трубка и бак являлись сообщающимися сосудами. Погрешность при контроле уровня топлива равна половине цены деления шкалы линейки — 0,5 мм.

Подача дизельного топлива в топливную магистраль стенда обеспечивалась бензонасосом с электроприводом. Электрическое питание на насос во время опыта подавалось от нерегулируемого источника питания постоянно. Изменение уровня заполнения бака осуществлялось при помощи трехходового крана. Испытанию были подвергнуты три однотипных датчика массового производства (условно ДУТ № 1, № 2, № 3) с длиной рабочей части 700 мм. При основных испытаниях использовались 2 порции дизельного топлива разных сортов по ГОСТ 305–2013 «Топливо дизельное. Технические условия» с плотностью при стандартной температуре (15 °С) — 844 кг/м³ (далее — летнее) и 827 кг/м³ (далее — зимнее). В опыте по определению зависимости калибровочных настроек ДУТ от плотности помимо упомянутых порций топлива дополнительно использовались еще 2 порции с плотностью при стандартной температуре (15 °С) 830 кг/м³ и 833 кг/м³. Плотность и температура топлива определялись ареометром АНТ-1 [14].

Отклонение приведенного уровня ДУТ от уровня по контрольной линейке (погрешность) при обработке результатов испытаний определялось по формуле

$$\Delta h = h_{\text{ДУТ}} - h_{\text{лин}}, \text{ мм}, \quad (1)$$

где $h_{\text{ДУТ}}$ — уровень топлива по сигналу ДУТ, приведенный к шкале контрольной линейки $h_{\text{лин}}$ уровня:

$$h_{\text{ДУТ}} = NK_m + h_n, \text{ мм}, \quad (2)$$

где N — параметр, регистрируемый ДУТ, пропорциональный заполнению топливом; K_m — отношение разности максимального и минимального значений параметра N к рабочей длине датчика, или масштабный коэффициент; h_n — конструктивное расстояние от

нижней части ДУТ до дна топливного бака (на стенде составляло 95 мм, см. рис. 1).

Характер изменения и величины погрешностей по уровню при работе ДУТ № 1–3 на том же топливе, на котором они были откалиброваны, приведены на рис. 2, а на топливе, отличном от того, на котором они были откалиброваны, — на рис. 3–5.

Из рис. 2 видно, что при работе ДУТ на топливе, на котором произведена калибровка, погрешность измерения уровня при заполнении, близком к максимальному, составляет 7–8 мм. Приведенная относительная погрешность ($1 \div 1,1\%$) совпадает с паспортным значением.

При работе ДУТ на топливе, отличном от того, на котором была произведена их калибровка, погрешность для всех ДУТ увеличивается линейно от нижней части ДУТ до верхней и достигает при максимальном заполнении одинаковой величины (+31 мм у ДУТ, калиброванных на зимнем топливе, при работе на летнем, и –23 мм у ДУТ, калиброванных на летнем топливе, при работе на зимнем).

Приведенные относительные погрешности при этом достигают величин +4,4 и –3,3 % соответственно. Отметим, что в первом случае расчетный уровень топлива по ДУТ существенно выше фактического, во втором случае — ниже.

Полученные при использовании разных сортов топлива приведенные относительные погрешности существенно превышают величину 1%, поэтому необходимо при использовании ДУТ обязательно учитывать сорт топлива. Это соответствует указаниям предприятия-изготовителя.

Однако очевидно, что регулярная калибровка автомобильных емкостных ДУТ в процессе эксплуатации на ССПС практически невозможна, поэтому для их использования необходима компенсация погрешности, возникающей от смены сорта топлива.

Порядок определения количества топлива по показаниям автомобильных емкостных ДУТ на ССПС. Порядок определения объема топлива по показаниям ДУТ согласно технологии предприятия-изготовителя предполагает после его установки на баке получение зависимости заливаемого непосредственно в бак объема топлива V от ранее упомянутого параметра N : $V=f(N)$. При этом для получения N необходимо предварительно провести калибровку ДУТ, определив параметры CNT_{min} , соответствующий емкости конденсатора ДУТ при нулевом уровне топлива в баке, т. е. «0», и CNT_{max} , соответствующий емкости конденсатора ДУТ при заполненном баке, т. е. «max».

