

UDC 629.7.066.3

Doi: 10.31772/2587-6066-2019-20-2-198-203

For citation: Akzigitov R. A., Pisarev N. S., Statsenko N. I., Glukharev A. R., Tsar'kov I. B. [Developing the laboratory test bench of fuel three-point measurement]. *Siberian Journal of Science and Technology*. 2019, Vol. 20, No. 2, P. 198–203. Doi: 10.31772/2587-6066-2019-20-2-198-203

Для цитирования: Акзигитов Р. А., Писарев Н. С., Стаценко Н. И., Глухарев А. Р., Царьков И. Б. Разработка лабораторной установки трехточечного измерения топлива // Сибирский журнал науки и технологий. 2019. Т. 20, № 2. С. 198–203. Doi: 10.31772/2587-6066-2019-20-2-198-203

DEVELOPING THE LABORATORY TEST BENCH OF FUEL THREE-POINT MEASUREMENT

R. A. Akzigitov*, N. S. Pisarev, N. I. Statsenko, A. R. Glukharev, I. B. Tsar'kov

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
*E-mail: balals@mail.ru

The development of digital technology allows continuous improvements in many areas. This paper reflects the development of a new fuel measurement method. To measure the fuel, the authors propose three fuel sensors and a computational element to simulate the position of the fuel level in space with further calculating the volume of fuel, to reduce errors due to the fuel meters operation. The main advantage of this system is the elimination of errors arising from the evolution of an aircraft, as well as its uneven movement.

The paper demonstrates a phased development of a laboratory test bench to study the three-point method to measure fuel. In the course of the work, a vessel is assembled to simulate the fuel tank of the aircraft. The vessel is a glass container with submersible measuring sensors. Also, the research contains calculation of the bridge electrical circuit to compute a voltage value at each sensor. In the test, transformer fluid substitutes fuel, since it acted as a dielectric. The program code for the microcontroller is recorded.

The proposed method has several advantages in comparison with traditional methods of measuring the fuel level; a mathematical model is presented, on the basis of which the level of fuel in the aircraft fuel tank is measured.

Keywords: laboratory test bench, fuel gauge, fuel tank, error, aviation.

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ТРЕХТОЧЕЧНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТОПЛИВА

Р. А. Акзигитов*, Н. С. Писарев, Н. И. Стаценко, А. Р. Глухарев, И. Б. Царьков

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
*E-mail: balals@mail.ru

Развитие цифровых технологий позволяет непрерывно производить улучшения во многих сферах деятельности. Данная работа посвящена разработке нового, несуществующего на данный момент метода измерения топлива. Для измерения топлива предлагается использовать три топливных датчика и вычислительный элемент для моделирования положения уровня топлива в пространстве с дальнейшим расчетом объема топлива, что позволит уменьшить погрешности, возникающие при эксплуатации топливомеров. Главным преимуществом данной системы будет устранение погрешности, возникающей при эволюциях воздушного судна, а также при его неравномерном движении.

В данной работе проводится поэтапная разработка лабораторного стенда для исследования трехточечного метода измерения топлива. В ходе работы был собран сосуд, моделирующий топливный бак воздушного судна. Сосуд представляет собой стеклянную емкость с погружными измерительными датчиками. Также был проведен расчет мостовой электрической схемы, рассчитывающей значение напряжения на каждом датчике. В качестве замены топлива использовалось трансформаторное масло, выступающее в качестве диэлектрика. Был записан программный код для микроконтроллера.

Предложенный способ обладает рядом преимуществ в сравнении с традиционными способами замера уровня топлива. В работе представлена математическая модель, на основе которой производилось измерение уровня топлива в топливном баке воздушного судна.

Ключевые слова: лабораторная установка, топливомер, топливный бак, погрешность, авиация.

Introduction. The main objective of the method is to eliminate an error in case the surface of the fuel deviates from the position when the fuel is not affected by external forces [1].

The three-point method of fuel measurement involves the use of three fuel meters that determine the coordinates of the points located on the surface of the fuel and the electronic computing device with the geometric characteristics of the fuel tank introduced into it [2–4].

The obtained spatial coordinates of the three points located in the fuel tank in the computing device can be used to simulate the plane at the fuel surface (fig. 1). The resulting plane isolates the upper (empty) part of the fuel tank [5–8]. Using the mathematical apparatus of the resulting truncated figure (truncated fuel tank), we can calculate its volume.

