

Д. Н. Илюшин, Д. А. Ломов, Е. А. Салыкин, Е. А. Федянов

ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РАСХОДА ТОПЛИВА АВТОМОБИЛЕМ ПО ДАННЫМ CAN-ШИНЫ

Волгоградский государственный технический университет

infiniti1909@rambler.ru, lomov_danil_a@gmail.com, e_salykin@vstu.ru, fedyanov@vsty

Автор, ответственный за переписку: Салыкин Евгений Александрович, e_salykin@vstu.ru

Выполнено сравнение значений эксплуатационного расхода топлива автомобилями «Лада Калина 2» и «Datsun on-Do», полученных двумя способами: по информации из бортовой CAN-шины и прямым измерением с помощью массового расходомера. Исследования выполнялись на динамометрическом ступичном стенде Dynapack DAQ+ V43, что позволило задавать последовательность нагрузочных режимов работы двигателя, соответствующих различным условиям движения автомобиля.

Установлено, что эксплуатационный расход топлива, полученный прямым его измерением, отличается от расхода, определенного по данным из CAN-шины автомобиля. На обоих испытанных автомобилях расход, полученный прямым измерением, выше. Различие рассматриваемых значений расхода практически не зависит от нагрузочного режима, но зависит от особенностей бортовой электронной системы автомобиля. Для автомобиля «Лада Калина 2» средняя величина различий в значениях расходов около 13 %, а для автомобиля «Datsun on-DO» – около 7,5 %. На автомобиле «Лада Калина» среднее значение различий расходов на режиме холостого хода несколько выше, чем на нагрузочных режимах.

Ключевые слова: автомобиль, расход топлива, CAN-шина, стендовые испытания

D. N. Ilyushin, D. A. Lomov, E. A. Salykin, E. A. Fedyanov

ACCURACY OF DETERMINING FUEL CONSUMPTION BY A VEHICLE BASED ON CAN BUS DATA

Volgograd State Technical University

A comparison was made of the operating fuel consumption values of «Lada Kalina 2» and «Datsun On-Do» cars obtained in two ways: according to information from the on-board CAN bus and direct measurement using a mass flow meter. The research was carried out on a «Dynapack DAQ»+ «V43» hub dynamometer, which made it possible to set a sequence of load operating modes of the engine corresponding to various vehicle driving conditions.

It has been established that the operational fuel consumption obtained by direct measurement differs from the consumption determined from data from the vehicle's CAN bus. On both vehicles tested, the consumption obtained by direct measurement is higher. The difference in the considered consumption values practically does not depend on the load mode, but depends on the features of the vehicle's on-board electronic system. The difference in the considered consumption values practically does not depend on the load mode, but depends on the features of the vehicle's on-board electronic system. For the «Lada Kalina 2» car, the average difference in cost values is about 13 %, and for the «Datsun on-DO» car – about 7,5 %. On a «Lada Kalina» car, the average difference in costs at idle mode is slightly higher than at load modes.

Keywords: car, fuel consumption, CAN bus, bench tests

Эксплуатационный расход топлива является важным показателем, который характеризует как условия эксплуатации автомобиля, так и его техническое состояние. В современных автомобилях, оснащенных электронными системами управления двигателем и агрегатами трансмиссии, информация о мгновенном расходе топлива передается по так называемой CAN-шине. На основе значений мгновенного расхода бортовая электронная система автомобиля формирует оценку эксплуатационного расхода, относя его, как правило, к фиксированной величине пробега автомобиля.

Значение мгновенного расхода, которое передается в CAN-шину, система управления определяет по осредненной характеристике форсунок в зависимости от длительности подаваемого на них управляющего импульса. Так как характеристика каждой конкретной форсунки в силу производственных допусков может несколько отличаться от осредненной, а также может несколько изменяться в процессе эксплуатации, то данные о мгновенных расходах, передаваемые по CAN-шине, а следовательно, и о эксплуатационном расходе, будут в некоторой мере отличаться от фактических. Авторы публикации [1], касающейся методов определения расходов топлива автомобилем, априори предполагают, что точность данных о расходе топлива, передаваемых по CAN-шине, недостаточна, и утверждают, что для определения расхода с приемлемой точностью, необходимо устанавливать на автомобиль специальное измерительное устройство.

Известны работы [2; 3], посвященные оценке точности определения эксплуатационного расхода топлива по данным бортовой CAN-шины автомобиля. В этих работах определение эксплуатационного расхода выполнялось по результатам дорожных испытаний автомобиля. В силу последнего по результатам этих работ можно дать лишь интегральную оценку погрешности в определении расхода по данным CAN-шины, однако выявить зависимость этой погрешности от режима работы двигателя не представляется возможным.

