

УДК 53.083.7:53.088:681.121

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВОГО ДАТЧИКА РАСХОДА ТОПЛИВА В СИСТЕМЕ КОРРЕКТИРОВАНИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ТРУДОЕМКОСТИ ТЕКУЩЕГО РЕМОНТА

канд. техн. наук, доц. А.С. ГУРСКИЙ
(Белорусский национальный технический университет, Минск)

Корректировочные коэффициенты при выполнении расчетов фактической работы транспортного средства, периодичностей технического обслуживания (ТО) и трудоемкостей текущего ремонта (ТР) транспортных средств в различных условиях эксплуатации формируются на основе комплекса эксплуатационных параметров. Одним из основных параметров является величина часового расхода топлива. Точность информации, получаемой от датчика расхода топлива, влияет на результаты обработки информации всего комплекса параметров. В работе проводится анализ цифрового сигнала датчика расхода топлива с целью возможности применения для фиксации фактической работы, выполняемой транспортным средством по расходу топлива. Определяется погрешность измерения датчиком расхода топлива, преобразования и передачи информации на сервер. Рассмотрена возможность использования датчика данного типа в системе расчета корректирующих коэффициентов технического обслуживания и трудоемкостей текущего ремонта транспортных средств и фактического выполнения транспортной работы в различных режимах эксплуатации.

Ключевые слова: параметр, расход топлива, датчик, погрешность, периодичность, техническое обслуживание, коэффициент.

Введение. Для обеспечения в современных условиях поддержания транспортных средств в технически исправном состоянии необходимо проводить расчет периодичностей технического обслуживания (ТО) и трудоемкостей текущего ремонта (ТР) транспортных средств по результатам их оперативного контроля по фактической выполняемой работе при движении в различных условиях эксплуатации. Корректировочные коэффициенты формируются на основе комплекса эксплуатационных параметров. Одним из основных параметров в комплексе является величина часового расхода топлива. Точность информации, получаемой от датчика расхода топлива, влияет на результаты обработки информации всего комплекса параметров. Указанный параметр используется при расчетах коэффициента K_1 , учитывающего условия эксплуатации, и коэффициента K_2 , учитывающего модификацию транспортного средства (ТС) и организацию его работы [1]:

$$K_1 = f(V(t), P_T(t)), \quad (1)$$

где V – скорость движения транспортного средства;
 P_T – расход топлива;
 t – элементарный временной интервал считывания данных;

$$K_2 = f(VIN) * f(n_{кв}(t), P_T(t), N(t)), \quad (2)$$

где VIN – идентификационный номер транспортного средства;
 $n_{кв}$ – частота вращения коленчатого вала;
 N – нагрузка на ось транспортного средства.

Расчет K_1 и K_2 производится с одинаковым интервалом. Для определения нагрузки транспортных средств по параметру расхода топлива планируется использование датчиков расхода топлива с преобразованием в CAN-сигнал [2].

Основная часть. Измерение расхода топлива может быть произведено несколькими способами, однако самым точным является измерение расходомером. По способу функционирования и точности существуют различные датчики расхода топлива [3]. Главной задачей при контроле расхода топлива для корректирования периодичности ТО и трудоемкости ТР при использовании в транспортной телематике является выявление способов и средств, обладающих относительной простотой, высокой информативностью и достоверностью. Ранее проводились испытания аналогового датчика расхода топлива на стенде «Современные технологии контроля расхода топлива и мониторинга транспорта». В работе были выявлены определенные достоинства данного типа датчиков: «аналоговый сигнал датчика объема прокачиваемого топлива имеет высокую точность и может быть использован для расчета часового расхода топлива. Все транспортные средства, оснащенные датчиком такого типа, могут быть включены в систему расчета корректирующих коэффициентов ТО и ТР и фактического выполнения транспортной работы. Поверенный датчик данного типа можно использовать для калибровки других систем контроля расхода топлива» [4]. Однако существующая система преобразования и передачи информации на сервер вносит погрешность при изменяющихся режимах прохождения топлива через датчик расхода,

т.к. внутренний интервал счетчика времени датчика имеет относительно большую величину и не позволяет производить измерения с высокой точностью в неустоявшемся режиме прокачиваемого топлива.