The development of the pilot plant includes four stages:

1. Fuel tank model design;
2. Calculation and installation of electrical circuits of the fuel gauge;
3. Firmware of the microcontroller;
4. Test and adjustment of the installation.

Fuel tank model design. The result of the first stage of constructing a fuel tank model is a vessel that is a glass flask with a square section and a wooden cover with holes to install submersible fuel meter sensors [9–11]. We use aluminum pipes with a diameter of 10 mm and 16 mm assembled in the form of coaxial capacitors as submersible sensors (fig. 2).

For the calculation, the inner lower surface of the vessel is divided into similar sectors (fig. 3).

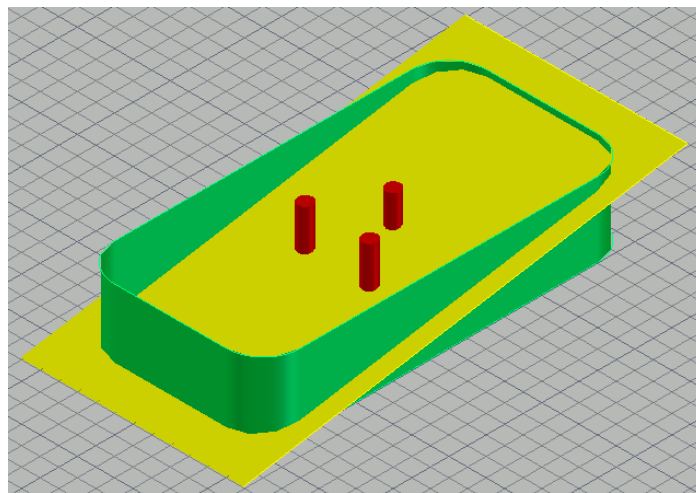


Fig. 1. The cross section of the fuel tank by the plane of the fuel level

Рис. 1. Сечение топливного бака плоскостью уровня топлива



Fig. 2. A vessel to measure liquids

Рис. 2. Сосуд для измерения жидкости

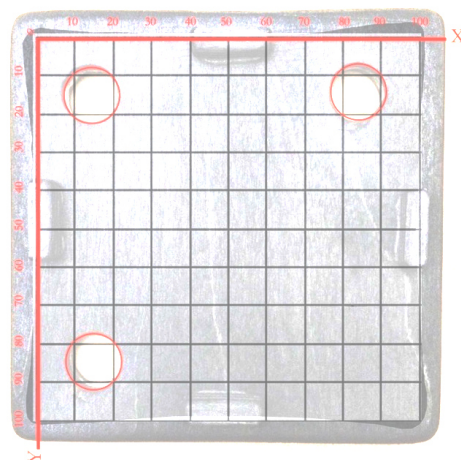


Fig. 3. Selected sectors of the surface

Рис. 3. Выделенные сектора поверхности

The second stage consists of the calculation and installation of the measuring bridge generating a misalignment signal from 0V to 5V.

Calculation and installation of electrical circuits of the fuel gauge. For the calculation and simulation of the scheme, we use an “online electric” resource for the interactive calculations of power supply systems (fig. 4).

Based on the modeled scheme, we install three schemes of the measuring bridges for each sensor separately to a prototyping board. Further, elements are connected to the submersible sensor as a capacitive element [12; 13].

Firmware of the microcontroller. Microcontroller “WAVGAT” (fig. 5) is chosen to be a computing device due to its docile computing performance and ease of firmware.

Microcontroller firmware is performed according to the following code; and an integrated development environment Arduino is used as the development environment.

Fig. 6 shows a part of the code, responsible for creating a program code with unchanged values to be used for the future mathematical calculations of the fuel level.

Fig. 7 demonstrates a section of the program code, designed to indicate the analog inputs, which are supplied with an analog signal in the form of voltage from 0 V to 5 V. This signal comes from the bridge circuit of the measuring unit.

At this stage (fig. 8) analog-to-digital conversion of the input signal is performed to facilitate further mathematical calculations [14; 15]. The calculated values as well as the constant values are used to continuous computation of the secant plane.