При использовании ДУТ необходимо учитывать влияние плотности топлива на их характеристики (погрешность измерения при смене топлива может составлять 3–4%).

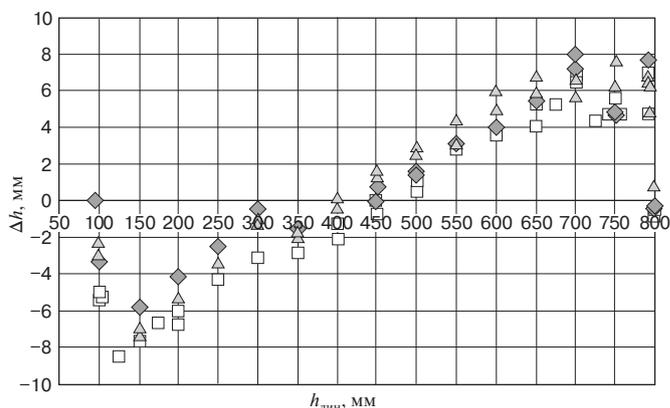


Рис. 2. Погрешность измерения уровня топлива ДУТ при испытаниях на топливе, на котором произведена их калибровка: \diamond — ДУТ № 1; \square — ДУТ № 2; \triangle — ДУТ № 3

Fig. 2. Error in measuring the fuel level of the FLS during tests on the fuel on which they were calibrated: \diamond — FLS No. 1; \square — FLS No. 2; \triangle — FLS No. 3

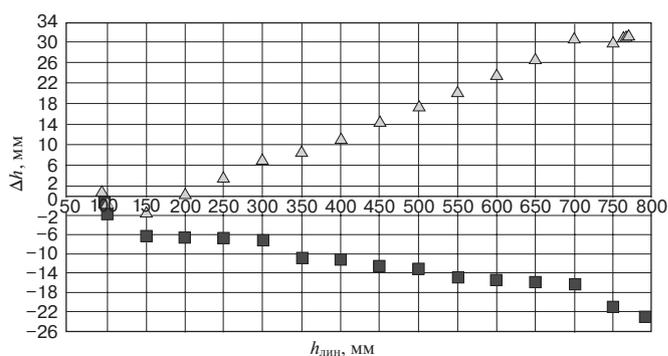


Рис. 3. Погрешность измерения уровня топлива ДУТ № 1 при испытаниях на топливе, отличном от того, на котором произведена его калибровка:

\triangle — ДУТ откалиброван на летнем топливе, измерение — на зимнем топливе; \blacksquare — ДУТ откалиброван на зимнем топливе, измерение — на летнем топливе

Fig. 3. Error in measuring the fuel level of FLS No. 1 when tested on fuel different from the one on which it was calibrated:

\triangle — FLS is calibrated on summer fuel, measurement — on winter fuel; \blacksquare — FLS is calibrated on winter fuel, measurement — on summer fuel

Как ранее указывалось, по технологии предприятия-изготовителя ДУТ потребуется при каждой заливке в бак нового топлива повторная калибровка ДУТ. С целью исключения калибровки ДУТ после каждой экипировки топливом ССПС, а также в связи с тем, что учет топлива должен осуществляться в единицах массы [15], предлагается использовать альтернативную технологию определения количества топлива по показаниям ДУТ, подразумевающую следующий порядок действий:

1. Предварительные операции:

- однократно в лабораторных условиях должна быть получена экспериментальная зависимость изменения CNT_{max} от приведенной к стандартной температуре

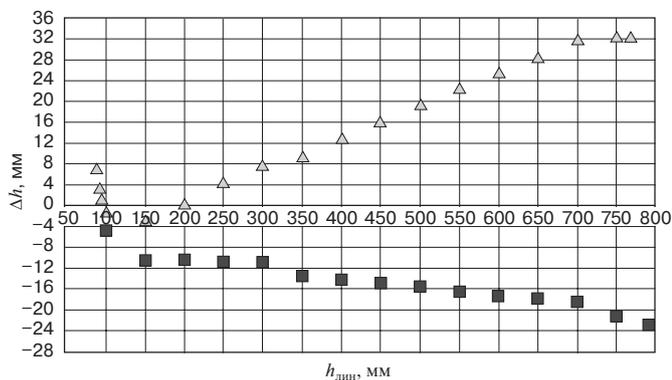


Рис. 4. Погрешность измерения уровня топлива ДУТ № 2 при испытаниях на топливе, отличном от того, на котором произведена его калибровка:

△ — ДУТ откалиброван на летнем топливе, измерение — на зимнем топливе; ■ — ДУТ откалиброван на зимнем топливе, измерение — на летнем топливе

Fig. 4. Error in measuring the fuel level of FLS No. 2 when tested on fuel different from the one on which it was calibrated:

△ — FLS — calibrated on summer fuel, measurement — on winter fuel; ■ — FLS is calibrated on winter fuel, measurement — on summer fuel

плотности топлива $\Delta CNT_{\max} = f(\rho_{15})$, которая в дальнейшем будет использоваться для конкретного ДУТ (образцы такой зависимости, полученные для ДУТ № 2 и № 3 при лабораторных испытаниях для четырех разных образцов топлива, приведены на рис. 6);

- однократно должна быть получена расчетным (при наличии соответствующей документации) или опытным путем зависимость объема топлива в баке от

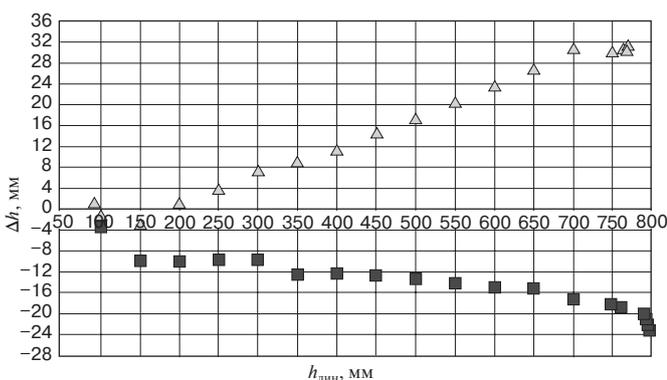


Рис. 5. Погрешность измерения уровня топлива ДУТ № 3 при испытаниях на топливе, отличном от того, на котором произведена его калибровка:

△ — ДУТ откалиброван на летнем топливе, измерение — на зимнем топливе; ■ — ДУТ откалиброван на зимнем топливе, измерение — на летнем топливе

Fig. 5. Error in measuring the fuel level of FLS No. 3 when tested on fuel different from the one on which it was calibrated:

△ — FLS is calibrated on summer fuel, measurement — on winter fuel; ■ — FLS is calibrated on winter fuel, measurement — on summer fuel

уровня его заполнения топливом $V_T = f(h_6)$, которая будет использоваться для всех баков данного типоразмера;

- в связи с тем, что каждый ДУТ имеет индивидуальную характеристику параметра CNT , до установки ДУТ на бак на топливе с известной плотностью и температурой определить значения CNT при полностью заполненном (CNT_{\max}) и опорожненном (CNT_{\min}) ДУТ, зафиксировав их в настройках ДУТ (калибровочные значения для данного ДУТ);

- при установке ДУТ на бак должно быть определено конструктивное расстояние от нижней части ДУТ до дна бака;

- в бак, помимо ДУТ, устанавливаемых вертикально и непосредственно измеряющих величину, пропорциональную уровню заполнения бака топливом, устанавливается горизонтально в нижней части бака дополнительный ДУТ (условно — ДУТП), постоянно полностью погруженный в топливо и определяющий величину $CNT_{\max i}$.

2. При эксплуатации ДУТ (определение количества топлива):

- на основе зависимости $\Delta CNT_{\max} = f(\rho_{15})$ определяются значения ΔCNT_{\max} , соответствующие двум значениям плотности топлива: а) калибровочного для данного ДУТ — $\Delta CNT_{\max k}$; б) используемого в текущий момент — $\Delta CNT_{\max i}$;

- определяется отклонение $\Delta CNT_{\max k} - \Delta CNT_{\max i}$, которое в случае, если текущая плотность больше калибровочной, вычитается из калибровочного значения CNT_{\max} данного ДУТ, а в противном случае прибавляется к нему, в результате получаем $CNT_{\max i}$;