Испытания цифрового датчика проводились на стенде «Транспортная телематика». Расположение компонентов и органов управления представлено на рисунке 1.



Рисунок 1. – Компоненты и органы управления стенда в режиме проверки цифрового датчика расхода топлива

В соответствии с классификацией датчиков были определены основные параметры и возможности представленного датчика DFM 100A CAN. Число 100 указывает на максимальный расход топлива, который датчик способен измерить, в л/ч, что соответствует 1,67 л/мин. Буква А указывает на исполнение датчика без экрана. Источником сигнала в датчике является геркон МК-4-1А71В-500W фирмы MEDER. По результатам проведения опыта с аналоговым датчиком было выявлено, что при объеме перекачанного топлива 120 мл количество полных импульсов составляет 24, следовательно, за период одного полного импульса объем, проходящий через датчик, соответствует 5 мл. Эту величину принимаем за постоянную для данного типа датчиков расхода топлива [4]. Расходомер топлива DFM CAN имеет нормированный импульс с преобразованием определенного количества импульсов на литр топлива в сигнал CAN. Нормализация импульсов выходного сигнала с преобразованием осуществляется встроенной электронной платой.

Скорость передачи данных в шине составляет 500 кБ/с. Для передачи цифровой информации на стенде «Транспортная телематика» имеются две шины: стандартная шина передачи данных с выходом для коммутации через универсальный диагностический разъем OBD-II и специализированная шина данных S6, используемая для работы с цифровым терминалом мониторинга транспорта. Датчик расхода топлива непосредственно подключен к шине S6, однако через шлюз информация может быть передана и в диагностический разъем OBD-II. При анализе электрического сигнала установлено, что передача информации производится с периодичностью от нескольких миллисекунд до нескольких секунд, что требует скрупулезного изучения специфики сигнала.

Данные в шине передаются бит за битом последовательно, таким же образом принимаются. Число бит в протоколе передачи данных зависит от размера данных. Биты составляют отдельные поля, из которых складываются кадры передачи данных с 29-битным идентификатором: начало кадра (1 бит); арбитражное поле (29 бит); неиспользуемое поле (1 бит); поле управления (6 бит); поле данных (64 бита); поле контрольной суммы (16 бит); поле подтверждения (2 бита); конец кадра (7 бит).

Цифровой сигнал датчика расхода топлива передается в шины данных CAN и/или S6, а затем производится передача на сервер с помощью трекера терминала мониторинга транспорта. Для считывания информации с шины S6 и CAN в лаборатории используется профессиональный прибор MasterCAN Tool Pro. Используя 29-битный идентификатор и изменяя скорость прокачки топлива, выявляем специфические номера PGN и SPN. Данная процедура позволяет определить необходимые для работы поля данных.

Полученный электрический сигнал датчика расхода топлива преобразуется и расшифровывается с помощью специального программного обеспечения, входящего в комплект данного оборудования. Если прибор подключается в общую шину данных, то одновременно можно увидеть огромное количество различных идентификаторов соответствующих устройств, подключенных в шину. Из общего потока данных выделяются данные с идентификатором, соответствующим датчику расхода топлива. В данном случае идентификатор в шест-

надцатеричной системе исчисления имеет значение 18F6056F (рисунок 2). Начиная с первого приходящего сообщения можно рассчитать период следования сообщений:

$$T_{hl} = t_2 - t_1, \tag{3}$$

ГДЕ t_1 – момент появления первого сообщения;
 t_2 – момент появления второго сообщения.