В данной работе определение эксплуатационного расхода топлива производилось на автомобилях, которые были установлены на динамометрическом стенде Dynapack DAQ+ V43 [10]. На этом стенде момент сопротивления на ведущих колесах автомобиля создается присоединенными к ступицам этих колес гидравлическими насосами объемного типа. Использование стенда позволяло задавать последовательность определенных нагрузочных режимов, соответствующих различным условиям движения автомобиля, и, тем самым, изучать влияние режима на погрешность измерения расхода по данным CAN-шины, а также сравнивать погрешности измерения расходов в системах управления различных автомобилей. Общий вид автомобиля на динамометрическом стенде показан на рис. 1.

В данной статье приводятся результаты испытаний двух автомобилей: «Лада Калина 2» с двигателем «BA3-21126» и «Datsun on-DO» с двигателем «BA3-11186». Первый автомобиль был оснащен автоматической коробкой передач, а второй – механической. Электронные системы управления двигателями на обоих автомобилях построены на базе контроллера M74, который связан с блоками управления других электронных систем автомобиля посредством бортовой CAN-шины со скоростью передачи данных 500 кбит/с.

В общедоступной технической документации на исследуемые автомобили отсутствуют надежные сведения о том, в каких пакетах данных CAN-шины содержится информация о мгновенном расходе топлива. С целью идентификации таких пакетов была использована следующая методика: двигатель с помощью динамометра переводился в режим принудительного холостого хода, на котором величина мгновенного расхода топлива равна нулю. Контроль величины расхода производился с помощью подключенного к CAN-шине автомобиля диагностического прибора (сканера) «Сканматик 2» [4]. Пакеты данных из CAN-шины автомобиля получали с помощью программируемого логического контроллера

«CANNY 7» [5], функционировавшего в режиме анализатора. В результате побитового анализа изменения значений пакетов данных с учетом информации, отображаемой диагно-

стическим прибором, установлено, что значение величины мгновенного расхода топлива содержится в пакете с идентификатором ID 551, а именно: в байтах D7:D6.



Рис. 1. Автомобиль ВАЗ-21126 на испытательном стенде Dynapack DAQ+ V43:
1 – динамометрический ступичный стенд, 2 – топливопровод, подключенный к топливной рампе автомобиля, 3 – персональный компьютер

С использованием графической среды CannyLab для контроллера «CANNY 7» создано программное обеспечение (рис. 2), выполняющее извлечение информации о мгновенном расходе топлива из потока данных CAN-шины и передачу ее через преобразователь «USB-UART CP2102» [6] на персональный компьютер. Программа реализована на языке C# в среде Microsoft Visual Studio.

Сравнение отображаемых на персональном компьютере данных о мгновенном расходе то-

плива, полученных с помощью разработанной программы и с помощью сканера «Сканматик 2», показало их совпадение (рис. 3).

В последующих исследованиях при измерениях расхода топлива также использовалось параллельное подключение к CAN-шине автомобиля логического контроллера «CANNY 7» и сканера «Сканматик 2», что позволило контролировать кроме мгновенного расхода топлива и другие необходимые параметры, характеризующие режим работы двигателя.

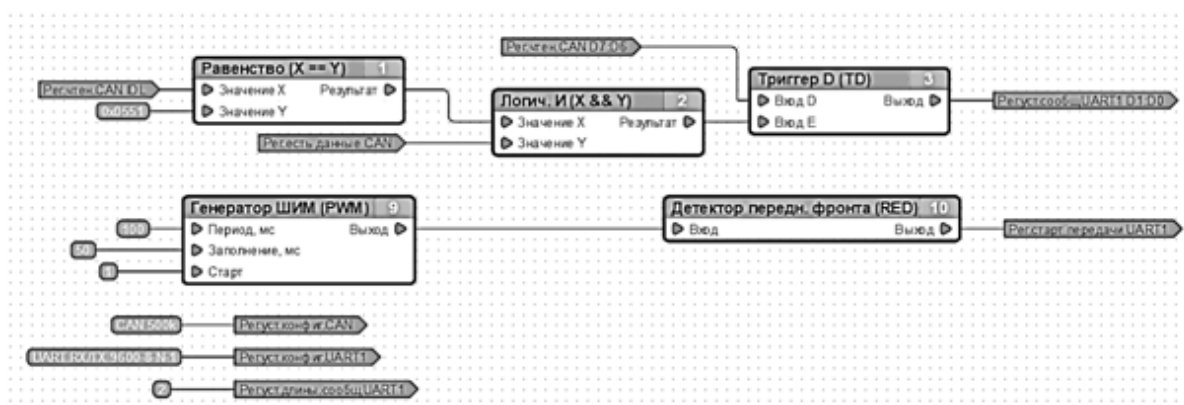


Рис. 2. Логика разработанной в графической среде CannyLab программы получения пакетов данных контроллером «CANNY 7»

