УДК 629.3.083

РАЗРАБОТКА ДАТЧИКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТОПЛИВА НА АВТОМОБИЛЕ

DEVELOPMENT OF A SENSOR FOR MEASURING FUEL DENSITY ON A CAR

Затеев Алексей Константинович
магистрант группы ТЭАм-23-1,
Иркутский национальный исследовательский технический университет

Zateev Alexey Konstantinovich
Master's Student of the TEAm-23-1 group,
Irkutsk National Research Technical University

Аннотация. Цель статьи заключается в описании разработки и тестирования датчика для измерения плотности топлива, предназначенного для использования в автомобилях. Методы. В работе использованы экспериментальные методы, включающие сборку датчика на основе тензометрического сенсора, аналогово-цифрового преобразователя ADS1115 и микроконтроллера Arduino Nano. Результаты. Разработанный датчик позволяет измерять плотность топлива с высокой точностью, что подтверждено экспериментальными данными. Выводы. Предложенное решение может быть использовано для повышения точности контроля расхода топлива в автомобилях, особенно в условиях эксплуатации в сложных климатических условиях.

Ключевые слова: датчик плотности топлива, тензометрический сенсор, ADS1115, Arduino, контроль расхода топлива, массовые единицы, топливная система, точность измерений.

Annotation. The purpose of this article is to describe the development and testing of a fuel density sensor designed for use in vehicles. Methods. The article uses experimental methods, including the assembly of a sensor based on a strain gauge sensor, an ADS1115 analog-to-digital converter, and an Arduino Nano microcontroller. Results. The developed sensor allows for high-precision measurement of fuel density, as confirmed by experimental data. Conclusions. The proposed solution can be used to improve the accuracy of fuel consumption monitoring in vehicles, especially in challenging climatic conditions.

Keywords: fuel density sensor, load cell sensor, ADS1115, Arduino, fuel consumption control, mass units, fuel system, measurement accuracy.

Введение

Контроль расхода топлива является важной задачей для повышения эффективности эксплуатации автомобилей, особенно в условиях сложных климатических зон, таких как северные и северо-восточные регионы России [1]. Существующие методы измерения расхода топлива, основанные на объемных единицах, имеют значительные погрешности, связанные с изменением температуры и деформацией топливных баков [2]. В связи с этим, актуальной задачей является разработка методов измерения расхода топлива в массовых единицах, что позволяет исключить влияние внешних факторов и повысить точность контроля.

Постановка задачи

Для корректной работы датчика уровня топлива в массовых единицах необходимо рассчитать архимедову силу, действующую на поплавки, чтобы определить предельную нагрузку на тензодатчик.

Архимедова сила (*Fa*) определяется по формуле:

$$Fa = \rho \cdot g \cdot V,$$

где ρ – плотность топлива (кг/м³); g – ускорение свободного падения (9.806 м/с²); V – объём погруженного поплавка (м³).

Сила тяжести (Fт), действующая на поплавок:

$$Fт = m \cdot g,$$

где m – масса поплавка (кг).

Результирующая сила (Fрез), передаваемая на тензодатчик:

$$Fрез = Fa – Fт.$$

Исходные данные для расчёта:

- Масса поплавка: m = 0,0027 кг.
- Диаметр поплавка D = 0,039 м.

Плотности топлив:

- ρ(бенз) = 760 кг/м³;
- ρ(ДТ) = 860 кг/м³.

Объём поплавка (Vп) вычисляется по формуле объёма шара:

$$V_{\text{П}} = \frac{П}{6} D^3,$$

$$V_{\text{П}} = \frac{3{,}14 * 0{,}00005931\text{м}}{6} \approx 0{,}0000310389\ \text{м}^3.$$

Расчёт архимедовой силы и результирующей нагрузки для бензина:

$$\text{Fa} = 760 * 9{,}806 * 0{,}0000310389 \approx 0{,}2313\text{Н},$$

$$\text{Fa} - \text{Fт} = 0{,}2313 - 0{,}026 = 0{,}2053\text{Н}.$$

Расчёт архимедовой силы и результирующей нагрузки для дизельного топлива:

$$\text{Fa} = 860 \cdot 9.806 \cdot 0.0000310389 \approx 0.2617\text{Н},$$

$$\text{Fрез} = 0.2617 - 0.0265 \approx 0.235\ \text{Н}.$$

Для заданных условий движения уравнение расхода топлива будет выглядеть следующим образом [3]:

$$Q_s = g_e \frac{(N_{\text{д}} + N_{\text{в}} + N_{\text{и}})}{36 v_a \rho_{\text{т}} \eta_{\text{т}}} = g_e \frac{(F_{\text{д}} + F_{\text{в}} + F_{\text{и}})}{36000 \rho_{\text{т}} \eta_{\text{т}}},$$