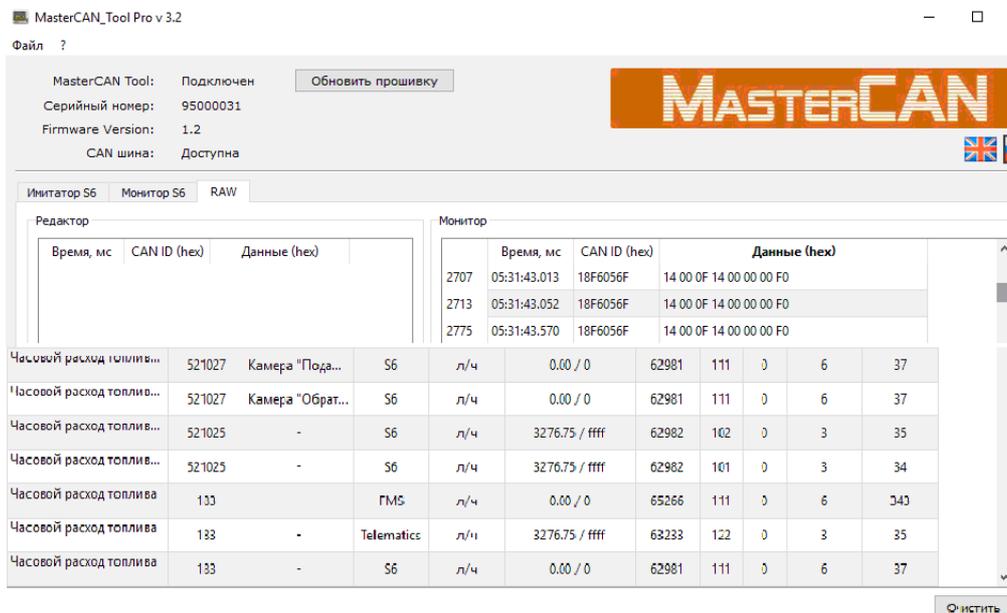


Рисунок 2. – Выделение с помощью программы MasterCAN Tool Pro v 3.2 идентификатора со значением 18F6056F и расшифровка сообщения датчика расхода топлива

Между первым и вторым сообщениями с исследуемым идентификатором с момента включения питания стенда период составляет 39 мс, между вторым и третьим – 518 мс, а между последующими – около 1 с. Полученные данные времени будем заносить в таблицу для определения среднего значения периода и других расчетов, т.к. параметр времени в расчетах всех величин будет основополагающим. Значения в поле данных находятся в шестнадцатеричной системе исчисления в зашифрованном виде. При переходе на вкладку программы «монитор S6» производится автоматическое преобразование в десятичную систему исчисления и приведение в правильную форму значения часового расхода топлива. Кроме того, в данной вкладке дополнительно указывается на приоритет сообщения, его характерные идентификационные указатели: номера SPN и PGN, раздел шины данных, единицы измерений.

При выполнении испытаний были получены массивы данных сигнала датчика расхода топлива. С целью повышения точности показания считывались по три раза на одних и тех же режимах. Фактическое количество топлива определялось по объему топлива, перекачиваемому в мерную емкость.

Прокачивая топливо с постоянной скоростью, определим задействованные для шифрования ячейки поля данных. В процессе анализа был выявлен информационный байт – B0. Переводим его значение из шестнадцатеричной системы в десятичную:

$$D = B0(\text{hex}) \text{ to dec.} \tag{4}$$

В ходе анализа закономерностей был выявлен линейный характер изменения параметра, что позволило производить пересчет полученных значений в результирующий параметр с постоянным коэффициентом C ($C = 20$). Для определения часового расхода топлива необходимо воспользоваться формулой пересчета

$$G_{Th} = \left(\frac{D}{C}\right). \tag{5}$$

Следующим этапом определяется момент начала перекачки топлива. По возникающим значениям в области ячеек информационного байта ненулевого сообщения произведем повторный замер показаний датчика расхода топлива, контролируя весь процесс считывания информации. Всего в данном опыте было зафиксировано 185 сообщений. Производя пересчет полученных значений часового расхода топлива, заносим результат в таблицу и отображаем графически в соответствии с данными времени (рисунок 3). Измерение интервалов времени поступающих сообщений производится с точностью до тысячных долей секунды.