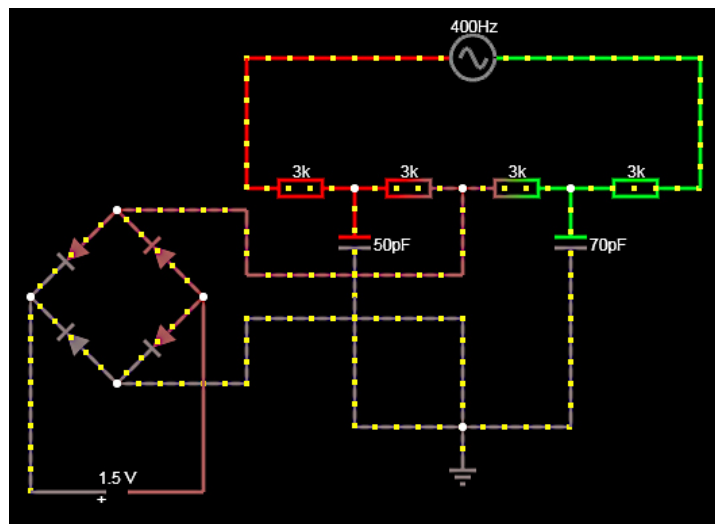


Fig. 4. Electrical diagram of the measuring bridge

Рис. 4. Электрическая схема измерительного моста

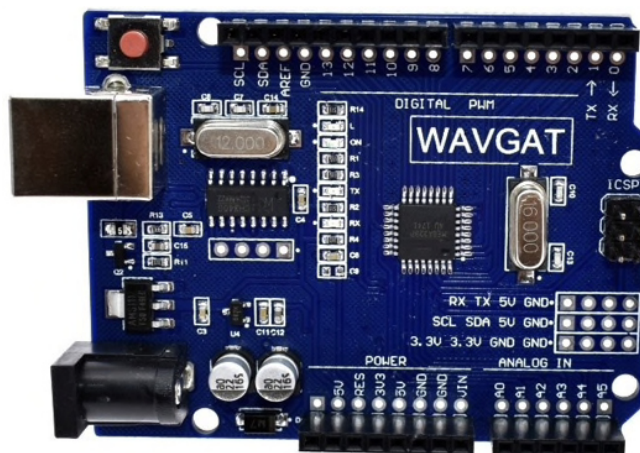


Fig. 5. Microcontroller WAVGAT

Рис. 5. Микроконтроллер WAVGAT

```
//Const: size
int xMax = 120;
int yMax = 120;
int zMax = 200;
int S = 12;

int z0;
int z1;
int z2;

//Const: coordinate
float x0 = xMax * 0.15;
float y0 = yMax * 0.15;
float x1 = xMax * 0.85;
float y1 = yMax * 0.15;
float x2 = xMax * 0.15;
float y2 = yMax * 0.85;
```

Fig. 6. The designation of the model vessel dimensions and the position of the submersible sensors

Рис. 6. Обозначение размеров модели сосуда и положение погружных датчиков

```
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);

  //Height
  pinMode(A0, INPUT);
  pinMode(A1, INPUT);
  pinMode(A2, INPUT);
}
```

Fig. 7. Designation in the code of analog inputs

Рис. 7. Обозначение в коде аналоговых входов

```
z0 = analogRead(A0);
z0 = map(z0, 0, 1023, 0, 200);
//z0 = constrain(z0, 0, 200);

z1 = analogRead(A1);
z1 = map(z1, 0, 1023, 0, 200);
//z1 = constrain(z1, 0, 200);

z2 = analogRead(A2);
z2 = map(z2, 0, 1023, 0, 200);
//z2 = constrain(z2, 0, 200);

int A = ((y1 + y0) * (z2 - z0)) - ((y2 - y0) * (z1 - z0));
int B = ((x1 + x0) * (z2 - z0)) - ((x2 - x0) * (z1 - z0));
int C = ((x1 + x0) * (y2 - y0)) - ((x2 - x0) * (y1 - y0));
int D = (-x0 * A) + (y0 * B) - (z0 * C);

int V = 0;
int z = 0;
```

Fig. 8. Analog-to-digital conversion and computation of the secant plane equation

Рис. 8. Аналогово-цифровое преобразование и вычисление уравнения секущей плоскости

Nested loop (fig. 9) calculates the height of the fuel level in each sector of the fuel tank model.

```
for (int x = 1; x <= xMax; x++) {
    for (int y = 1; y <= yMax; y++) {
        z = ((-x * A) + (y * B) - D) / C;
        V += S * z;
    }
}
```

Fig. 9. Nested loop

Рис. 9. Вложенный цикл

After the firmware, the output channels of bridge circuit rectifiers are connected to the microcontroller analog inputs and the operation of this system is tested. Transformer oil is used as a dielectric to replace aviation fuel; this eliminates the need to do insulation for submersible sensors.