где Q_s – удельный расход топлив; g_e – удельный эффективный расход топлива; $N_{\text{д}}$, $N_{\text{в}}$, $N_{\text{и}}$ – мощности, затрачиваемые на движение, вспомогательные системы и инерцию; v_a – скорость движения; $\rho_{\text{т}}$ – плотность топлива; $\eta_{\text{т}}$ – КПД трансмиссии; $F_{\text{д}}$, $F_{\text{в}}$, $F_{\text{и}}$ – силы сопротивления движению, вспомогательных систем и инерции (Н); 36000 – коэффициент перевода единиц.

Методы и материалы

Корпус датчика был изготовлен из сантехнической муфты диаметром 110 мм и высотой 128 мм. Внутри корпуса размещена внутренняя труба диаметром 50 мм и длиной 90 мм, которая выполняет роль резервуара для топлива. В основании внутренней трубы проделаны четыре отверстия, расположенные под углом 90 градусов друг к другу, что обеспечивает равномерное распределение топлива и синхронизацию уровня жидкости в основной муфте и внутренней трубе.

Для ограничения уровня жидкости на высоте 90 мм была установлена перегородка, которая предотвращает попадание топлива на тензометрический датчик, расположенный в верхней части корпуса. Это решение обеспечивает защиту датчика от намокания и повышает его долговечность.

В качестве основного измерительного элемента был использован тензометрический датчик, рассчитанный на нагрузку до 5Н. Датчик был подключен к аналогово-цифровому преобразователю ADS1115. Тензодатчик закреплен на кронштейне внутри корпуса муфты, а на него воздействуют два поплавка диаметром 39 мм.

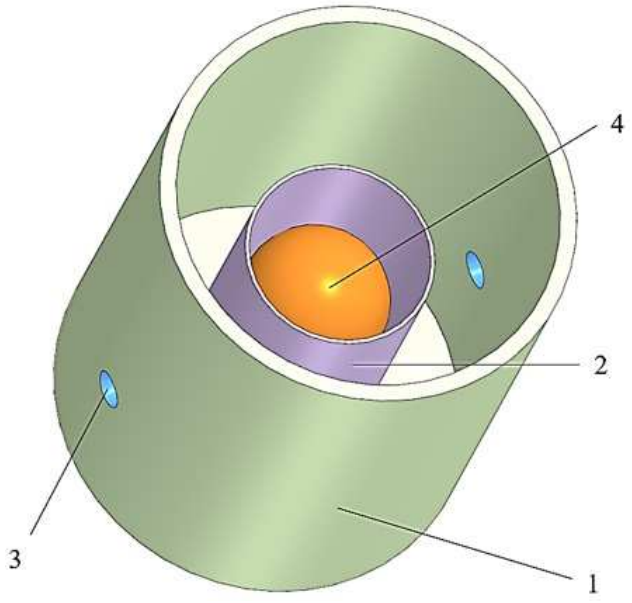

Рисунок 1 – Вид корпуса датчика плотности топлива изнутри:
1 – Корпус муфты; 2 – внутренняя труба с отверстиями;
3 – отверстия для штуцеров топливных шлангов; 4 – поплавки