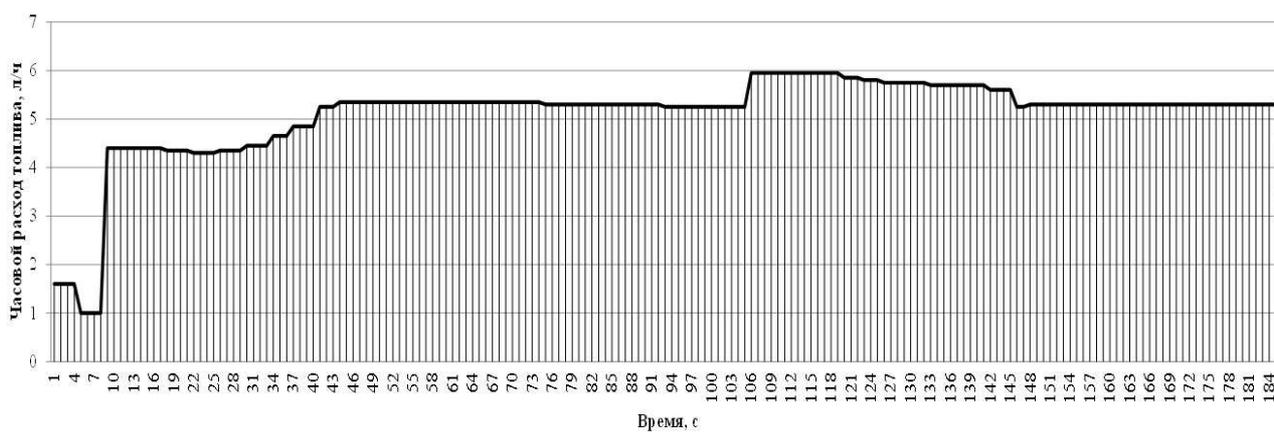


Рисунок 3. – Часовой расход топлива в соответствии с секундными интервалами времени

Длительность работы датчика расхода топлива определяется по вкладке «Монитор» программы MasterCAN Tool Pro v 3.2 идентификатора со значением 18F6056F от момента появления первого ненулевого сообщения до момента последнего и определяется по формуле

$$T_n = t_n - t_1, \tag{6}$$

ГДЕ t_n – момент появления последнего ненулевого сообщения.

Для данного измерения длительность работы датчика в процессе определения ненулевых сообщений составила 184,882 с.

На первом этапе рассчитаем параметры электрического сигнала датчика расхода топлива: среднее значение периода ненулевых сообщений, погрешность сообщений в цифровом виде, абсолютную и относительную погрешности. Для обработки данных обозначим характерные точки на мониторе сообщений для выявления временных показателей.

Среднеарифметическое значение периода появления сообщений определяется в соответствии с монитором за период следования n -го количества сообщений:

$$T_{mh} = \frac{T_n}{n_h}, \tag{7}$$

где n_h – количество ненулевых сообщений при измерении.

Измеренное среднеарифметическое значение периода поступающих сообщений составило 0,999 с. Абсолютная погрешность измерения рассчитывается следующим образом:

$$\Delta T_h = T_{h1} - T_{mh}. \tag{8}$$

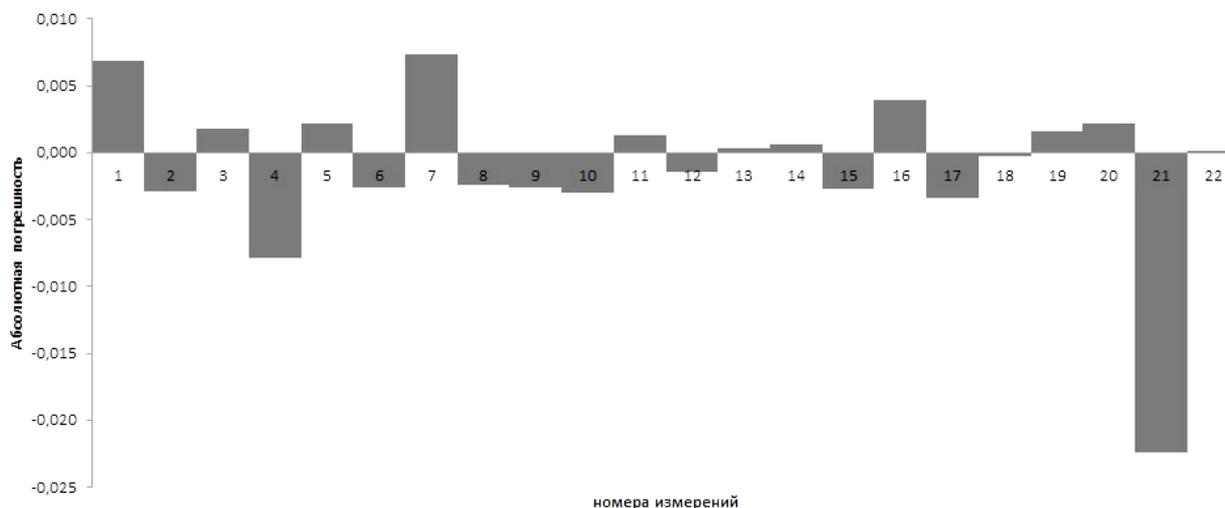


Рисунок 4. – Гистограмма абсолютной погрешности цифровых сообщений в шине данных

Гистограмму абсолютной погрешности цифровых сообщений в шине данных – см. рисунок 4.

Гистограмма абсолютной погрешности периода передачи показывает, что отклонение периодичности получения данных не превышает 25 мс в секундном интервале. Скорость передачи в шине CAN с использованием такой системы передачи полностью соответствуют требуемым. Расчет относительной погрешности в данном случае неактуален.

В данном испытании выявлено, что повтор неизменных данных происходит на протяжении 3–4 сообщений. Это указывает на низкую скорость считывания и обработки информации непосредственно в датчике расхода топлива. Для проверки возможности увеличения интервала передачи, а также адекватности получаемых значений проведем упрощение первого графика, уменьшая количество точек в 3 раза с последующим их сравнением. После оптимизации значений графика часового расхода топлива получаем немного упрощенный график (рисунок 5), подобный графику, представленному ранее (см. рисунок 3).

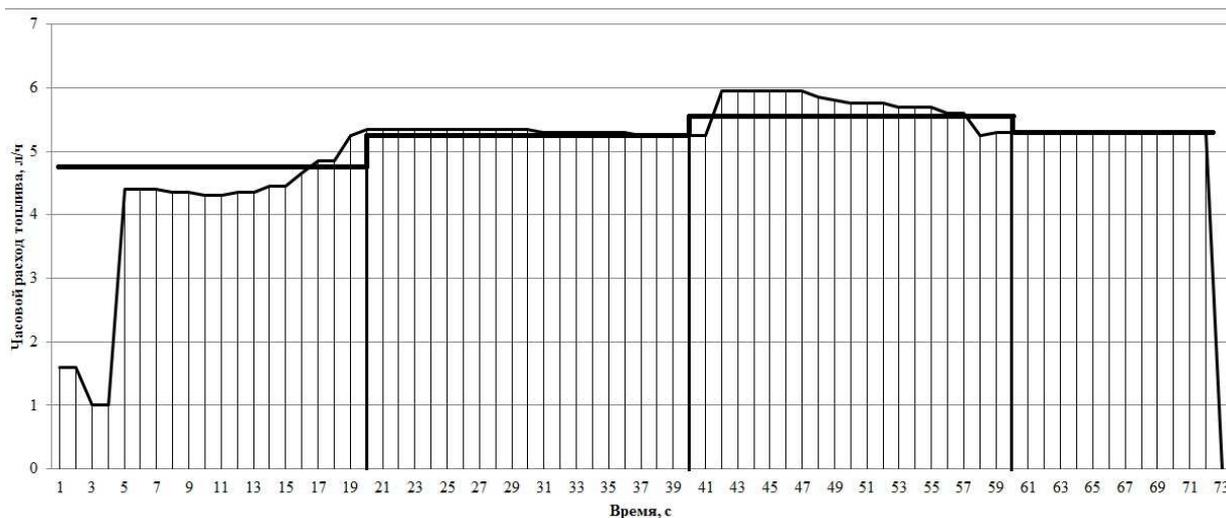


Рисунок 5. – Оптимизированный график часового расхода топлива с учетом скорости считывания и обработки информации в датчике с наложением усредненных значений часового расхода топлива, полученных с сервера

Анализируя приведенный график после оптимизации и сравнивая его с предыдущим, можно заключить, что графики абсолютно подобны. Проведенные ранее исследования условия необходимости и достаточности параметров датчика, в частности скорости, с которой необходимо получать информацию при расчете периодичности технического обслуживания транспортных средств и трудоемкости текущего ремонта, дают основание полагать, что скорости передачи после оптимизации достаточно. Таким образом, длительность периода отправки сообщений в шинах передачи можно увеличить в 3 раза, т.е. 1 раз в 3 с без потери достоверности информации.