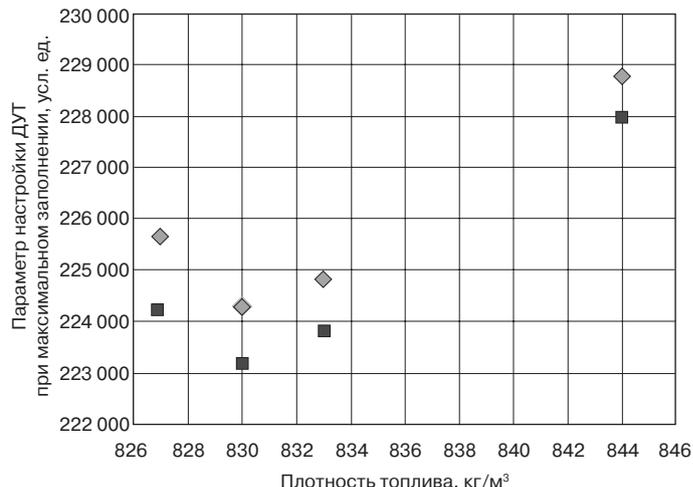


Рис. 6. Зависимость калибровочного параметра ДУТ при максимальном заполнении CNT_{\max} от плотности топлива ρ при стандартной температуре:

■ — ДУТ № 2; ◆ — ДУТ № 3

Fig. 6. Dependence of the FLS calibration parameter at maximum CNT_{\max} filling on the fuel density ρ at standard temperature: ■ — FLS No. 2; ◆ — FLS No. 3

- на основе имеющихся значений CNT_{\min} и $CNT_{\max i}$ определяется текущий (для данного ДУТ при работе на топливе с данной плотностью) коэффициент масштаба по уровню $K_{hi} = h_{\max} / (CNT_{\max ki} - CNT_{\min})$, где h_{\max} — геометрическая длина ДУТ;

- по текущему значению CNT_j (j -я высота заполнения бака) определяется измеренный уровень $h_j = (CNT_j - CNT_{\min}) K_{hi}$;

- определяется текущий расчетный уровень заполнения бака топливом $h_{gj} = h_j + h_n$;

- по градуировочной характеристике бака $V_r = f(h_g)$ получаем значение объема (при наличии в баке нескольких ДУТ объем по ним усредняется);

- определяется масса топлива косвенным методом [16] как произведение объема топлива V_r и плотности топлива по зависимости $\Delta CNT_{\max} = f(\rho_{15})$ с учетом корректировки плотности по температуре топлива.

Погрешность определения массы топлива в баке при объемно-массовом методе измерения при допущении об отсутствии дополнительной погрешности от градуировки бака можно определить как погрешность произведения двух величин — объема и плотности по формуле

$$\Delta M = \sqrt{V^2 \Delta \rho^2 + \rho^2 \Delta V^2}, \quad (3)$$

где V — измеряемый объем топлива, m^3 ; $\Delta \rho$ — погрешность измерения плотности, kg/m^3 ; ρ — плотность топлива, kg/m^3 ; ΔV — погрешность измерения объема топлива, m^3 .

Как указано выше, погрешность измерения объема принимается равной погрешности измерения уровня топлива емкостным ДУТ. Поскольку плотность в предлагаемом порядке измерения определяется по показаниям ДУТ, данная погрешность равна погрешности измерения уровня.

Определим ожидаемую погрешность по формуле 3 для измеряемого объема 700 л ($0,7 m^3$) и средней плотности топлива $835 kg/m^3$:

$$\Delta M = \sqrt{0,7^2 (835 \cdot 0,01)^2 + 835^2 (0,7 \cdot 0,01)^2} = 8,3 \text{ кг},$$

что составляет 1,4% от измеряемой массы топлива ($0,7 \cdot 835 = 584,5 \text{ кг}$). Такое значение погрешности следует считать минимальным при использовании автомобильных емкостных ДУТ на ССПС.

Выводы. 1. Основной причиной, сдерживающей массовое внедрение систем контроля расхода топлива на ССПС с использованием автомобильных емкостных ДУТ, является упрощенная штатная технология измерения количества топлива в баке, предлагаемая предприятиями-изготовителями ДУТ, при которой при заливке в бак каждой новой порции топлива тре-

буется повторная калибровка датчиков, и обеспечивающая измерение количества топлива в единицах объема при необходимости такого измерения в единицах массы.

2. В результате лабораторных испытаний установлено, что погрешность автомобильных емкостных ДУТ в эксплуатации при штатной технологии измерения количества топлива и отсутствии их калибровки после смены топлива может достигать 3–4% по уровню топлива.