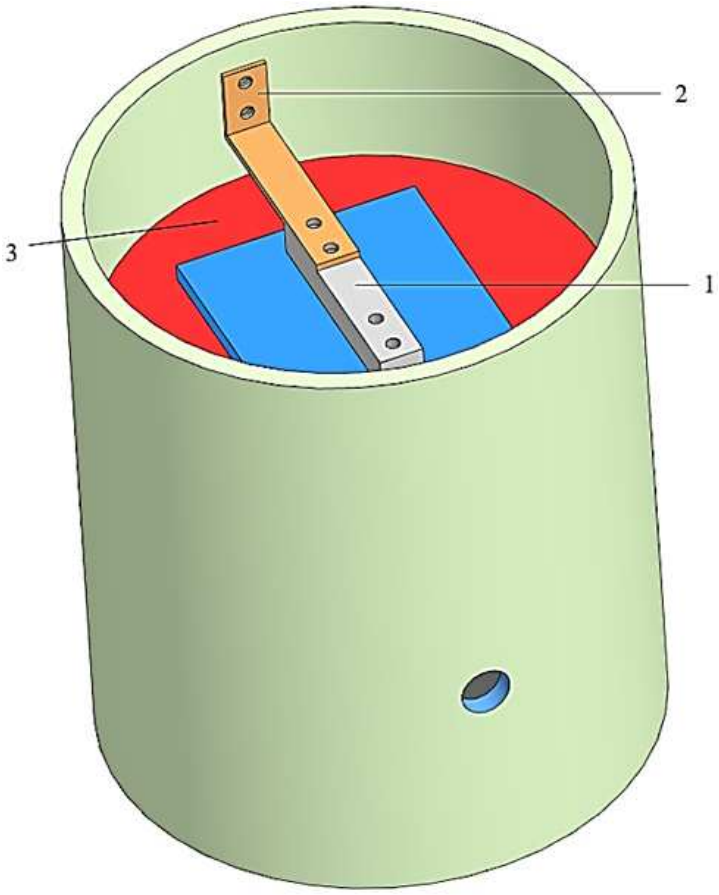

Рисунок 2 – Макет корпуса без верхней крышки:
1 – тензодатчик; 2 – кронштейн тензодатчика; 3 – герметичная перегородка

Для обработки сигналов с тензометрического датчика использован 16-битный аналогово-цифровой преобразователь ADS1115. Этот модуль обеспечивает высокую точность измерений и позволяет работать с дифференциальными и одиночными входами. ADS1115 был подключен к микроконтроллеру Arduino Nano через интерфейс I2C.

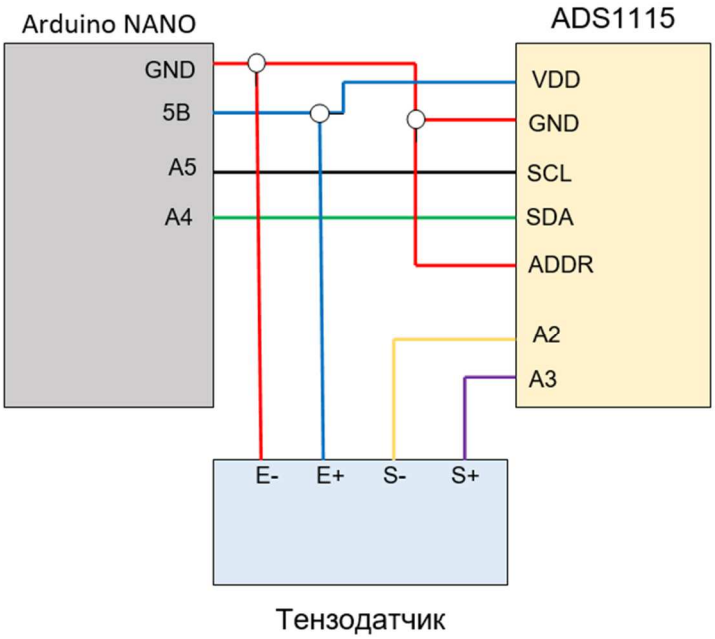

Рисунок 3 – Принципиальная схема подключения тензодатчика

Микроконтроллер Arduino Nano использован для управления процессом измерения и обработки данных с ADS1115. Программное обеспечение для микроконтроллера было разработано с использованием библиотеки Adafruit для работы с ADS1115. Код позволяет считывать данные с тензометрического датчика, преобразовывать их в значения массы топлива и передавать результаты на компьютер для дальнейшего анализа.

Программный код для Arduino был написан на языке C++ с использованием библиотек Wire.h и Adafruit_ADS1015.h.

Результаты

Для определения предельной нагрузки на тензометрический датчик были проведены расчеты архимедовой силы, действующей на поплавки. Результаты расчетов показали, что для бензина архимедова сила одного шарика составляет примерно 0,2053 Н (≈21 грамм), а для дизельного топлива – 0,2357 Н (≈24,5 грамма). Исходя из расчетов, предельная нагрузка на тензодатчик составит 1,5 Н.

Перед началом эксплуатации датчик был протарирован с использованием двухрублевых монет (допускались монеты с 2009-го года выпуска) массой 5 грамм каждая. Тарировка проводилась путем последовательного нагружения и разгружения датчика с шагом 10 грамм.