Одновременно с этими измерениями контролируем изменения расхода топлива на сервере телематических услуг. При различной скорости истечения топлива испытания проводим при нескольких скоростях прокачки для данного датчика. Изменение значений происходит с большим периодом считывания информации самим мерным блоком датчика. Данные с высокой точностью передаются по шине и подобным образом интерпретируются на сервере. На рисунке 6 показаны графики сервера испытаний и укрупненный график рассмотренного измерения.

Наибольшая погрешность информации расхода топлива происходит при передаче на сервер. Сравнивая графики с информацией на сервере, видим большие расхождения, особенно в неустановившемся режиме. Связано это прежде всего со скоростью передачи информации на сервер 1 раз в 60 с, что в 20 раз медленнее считывания и в 60 раз медленнее передачи в шине.

Учитывая все вышеизложенное, для получения более высокой точности на сервере следует увеличить периодичность передачи в системе телематики в 20 раз, что потребует удорожания данного процесса. Другим способом повышения точности является предварительное преобразование информации перед отправкой на сервер.

Все данные, полученные на протяжении всех испытаний, заносим в таблицу. Производим расчеты часового расхода топлива и погрешностей при измерении различными способами. Рассмотрим погрешности на различных скоростях прокачки топлива через датчик расхода топлива. Абсолютную и относительную погрешности для всех способов будем сравнивать с полученными измерениями и расчетами при проверке измерительной емкостью. Измерения с использованием мензурки имеют наибольшую точность, однако отражают только усредненные значения расхода топлива. Полученные значения расхода топлива будут использованы при расчете погрешностей при сравнении с другими способами измерений.