Conclusion. By applying these corrections in the calculations, it becomes possible to perform computations with higher accuracy. It is possible to notice, the virtual truncated model corresponds to the real level of fuel tank filling factor, and the error in case of external forces does not occur, since the section plane will tilt in the virtual model while maintaining the volume.

The system shows some deviations during the measurements, but in general, the reliability of this measurement method has been confirmed and has got prospects for further development with more accurate measuring devices for better measurement accuracy.

References

1. Grigorovskiy B. K., Katsyuba O. A., Priputnikov A. P. [Display a variety of information and measurement process by a model number of fuel engineers. Representativeness of the display]. *Vestnik SAMGUPS*. 2015, Vol. 2, No. 2, P. 150–155 (In Russ.).
2. Dzhezhora A. A., Rubanik V. V., Savchuk V. K., Kuz'minich A. V. [Capacitive level sensors for electroconductive liquid]. *Datchiki i sistemy*. 2008, No. 12, P. 26–29 (In Russ.).
3. Mastepanenko M. A., Vorotnikov I. N., Anikuev S. V. *Matematicheskie modeli i metody obrabotki izmeritel'nykh signalov emkostnykh preobrazovateley na postoyannom toke* [Mathematical models and methods of processing measuring signals of capacitive DC converters]. Stavropol', Agrus, 2015, 232 p.
4. Dzhezhora A. A., Rubanik V. V., Savchuk V. K. [Fuel level control]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2009, No. 2, P. 21–25 (In Russ.).
5. Bogoyavlenskii A. A. [Instrumental control of the stock and flow of working fluids during technical operation of aircraft]. *Mir izmereniy*. 2017, No. 4, P. 16–23 (In Russ.).
6. Rechkin A. G., Kraynikov V. A., Sablin A. S. [To the question of measuring the fuel stock on board an aircraft] *II shkola-seminar molodykh uchenykh "Fundamental'nye problemy sistemnoy bezopasnosti"* [II school-seminar of young scientists "Fundamental problems of system security"]. Yelets, 2015, P. 196–202 (In Russ.).
7. Danilov V. G., Shemsedinov I. Sh. [Training system for solving problems in analytical geometry with generating tasks based on generating grammars]. *Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie*. 2009, No. 47, P. 5–10 (In Russ.).
8. Kenmoku Masakatsu [Analytic solutions of the wheeler-dewitt equation in spherically symmetric geometry]. *Gravity and cosmology*. 2009, Vol. 5, No. 4, P. 289–296
9. Pylilo I. S., Klybik V. K. [Selecting a prospective sensor type for continuous fuel level measurement]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2012, No. 4, P. 160–166 (In Russ.).
10. Goncharov D. S., Dzhezhora A. A. [Influence of coaxiality of cylindrical shells of circular section on the capacity of fuel level sensors]. *50 mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya prepodavateley i studentov, posvyashchennaya godu nauki* [50th International Scientific and Technical Conference of Teachers and Students, dedicated to the Year of Science]. Vitebsk, 2017, P. 105–106 (In Russ.).
11. Koshevoy N. D., Matveev A. G. [Development of algorithms for modeling the operation of fuel consumption sensors and interaction with the fuel main]. *Radioelektronika, informatika, upravlenie*. 2011, No. 2, P. 54–59 (In Russ.).
12. Vershinin O. S., Sharov V. V. [Experimental method for estimating the error of an automobile fuel level sensor]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki*. 2008, Vol. 2, No. 3, P. 116–121 (In Russ.).
13. Gurtovtsev A. L. [About Metrology of Electronic Power Meters]. *Elektro. Elektrotehnika, elektroenergetika, elektrotehnicheskaya promyshlennost'*. 2008, No. 2, P. 44–52 (In Russ.).
14. Buzhinskiy V. A. [About fluid oscillations in fuel tanks with damping gratings]. *Kosmonavtika i raketostroyeniye*. 2007, No. 46, P. 110–120 (In Russ.).
15. Pisarev N. S., Statsenko N. I. [Three-point aviation fuel gauge]. *Materialy XXI Mezhdunar. nauch. konf. "Reshetnevskie chteniya"* [Materials XXI Intern. Scientific. Conf. "Reshetnev reading"]. Krasnoyarsk, 2017, Vol. 1, P. 468–469 (In Russ.).