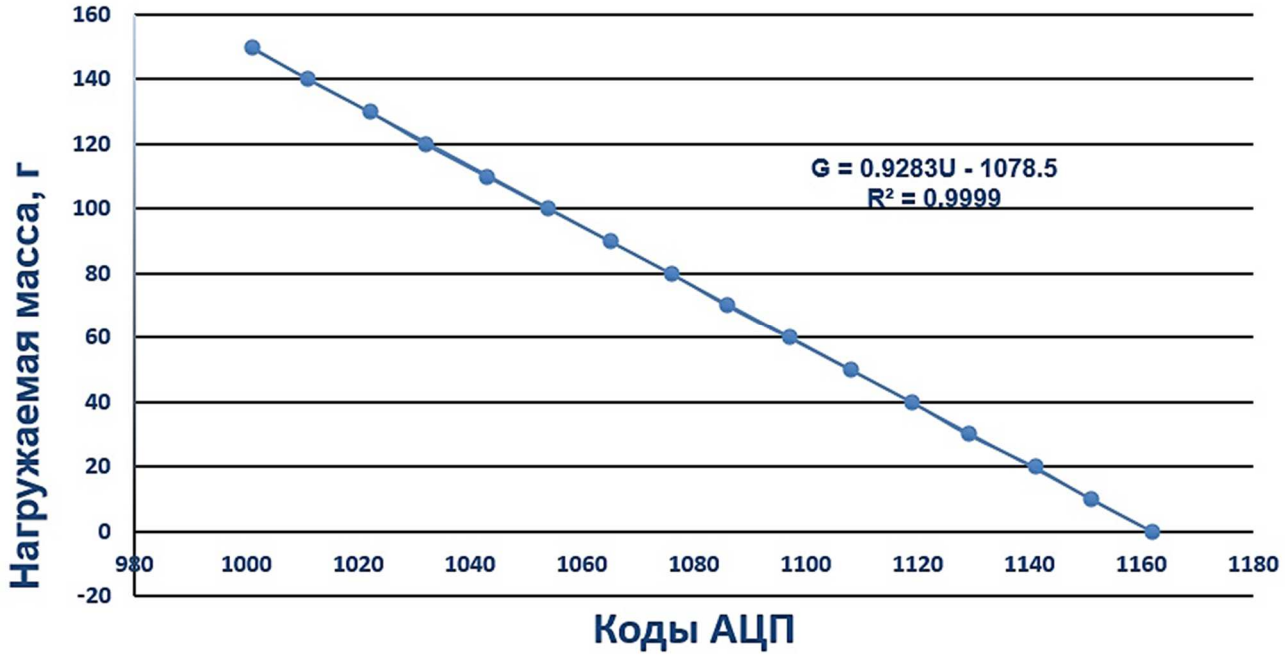

Рисунок 4 – Тарировочная кривая тензодатчика

Заключение

Разработанный датчик для измерения плотности топлива продемонстрировал высокую точность и надежность в лабораторных условиях, что подтверждается результатами тарировки и экспериментальных испытаний. Погрешность измерений массы топлива не превышает 1 грамма, что делает датчик перспективным для использования в системах мониторинга расхода топлива на автомобилях [4, 5, 6, 7]. Одним из ключевых преимуществ предложенного решения является измерение массы топлива, что исключает влияние таких факторов, как температура и деформация топливного бака, характерных для традиционных методов, основанных на объемных единицах.

Конструкция датчика, основанная на использовании доступных компонентов, обеспечивает экономическую эффективность и простоту сборки. Герметизация внутренней трубы и применение перегородки для ограничения уровня жидкости позволили защитить тензометрический датчик от намокания и коррозии, что повышает его долговечность и надежность в условиях эксплуатации.

Однако, на данном этапе датчик не испытывался в реальных условиях эксплуатации на автомобиле. В связи с этим, в дальнейшем планируется провести испытания на транспортных средствах для оценки влияния вибраций, наклонов и других внешних факторов на точность измерений [8]. Для компенсации возможных погрешностей, вызванных этими факторами, рассматривается возможность интеграции акселерометра MPU6050.

Перспективы дальнейших исследований включают оптимизацию конструкции датчика для упрощения его установки в топливную систему автомобиля, а также разработку алгоритмов компенсации внешних воздействий. Кроме того, интеграция датчика в телематические системы мониторинга позволит автоматизировать сбор и анализ данных о расходе топлива, что может способствовать снижению эксплуатационных затрат и повышению эффективности управления автопарками.