3. Предложенная альтернативная технология измерения количества топлива в баках ССПС с помощью автомобильных емкостных ДУТ позволит повысить точность измерения, компенсировав влияние изменения плотности топлива, и за счет этого снизить ожидаемую погрешность до 1% по уровню, а также обеспечит измерение количества топлива в единицах массы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Игин В.Н., Захватов А.В., Карянин В.И. Автоматизация контроля расхода топлива // Локомотив. 2015. № 2. С. 13–17.
2. Сидорова Е.А., Давыдов А.И. Синтез математической модели для нормирования расхода дизельного топлива на специальном самоходном подвижном составе // Символ науки. 2016. № 6. С. 96–99.
3. Якубов М.С., Мухамедова З.Г. Анализ и оценка энергетической эффективности специального самоходного подвижного состава железной дороги // Известия Транссиба. 2018. № 4. С. 60–68.
4. Моделирование и прогнозирование расхода топлива для специального подвижного состава на ВСЖД/А.А. Лемперт [и др.] // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование / Иркутский гос. ун-т путей сообщения (ИрГУПС). 2011. № 3 (31). С. 96–101.
5. Адауров А.С. Автоматизированная система контроля за работой специального подвижного состава // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». 2016. № 6. С. 29–35.
6. Порецкий Н. Контроль со «Спутника» [Электронный ресурс] // Гудок. 2011. 18 октября. URL: <http://www.gudok.ru/newspaper/?ID=692849> (дата обращения: 02.06.2021 г.).
7. Контрольно-диагностический комплекс «Портал-СПС-01» [Электронный ресурс] // СКБ «Маяк»: [сайт]. 2014. 23 декабря. URL: <http://www.skb-m.ru/products/43-kontrolno-diagnosticheskij-kompleks-portal-sps-01.html> (дата обращения: 11.06.2021 г.).
8. Медяник М. Под контролем у «САДКО» [Электронный ресурс] // Северная магистраль. 2020. Вып. 062. URL: <https://gudok.ru/zdr/179/?ID=1499952> (дата обращения: 11.06.2021 г.).
9. Инструкция по учету дизельного топлива на специальном железнодорожном подвижном составе, оборудованном автоматизированными системами учета топлива [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 27 октября 2014 г. № 2519р // АСПИЖТ (дата обращения: 02.06.2021 г.).
10. Методика нормирования, планирования и проведения анализа использования дизельного топлива на ССПС по данным бортовых систем или скоростемерных лент [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 24 декабря 2015 г. № 3060р // АСПИЖТ (дата обращения: 02.06.2021 г.).
11. Методика планирования и нормирования расхода топлива для специального подвижного состава ОАО «РЖД» [Электрон-

ный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 28 декабря 2007 г. № 2464р // АСПИЖТ (дата обращения: 02.06.2021 г.).

12. Мугинштейн Л.А., Молчанов А.И., Попов К.М. Совершенствование системы учета и контроля расхода топлива маневровых тепловозов // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2010. № 1. С. 8–18.

13. Попов К.М. Измерение плотности дизельного топлива при учете его расхода // Локомотив. 2013. № 11. С. 35.

14. ГОСТ 18481–81. Ареометры и цилиндры стеклянные. Общие технические условия: межгос. стандарт: дата введения 1983-01-01. М.: Стандартинформ, 2007. 24 с.

15. Инструкция «Методы, средства и порядок измерения количества нефтепродуктов при товарно-учетных операциях в ОАО «РЖД» [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 20 августа 2019 г. № 1791р // АСПИЖТ (дата обращения: 02.06.2021 г.).

16. ГОСТ 8.587–2019. Масса нефти и нефтепродуктов. Методы (методы) измерений: межгос. стандарт: введен в действие в качестве нац. стандарта Российской Федерации приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 ноября 2019 г. № 1170-ст: дата введения 2020-04-30. М.: Стандартинформ, 2019. 50 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

ПОПОВ Кирилл Михайлович,

канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, НЦ «ЦМПЭ», АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 16.06.2021 г., принята к публикации 05.07.2021 г.

Для цитирования: Попов К. М. Компенсация погрешности автомобильных емкостных датчиков уровня топлива при их использовании на специальном самоходном подвижном составе // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 4. С. 209–215. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-4-209-215>.