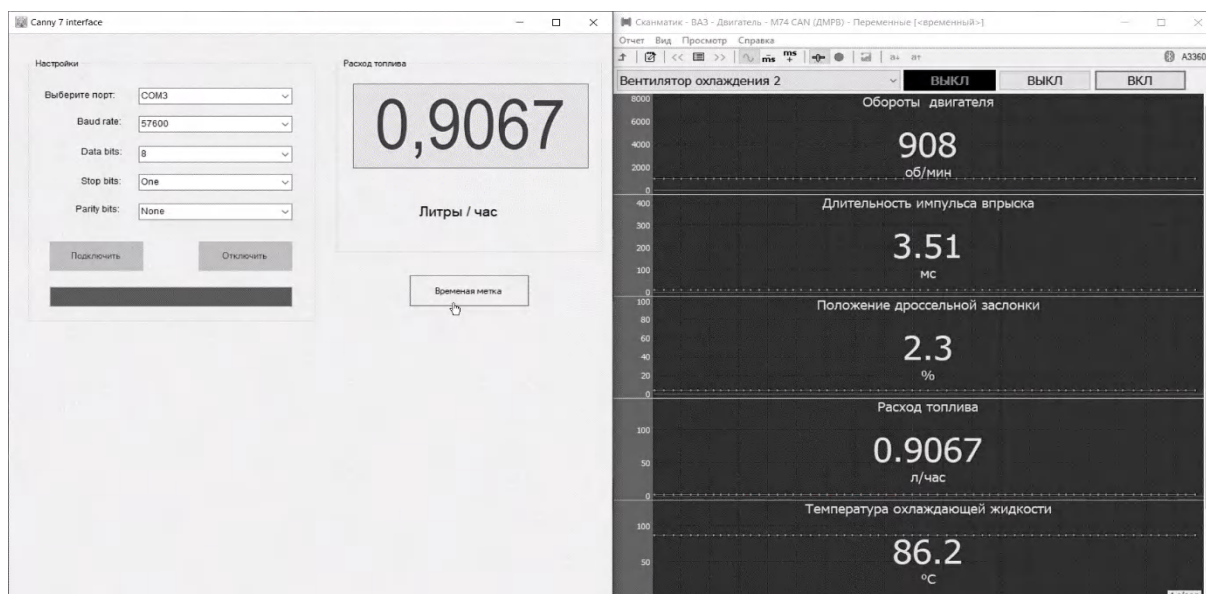


Рис. 3. Окна параллельно работающих программ:
разработанной для определения расхода топлива (слева) и «Сканматик 2» (справа)

Непосредственное измерение расхода топлива двигателем автомобиля выполнялось с помощью специально изготовленного расходомера. Конструкция этого массового расходомера (рис. 4) подобна ранее известным [7] и учитывает особенности топливных систем иссле-

дуемых автомобилей. В этих системах топливо подается из бака в топливную рампу двигателя с помощью электробензонасоса под постоянным давлением 380 кПа, обеспечиваемым регулятором давления [8]. В данном случае топливо в топливную рампу подавалось электробензонасосом, погруженным в емкость расходомера. Электробензонасос штатной топливной системы автомобиля был отключен.

Емкость расходомера размещалась на весах «Mettler PE 4000» [9]. Расход топлива за контролируемый интервал времени определялся по разнице массы топлива в емкости в моменты начала и окончания измерения. При определении массы израсходованного топлива учитывалась величина выталкивающей силы, действующей на погруженные в топливо и жестко закрепленные на корпусе прибора бензонасос и топливный фильтр. Величина этой силы переменна, так как по мере расхода топлива из емкости объем погруженных в топливо элементов расходомера уменьшается. Зависимость выталкивающей силы от массы находящегося в емкости расходомера топлива была найдена экспериментально. С учетом найденной зависимости величина массы топлива в емкости расходомера в каждый момент времени вычислялась по формуле:

$$m_r = \frac{F_r}{g} - \rho_r \cdot f(F_r), \quad (1)$$

где F_r – показание весового устройства расходомера, g – ускорение свободного падения, ρ_r – плотность топлива, $f(F_r)$ – функция, вы-