Библиографические ссылки

1. Григоровский Б. К., Кацюба О. А., Припутников А. П. Отображение модельным рядом топливометров многообразия информационно-измерительного процесса. Репрезентативность отображения // Вестник САМГУПС. 2015. Т. 2, № 2. С. 150–155.
2. Емкостные датчики уровня электропроводящей жидкости / А. А. Джежора, В. В. Рубаник, В. К. Савчук, А. В. Кузьминич // Датчики и системы. 2008. № 12. С. 26–29.
3. Мастепаненко М. А., Воротников И. Н., Аникуев С. В. Математические модели и методы обработки измерительных сигналов емкостных преобразователей на постоянном токе. Ставрополь : Агрус, 2015. 232 с.

4. Джежора А. А., Рубаник В. В., Савчук В. К. Контроль уровня топлива // Вестник Полоцкого гос. ун-та. 2009. № 2. С. 21–25.
5. Богоявленский А. А. Инструментальный контроль запаса и расхода рабочих жидкостей при технической эксплуатации воздушных судов // Мир измерений. 2017. № 4. С. 16–23.
6. Речкин А. Г., Крайников В. А., Саблин А. С. К вопросу измерения запаса топлива на борту воздушного судна // Фундаментальные проблемы системной безопасности : II шк.-семинар молодых учен. Елец, 2015, Р. 196–202.
7. Данилов В. Г., Шемсединов И. Ш. Обучающая система для решения задач по аналитической геометрии с генерацией заданий на основе порождающих грамматик // Качество. Инновации. Образование. 2009. № 47. С. 5–10.
8. Kenmoku Masakatsu. Analytic solutions of the wheeler-dewitt equation in spherically symmetric geometry // Gravity and cosmology. 2009. Vol. 5, No. 4. P. 289–296.
9. Пылило И. С., Клыбик В. К. Выбор перспективного типа датчика для непрерывного измерения уровня топлива // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2012. № 4. С. 160–166.
10. Гончаров Д. С., Джежора А. А. Влияние соосности цилиндрических оболочек кругового сечения на емкость датчиков уровня топлива // 50-я Междунар. науч.-техн. конф. преподавателей и студентов, посвященная году науки. Витебск, 2017. С. 105–106.
11. Кошевой Н. Д., Матвеев А. Г. Разработка алгоритмов моделирования работы датчиков расхода топлива и взаимодействия с топливной магистралью // Радиоэлектроника, информатика, управления. 2011. № 2. С. 54–59.
12. Вершинин О. С., Шаров В. В. Экспериментальный метод оценки погрешности автомобильного датчика уровня топлива // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2008. Т. 2, № 3. С. 116–121.
13. Гуртовцев А. Л. О метрологии электронных электросчетчиков // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. 2008. № 2. С. 44–52.
14. Бужинский В. А. О колебаниях жидкости в топливных баках с демпфирующими решетками // Космонавтика и ракетостроение. 2007. № 46. С. 110–120.
15. Писарев Н. С., Стаценко Н. И. Трехточечный авиационный топливомер // Решетневские чтения : материалы XXI Междунар. науч. конф. Красноярск, 2017. Т. 1. С. 468–469.

© Akzigitov R. A., Pisarev N. S., Statsenko N. I.,
Glukharev A. R., Tsar'kov I. B., 2019

Акзигитов Рево Авхадиевич – доцент; Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, кафедра пилотажно-навигационных комплексов. E-mail: akzigitov-r@mail.ru.

Писарев Никита Сергеевич – студент; Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, кафедра пилотажно-навигационных комплексов. E-mail: nike0996@gmail.com.

Стаценко Николай Иванович – студент; Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, кафедра пилотажно-навигационных комплексов. E-mail: stacenkoni@mail.ru.

Глухарев Артем Ренатович – студент; Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, кафедра пилотажно-навигационных комплексов. E-mail: aptemka.dt@gmail.com.

Царьков Иван Борисович – студент; Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, кафедра пилотажно-навигационных комплексов. E-mail: ivan.tsarkov.1996@mail.ru.

Akzigitov Revo Avkhadievich – senior lecturer, professor; Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, navigation system department. E-mail: akzigitov-r@mail.ru.

Pisarev Nikita Sergeyeovich – student; Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, navigation system department. E-mail: nike0996@gmail.com.

Statsenko Nikolay Ivanovich – student; Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, navigation system department. E-mail: stacenkoni@mail.ru.

Glukharev Artem Renatovich – student; Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, navigation system department. E-mail: aptemka.dt@gmail.com.

Tsar'kov Ivan Borisovich – student; Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, navigation system department. E-mail: ivan.tsarkov.1996@mail.ru.