Compensation of the error of automotive capacitive fuel level sensors when using them on special self-propelled rolling stock

K. M. POPOV

Joint Stock Company Railway Research Institute (JSC “VNIIZHT”), Moscow, 129626, Russia

Abstract. Consumption of diesel fuel by the special rolling stock of Russian Railways per year amounts to tens of thousands of tons, and the issue of reliable accounting and control of its consumption is quite urgent. Currently, part of the special self-propelled rolling stock is equipped with on-board systems for measuring fuel consumption, however, in many units of this equipment, fuel control and accounting is carried out in manual mode. Massive introduction of on-board fuel consumption measurement systems on special self-propelled rolling stock is constrained, on the one hand, by the rather high cost of fuel sensors used on locomotives, on the other hand, by the increased error of relatively inexpensive automotive capacitive fuel level sensors. As part of the laboratory tests of such sensors, it was determined that when they operate on fuel of the same grade, the error corresponds to the passport and is at the level of 1%, and when operating on fuel of different grades without additional recalibration, the error can reach 4% or more. This is largely due to the simplified technology for measuring the amount of fuel in units of volume and insufficient compensation for changes in the density of diesel fuel. To solve this problem, an alternative to standard technology for determining the amount of fuel using automotive capacitive fuel level sensors is proposed, in which the dependence of the readings of these sensors on the fuel density at a standard temperature, once obtained in laboratory conditions, is used. Proposed technology of using automotive capacitive fuel level sensors on a special self-propelled rolling stock will allow keeping its relative reduced error at the level of 1% and will provide measurement of the amount of fuel in units of mass.

Keywords: railways; special self-propelled rolling stock; measurement of parameters of the amount of fuel; fuel density; fuel level sensors; error compensation

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-4-209-215>

REFERENCES

1. Igin V. N., Zakhvatov A. V., Karyanin V. I. *Avtomatizatsiya kontrolya raskhoda topliva* [Automation of fuel consumption control]. *Локомотив*, 2015, no. 2, pp. 13–17.

2. Sidorova E. A., Davydov A. I. *Sintez matematicheskoy modeli dlya normirovaniya raskhoda dizel'nogo topliva na spetsial'nom samokhodnom podvizhnom sostave* [Synthesis of a mathematical model for standardizing the consumption of diesel fuel on a special self-propelled rolling stock]. *Symbol of Science*, 2016, no. 6, pp. 96–99.

3. Yakubov M. S., Mukhamedova Z. G. *Analiz i otsenka energeticheskoy effektivnosti spetsial'nogo samokhodnogo podvizhnogo sostava zheleznoy dorogi* [Analysis and assessment of the energy efficiency of special self-propelled rolling stock of the railway]. *Journal of Transsib Railway Studies*, 2018, no. 4, pp. 60–68.

4. Lempert A. A., Pletneva A. E., Guy F. F., Kazakov A. L. *Modelirovanie i prognozirovaniye raskhoda topliva dlya spetsial'nogo podvizhnogo sostava na VSZhD* [Modeling and forecasting of fuel consumption for special rolling stock on the East Siberian Railway]. *Modern technologies. System analysis. Modeling*. 2011, no. 3 (31), pp. 96–101.

5. Adadurov A. S. *Avtomatizirovannaya sistema kontrolya za rabotoy spetsial'nogo podvizhnogo sostava* [Automated control system for the operation of special rolling stock]. *Byulleten' Ob'edinennogo uchenogo soveta OAO "RZhD"* [Bulletin of the Joint Scientific Council of the JSC Russian Railways], 2016, no. 6, pp. 29–35.

6. Poretskiy N. *Kontrol' so "Sputnika"* [Control from "Sputnik"]. *Gudok*, 2011, October 18. URL: <http://www.gudok.ru/newspaper/?ID=692849> (retrieved on 02.06.2021).

7. *Kontrol'no-dagnosticheskiy kompleks "Portal-SPS-01"* [Control and diagnostic complex "Portal-SPS-01"]. SKB "Mayak" website, 2014, December 23. URL: <http://www.skb-m.ru/products/43-kontrolno-dagnosticheskij-kompleks-portal-sps-01.html> (retrieved on 11.06.2021).