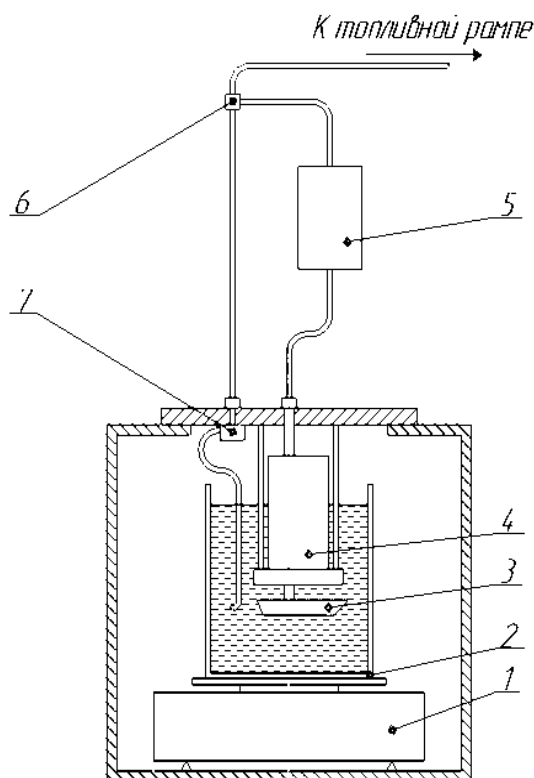


Рис. 4. Принципиальная схема расходомера:
1 – весы; 2 – измерительная емкость; 3 – фильтр грубой очистки;
4 – электробензонасос; 5 – фильтр тонкой очистки; 6 – тройник гидравлический; 7 – регулятор давления топлива

ражающая поправку от действия выталкивающей силы.

Во время пробных экспериментов было установлено, что на результат измерения расхода топлива оказывает влияние работа клапана продувки адсорбера автомобиля. Это связано с неконтролируемым попаданием во впускной коллектор двигателя паров топлива из топливного бака автомобиля. Для повышения точности и повторяемости результатов экспериментов клапан продувки адсорбера был отключен. Поддержание температурного режима двигателя автомобиля осуществлялось с помощью потока воздуха от вентилятора стенда.

В процессе измерений расхода топлива на каждом из режимов обеспечивалось постоянство температуры охлаждающей жидкости в двигателе (в диапазоне $85 \div 95$ °C).

Как было отмечено выше, нагрузочные режимы работы двигателей автомобилей в ходе испытаний задавались с помощью динамометрического ступичного стенда. Частота вращения коленчатого вала двигателя была ограничена управляющей программой стенда величиной 3000 об/мин. Вывод двигателя на заданный режим выполнялся посредством изменения положения педали акселератора автомобиля при положении селектора автоматической коробки передач автомобиля «Лада Калина 2», соответствующем второму диапазону ее работы, а для автомобиля «Datsun on-DO» включенной третьей передаче механической коробки передач.

Испытания автомобиля «Лада Калина 2» были проведены на трех нагрузочных режимах (табл. 1), а автомобиля «Datsun» – на двух (табл. 2). Величина нагрузки оценивалась по значению момента M_k на оси ведущих колес. Для каждого из автомобилей замеры расхода топлива были проведены также на режиме холостого хода двигателя.

Измерение расхода топлива осуществлялось по следующей методике: вывод двигателя на необходимый режим работы; стабилизация контролируемых параметров; синхронные запуск отсчета времени измерения расхода топлива времени в программе, осуществляющей запись величины мгновенного расхода топлива по данным CAN-шины, и видеофиксация по шкале весового устройства значения массы топлива в емкости расходомера; синхронные остановка отсчета времени в программе и видеофиксация значения массы топлива в емкости расходомера; запись результатов измерения массы топлива. Продолжительность каждого измерения расхода топлива составляла 60 с.

В процессе испытаний периодически контролировалась плотность топлива, находившегося в емкости расходомера. Плотность определялась прямым взвешиванием отмеренного с помощью мерного цилиндра объема топлива. Полученная величина плотности использовалась при расчете по формуле (1) массы израсходованного топлива.