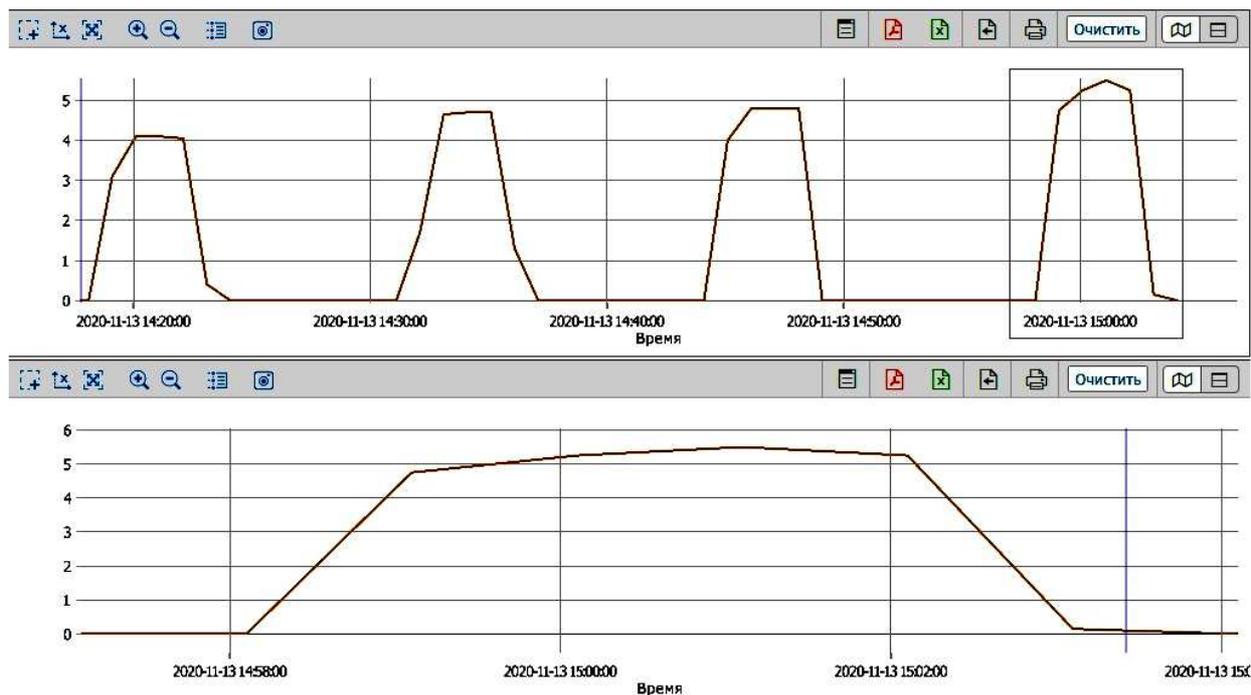


Рисунок 6. – Графики среднего расхода топлива сервера проведенного этапа испытаний, полученные с сервера с укрупнением одного из измерений

Расчет часового расхода топлива производится по формуле

$$G_{TV} = \left(\frac{V}{T_n}\right) \cdot 3,6, \quad (9)$$

где V – объем топлива, полученный при прокачке через датчик расхода топлива в мерную емкость. Абсолютная погрешность измерения определяется как

$$\Delta G_T = G_T - G_{TM}. \quad (10)$$

Относительная погрешность определяется по формуле

$$E_{G_T} = \frac{\Delta G_T}{G_T} \cdot 100. \quad (11)$$

Таблица. – Данные, полученные при измерении мерной емкости и при расчете средних значений с определением погрешностей в различных режимах прокачки

Режим прокачки	1	2	3	4	5
t_1, c	34,596	41,667	57,243	43,885	37,461
t_n, c	309,460	264,526	258,162	277,790	282,343
n_h	275	223	201	234	245
T_n, c	274,964	222,859	200,92	233,91	244,882
$V, мл$	200	250	300	300	350
$G_{Tvm}, л/ч$	2,62	4,04	5,37	4,62	5,15
$G_{Tserv}, л/ч$	2,63	3,77	4,68	4,17	4,7
$\Delta G_{Tserv}, л/ч$	0,01	0,27	0,69	0,45	0,45
$E_{G_{Tserv}}, \%$	0,44	6,7	12,8	9,74	9,11

На рисунке 5 показано распределение значений, получаемых с датчика расхода топлива, с наложением средних значений, фиксируемых на сервере данных в одном из режимов прокачки топлива. Можно наблюдать, насколько грубо значения на сервере искажаются по отношению к реальным данным. В данном случае нет необходимости делать математическое сравнение, т.к. отклонения очевидны. Данный график значений датчика

часового расхода топлива показывает, что измеренное значение с высокой точностью полностью нивелируется за счет существующего преобразования и передачи данных на сервер, что требует особого внимания к данной группе параметров. Для повышения точности информации часового расхода топлива на сервере обработку полученных данных датчика расхода топлива необходимо проводить до передачи на сервер или увеличивать частоту передачи на сервер.

График, представленный на рисунке 5, полностью подтверждает факт получения правильных данных в усредненном виде, особенно в установившемся режиме прокачки топлива, что показывают вторая и четвертая минуты проверки со значением 5,2 л/ч. На графике видна большая погрешность в неустановившемся режиме прокачки топлива, особенно на первой минуте; при этом при средних показаниях на сервере (значения 4,8 л/ч) данные в шине колеблются от 1 до 5,3 л/ч. При различной длительности одновременно можно видеть, что значение имело несколько колебаний в течение первого интервала. Особый интерес данный интервал представляет на скоростях отображения информации в режиме ускорения транспортного средства. Представленный график позволяет сделать вывод о высокой достоверности данных, получаемых с датчика в шине данных CAN и S6, что дает основание полагать, что данные после преобразования позволяют контролировать потребление топлива и на неустановившихся режимах.

Следует предположить, что полученная точность часового расхода топлива соответствует требуемым условиям по определению корректирующих коэффициентов для расчета периодичностей технического обслуживания транспортных средств и трудоемкостей текущего ремонта, а также расчета фактической транспортной работы. Также важно обратить внимание, что выбор способа преобразования и передачи данных на сервер необходимо проводить с определением экономической эффективности.