8. Medyanik M. *Pod kontrolem u "SADKO"* [Under the control of "SADKO"]. *Severnaya magistr'al*, 2020, no. 062. URL: <https://gudok.ru/zdr/179/?ID=1499952> (retrieved on 11.06.2021).

9. *Instructions for metering diesel fuel on special railway rolling stock equipped with automated fuel metering systems*. Ap-

proved by order of the JSC Russian Railways dated October 27, 2014 No. 2519r. ASPIZHT (retrieved on 02.06.2021) (in Russ.).

10. *Methodology for rationing, planning and analysis of the use of diesel fuel at the SSPS according to the data of on-board systems or speed metering belts*. Approved by order of the JSC Russian Railways dated December 24, 2015 No. 3060r. ASPIZHT (retrieved on 02.06.2021) (in Russ.).

11. *Methods for planning and rationing fuel consumption for special rolling stock of the JSC Russian Railways*. Approved by order of the JSC Russian Railways dated December 28, 2007 No. 2464r. ASPIZHT (retrieved on 02.06.2021) (in Russ.).

12. Muginshteyn L. A., Molchanov A. I., Popov K. M. *Improvement of the system of accounting and control of fuel consumption of shunting diesel locomotives*. Vestnik of the Railway Research Institute, 2010, no. 1, pp. 8–18.

13. Popov K. M. *Izmerenie plotnosti dizel'nogo topliva pri uchete ego raskhoda* [Measurement of the density of diesel fuel while taking into account its consumption]. Lokomotiv, 2013, no. 11, p. 35.

■ E-mail: popov.kirill@vniizht.ru (K. M. Popov)

14. GOST 18481–81. *Glass hydrometers and cylinders. General specifications*. Interstate standard. Moscow, Standartinform Publ., 2007, 24 p. (in Russ.).

15. *Instruction "Methods, means and procedure for measuring the amount of petroleum products during commodity accounting operations at the JSC Russian Railways"*. Approved by order of the JSC Russian Railways dated August 20, 2019 No. 1791r. ASPIZHT (retrieved on 02.06.2021) (in Russ.).

16. GOST 8.587–2019. *Mass of oil and oil products. Measurement procedures*. Interstate standard, put into effect as nat. standard of the Russian Federation by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology of November 14, 2019 No. 1170-st. Moscow, Standartinform Publ., 2019, 50 p. (in Russ.).

ABOUT THE AUTHOR

Kirill M. POPOV,

Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, SC "TsMPE", JSC "VNIIZHT"

Received 16.06.2021

Accepted 05.07.2021

For citation: Popov K. M. Compensation of the error of automotive capacitive fuel level sensors when using them on special self-propelled rolling stock // VNIIZHT Scientific Journal. 2021. 80 (4): 209–215 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-4-209-215>.

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В АО «ВНИИЖТ»

Центр дополнительного образования (ЦДО) (лиц. № 2329 от 11.08.2016 г.) проводит повышение квалификации и профессиональную переподготовку слушателей по следующим направлениям:

- Анализ, моделирование бизнес-архитектуры и бизнес-процессов, использование процессного подхода в управлении организацией (для руководителей и специалистов)
- Проектирование, изготовление и приемка сварных конструкций железнодорожного подвижного состава, управление качеством в сварке рельсов, проведение аудита сварочного производства
- Построение энергосберегающих графиков движения поездов с использованием автоматизированной системы АПК ЭЛЬБРУС
- Изучение технологии транспортных процессов
- Транспортная логистика
- Изучения принципов построения и функционирования автоматизированной системы контроля за работой специального подвижного состава
- Изучение устройств, диагностики и средств контроля состояния железнодорожного пути
- Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт подвижного состава и устройств электроснабжения

Программы обучения могут быть разработаны по инициативе заказчика с учетом профессиональной деятельности АО «ВНИИЖТ».

Обучение проводится как в очной форме, так и с применением дистанционных образовательных технологий.

По итогам освоения образовательных программ слушателям выдается документ о квалификации государственного образца.

Куратор ЦДО — Пархаев Алексей Александрович, кандидат социологических наук, заместитель Генерального директора по управлению персоналом и социальным вопросам.

По вопросам обучения обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская улица, д.10
Центр дополнительного образования. Тел.: +7 (495) 602-81-74, e-mail: shiryaeva.oksana@vniizht.ru