Таблица 1

Результаты измерений расхода топлива
для «Лада Калина 2»

№ измерения	Крутящий момент М _к , Н·м	Расход топлива			Относительная погрешность, %
		по информации из CAN-шины		по массовому расходомеру, г	
		объемный, л	массовый, г		
1	0	0,015	11,45	13,43	14,74
2	0	0,016	11,98	13,93	14,00
3	0	0,016	11,73	13,90	15,61
4	75	0,136	98,28	112,20	12,41
5	75	0,136	98,94	115,23	14,14
6	78	0,139	100,52	116,57	13,77
7	104	0,171	123,72	142,85	13,39
8	103	0,17	123,29	140,57	12,29
9	103	0,17	123,28	142,33	13,38
10	148	0,245	177,19	201,58	12,10
11	148	0,252	182,67	210,67	13,29
12	147	0,237	171,67	192,33	10,74

Таблица 2

Результаты измерений расхода топлива для «Datsun on-DO»

№ измерения	Крутящий момент Мк, Н·м	Расход топлива			Относительная погрешность, %
		по информации из CAN-шины		по массовому расходомеру, г	
		объемный, л	массовый, г		
1	0	0,015	10,84	11,70	7,35
2	0	0,014	10,67	11,50	7,22
3	0	0,014	10,53	11,40	7,63
4	99	0,167	121,41	130,56	7,01
5	98	0,168	121,69	131,55	7,49
6	99	0,169	122,35	133,00	8,01
7	131	0,228	165,36	178,00	7,10
8	131	0,230	166,15	180,00	7,69
9	131	0,229	165,76	185,77	7,85

Результаты измерений расхода топлива на различных стационарных режимах работы двигателей автомобилей, определяемые величиной крутящего момента M_k , представлены в табл. 1 и 2. Приведенные в таблицах значения относительной погрешности Δ_T вычислены по формуле:

$$\Delta_T = \frac{m_r - m_{CAN}}{m_r} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где m_r – расход топлива, полученный прямым измерением с помощью массового расходомера; m_{CAN} – расход топлива, полученный по информации из бортовой CAN-шины автомобиля.

Анализируя приведенные в таблицах данные, можно отметить хорошую повторяемость измерений при максимальной относительной погрешности метода измерения расхода топлива по информации из CAN-шины 15,6 % для «Лада Калина 2» и 10,77 % для «Datsun on-DO».

Анализ приведенных в таблицах данных позволяет сделать следующие выводы. Во-первых, расход топлива, полученный прямым его измерением, заметно отличается от расхода, который бортовая электронная система автомобиля формирует на основе данных о мгновенном расходе, передаваемых по CAN-шины автомобиля. На обоих испытанных автомобилях расход, полученный прямым измерением, выше. Во-вторых, различие рассматриваемых значений расхода практически не зависит от нагрузочного режима, но зависит от особенностей бортовой электронной системы автомобиля. Для автомобиля «Лада Калина» средняя величина различий в значениях расходов около 13 %, а для автомобиля «Datsun on-DO» – около

7,5 %. На автомобиле «Лада Калина» среднее значение различий расходов на режиме холостого хода несколько выше, чем на нагрузочных режимах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Способы контроля расхода топлива [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://avtonavix.ru/news/spo-sobyukontrolyarashkhodatopliva/?ysclid=lvgpsb7fgn505864419> (дата обращения: 30.04.2024 г.).
2. Торопов, Е. И. Оценка точности измерения расхода топлива на основе данных из бортовой CAN-шины / Е. И. Торопов, Ю. П. Трусов [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2021. – № 1.
3. Блохин, А. Н. Сравнительный анализ определения расхода топлива автомобиля с использованием расходомера «DFL3X-5BAR» и расчетным методом с помощью данных диагностического протокола OBD II / А. Н. Блохин, Ю. И. Молев [и др.] // Fundamental research. – 2015. – № 8.
4. Scanmatik [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.scanmatik.ru/> (дата обращения: 30.04.2024 г.).
5. CANny [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://canny.ru/c7/> (дата обращения: 30.04.2024 г.).
6. Silicon Laboratories. CP2102-9. 2-Port USB 2.0 to UART Bridge Controller. Datasheet. – 2023. – Режим доступа: URL: <https://www.silabs.com/documents/public/datasheets/CP2102-9.pdf> (дата обращения: 30.04.2024 г.).
7. Martyr, A. J., Plint M. A. Engine Testing: The Design, Building, Modification and Use of Powertrain Test Facilities. – 2007.
8. Зимин, В. А. ЭСУД автомобилей семейств LADA SAMARA, LADA KALINA, LADA GRANTA с контроллером М74 Евро-4 – устройство и диагностика / В. А. Зимин, П. Н. Христов, Д. А. Прудских. – Тольятти, 2012. – 288 с.
9. SITRANS P200/P400. Operating Instructions. – Режим доступа: URL: https://www.mt.com/ru/ru/home/library/operating-instructions/other/PE200_400_BA.html (дата обращения: 30.04.2024 г.).
10. Dynapack. – Режим доступа: URL: <https://dynapack.com/> (дата обращения: 30.04.2024 г.).