Заключение. Проведен анализ цифрового сигнала датчика расхода топлива. Подтверждена возможность применения указанного датчика для определения фактической работы, выполняемой транспортным средством по расходу топлива. Определена погрешность измерения датчиком расхода топлива, преобразования и передачи информации на сервер. Подтверждена возможность использования датчика данного типа в системе расчета корректирующих коэффициентов технического обслуживания и трудоемкостей текущего ремонта транспортных средств и фактического выполнения транспортной работы в различных режимах эксплуатации.

Основываясь на проведенных исследованиях, были сделаны следующие выводы:

1. Цифровой сигнал датчика объема прокачиваемого топлива имеет высокую точность и может быть использован для расчета часового расхода топлива при проведении испытаний на транспортных средствах.

2. Данные часового расхода топлива, передаваемые и получаемые в шине данных CAN и S6, имеют низкую погрешность, что дает возможность измерять потребление топлива в неустановившихся режимах движения.

3. Все транспортные средства, оснащенные датчиком такого типа, могут быть включены в автоматизированную систему расчета корректирующих коэффициентов технического обслуживания и текущего ремонта, а также для определения фактического выполнения работы транспортным средством.

4. Существующая система преобразования и передачи информации на сервер вносит искажения и увеличивает погрешность в неустановившемся режиме прохождения топлива через датчик расхода топлива.

5. Для повышения точности информации часового расхода топлива на сервере обработку полученных данных с датчика расхода топлива необходимо проводить до передачи на сервер или увеличивать частоту передачи на сервер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гурский, А.С. Использование транспортной телематики и дистанционной диагностики для совершенствования технического обслуживания и ремонта транспортных средств / А.С. Гурский, В.С. Ивашко // Изв. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 2020. – Т. 65, № 3. – С. 375–383.
2. Гурский, А.С. Анализ автомобильных систем обмена информацией с возможностью формирования комплекса параметров для дистанционного диагностирования / А.С. Гурский, Е.Л. Савич / Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту : матеріали XII МНПК ВНТУ, Вінниця, 22–23 жовтня 2019 р. – Вінниця, 2019. – С. 71–73.
3. Датчик уровня топлива [Электронный ресурс] // Экосистемы. – Режим доступа: <http://ecosystems.spb.ru/equipment/fuel-sensor>.
4. Повышение качества технического обслуживания и ремонта автотранспортных средств путем мониторинга технического состояния / А.А. Алешко [и др.] ; под ред. Д.Н. Ковалева. – Минск : Транстехника, 2018. – 324 с.
5. Гурский, А.С. Анализ возможности использования аналогового датчика расхода топлива в системе корректирования периодичности технического обслуживания и трудоемкости текущего ремонта / А.С. Гурский, В.С. Ивашко // Изобретатель. – 2020. – № 5 (241). – С. 11–22.

Поступила 23.06.2021

**ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF USING AN DIGITAL FUEL CONSUMPTION SENSOR
IN THE SYSTEM FOR CORRECTING THE PERIODICITY OF MAINTENANCE
AND THE COMPLEXITY OF ROUTINE REPAIRS.**

A. GURSKY

In order to ensure the maintenance of vehicles in a technically sound condition in modern conditions, it is necessary to calculate the frequency of maintenance and the complexity of the current repair of vehicles on the basis of the results of operational control of vehicles on the actual work performed while driving in various operating conditions. The correction factors are formed on the basis of a set of operational parameters. One of the main parameters in the complex is the value of the hourly fuel consumption. The accuracy of the information received from the fuel consumption sensor affects the results of processing the information of the entire set of parameters. The analysis of the digital signal of the fuel consumption sensor is carried out in order to be able to use it to determine the actual work performed by the vehicle on fuel consumption. The error of measuring the fuel consumption by the sensor, converting and transmitting information to the server is determined. The possibility of using this type of sensor in the system for calculating the correction factors of maintenance and labor intensity of the current repair of vehicles and the actual performance of transport work in various operating modes is determined.

Keywords: *parameter, fuel consumption, sensor, error, frequency, maintenance, coefficient.*