Список литературы:

1. Ишков А.М. Влияние качества топлива на надежность дизельных двигателей в условиях севера / А.М. Ишков, Е.Л. Иовлева // Наука и образование. – 2015. – № 1(77). – С. 65–7016.
2. Носова Е.В. Экспериментальное исследование качества дизельного топлива / Е.В. Носова, В.Н. Сапрыгина // Вестник ИрГТУ. – 2011. – № 6(53). – С. 69–72.
3. Федотов А.И. Основы теории эксплуатационных свойств колесных транспортных средств. Учебник для аспирантов направления подготовки 23.06.01 – Техника и технологии наземного транспорта. – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2016. – 254 с.
4. Экспериментальное исследование влияния технического состояния электрогидравлических форсунок на топливную экономичность автомобиля с дизелем, оснащённым аккумуляторной топливоподающей системой / С.Н. Кривцов [и др.] // Труды НАМИ. – 2017. – № 1(268). – С. 29–36.
5. Кривцов С.Н. Комплекс для измерения топливно-энергетических параметров автомобиля / С.Н. Кривцов, И.Д. Деньгин, О.М. Хмыльнин; Под ред. В.В. Альта // В сборнике: Информационные технологии, системы и приборы в АПК. АГРОИНФО-2021. Материалы 8-й Международной научно-практической конференции. – Новосибирск – Краснообск, 2021. – С. 292–299.
6. Трекер для измерения параметров работы автомобиля в движении / С.Н. Кривцов [и др.] // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2020. – № 36. – С. 11–20.
7. Кривцов С.Н. Обоснование способа измерения расхода топлива автомобилем с дизельным ДВС, оснащенным аккумуляторной топливоподающей системой, в дорожных условиях / С.Н. Кривцов, В.Г. Зимин, И.В. Малашкин; Редактор В.В. Минин // В сборнике: Транспортные системы Сибири. Развитие транспортной системы как катализатор роста экономики государства. Международная научно-практическая конференция. Сибирский федеральный университет. – 2016. – С. 515–520.
8. Krivtsov S.N. Measuring of traction and speed characteristics as well as of fuel economy of a car in road conditions / S.N. Krivtsov, A.P. Syrbakov, M.A. Korchuganova // In the collection: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. electronic edition. National Research Tomsk Polytechnic University. – 2016. – P. 12101.

List of references:

1. Ishkov A.M. Influence of fuel quality on the reliability of diesel engines in the conditions of the North / A.M. Ishkov, E.L. Iovleva // Science and Education. – 2015. – № 1(77). – P. 65–7016.
2. Nosova E.V. Experimental study of diesel fuel quality / E.V. Nosova, V.N. Saprygina // Vestnik IrGTU. – 2011. – № 6(53). – P. 69–72.
3. Fedotov A.I. Fundamentals of the Theory of Operational Properties of Wheeled Vehicles. Textbook for Postgraduate Students of the Field of Study 23.06.01 – Land Transport Engineering and Technologies. – Irkutsk : IRNITU Publishing House, 2016. – 254 p.
4. Experimental study of the effect of the technical condition of electrohydraulic injectors on the fuel efficiency of a diesel vehicle equipped with a battery-powered fuel supply system / S.N. Krivtsov [et al.] // Proceedings of NAMI. – 2017. – № 1(268). – P. 29–36.
5. Krivtsov S.N. Complex for Measuring Fuel and Energy Parameters of a Vehicle / S.N. Krivtsov, I.D. Dengin, O.M. Khmyl'nin; Edited by V.V. Al'ta // In the collection: Information Technologies, Systems, and Devices in the Agro-Industrial Complex. AGROINFO-2021. Materials of the 8th International Scientific and Practical Conference. – Novosibirsk – Krasnoobsk, 2021. – P. 292–299.
6. Tracker for measuring vehicle operating parameters in motion / S.N. Krivtsov [et al.] // Actual Issues of Agrarian Science. – 2020. – № 36. – P. 11–20.
7. Krivtsov S.N. Justification of the method of measuring fuel consumption by a car with a diesel internal combustion engine equipped with a battery-powered fuel supply system in road conditions / S.N. Krivtsov, V.G. Zimin, I.V. Malashkin; Editor V.V. Minin // In the collection: Transport systems of Siberia. Development of the transport system as a catalyst for the growth of the state economy. International scientific and practical conference. Siberian Federal University. – 2016. – P. 515–520.
8. Krivtsov S.N. Measuring of traction and speed characteristics as well as of fuel economy of a car in road conditions / S.N. Krivtsov, A.P. Syrbakov, M.A. Korchuganova // In the collection: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. electronic edition. National Research Tomsk Polytechnic University. – 2016. – P. 12101.