

УДК 528.851; 835: 629.783

## ДАТЧИК УРОВНЯ ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ МЭМС-ТЕХНОЛОГИИ В СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА ТРАНСПОРТА

<sup>1</sup>Никонова Г.В., <sup>1</sup>Есимханова А.М., <sup>2</sup>Маркелов А.С.

<sup>1</sup>Омский государственный технический университет, Омск, e-mail: ngvld@mail.ru;

<sup>2</sup>ООО «Метеоприбор», Омск, e-mail: asm2009@mail.ru

В работе рассматривается спутниковая система ГЛОНАСС, GPS, применяемая для диспетчеризации и решения задач транспортной логистики в системах управления перевозками и автоматизированных системах управления автопарком для контроля фактических маршрутов транспортных средств при помощи спутников. Предлагается модернизация системы учета топлива подвижных устройств с применением датчика технологии микроэлектромеханических систем (МЭМС) в измерительной системе контроля уровня топлива подвижных устройств в системе мониторинга транспорта. Использован алгоритм расчета поправочных коэффициентов, которые учитываются программой управляющего микроконтроллера и вносят поправку в результирующие показания прибора учета потребления топлива в системе реального времени. Исследована возможность МЭМС – датчика для расширения температурного диапазона измерений, получения более линейной зависимости выходной характеристики, при повышении точности и надежности для контроля уровня топлива в спутниковых системах мониторинга транспорта.

**Ключевые слова:** ГЛОНАСС, GPS, сеть GSM, спутниковая система, мониторинг, датчик, МЭМС-технологии

## FUEL LEVEL SENSOR MEMS TECHNOLOGY IN SATELLITE MONITORING OF TRANSPORT

<sup>1</sup>Nikonova G.V., <sup>1</sup>Yesimkhanova A.M., <sup>2</sup>Markelov A.S.

<sup>1</sup>Omsk State Technical University, Omsk, e-mail: ngvld@mail.ru;

<sup>2</sup>Weather Instrument Company, Omsk, e-mail: asm2009@mail.ru

The paper deals with the GLONASS satellite system, GPS dispatching and used for solving problems of transport logistics in transportation management systems, and automated fleet management system to monitor the actual vehicle routes using satellites. Proposed modernization of the accounting system of fuel mobile devices using sensor technology of microelectromechanical systems (MEMS) in the measuring system monitoring fuel level mobile devices in the system of monitoring transport. Use algorithms calculate correction factors that take into account the control program of the microcontroller and amend the resultant meter readings of fuel consumption in real-time. The possibility of MEMS – temperature sensor for the expansion of the measuring range, more linear dependence of the output characteristics, while increasing the accuracy and reliability to control the level of fuel in the satellite monitoring of transport systems.

**Keywords:** GLONASS, GPS, network GSM, satellite system, monitoring, sensor, MEMS technology

В задаче организации работы транспорта очень важны учет и оптимизация всех связанных с ней издержек. Необходимо постоянно держать все процессы под контролем, оперативно реагировать на нештатные ситуации, минимизировать влияние так называемого «человеческого фактора» – то есть делать все для того, чтобы каждое транспортное средство использовалось максимально эффективно. Использование при решении этих задач современных технологий – таких как спутниковый мониторинг транспорта – позволяет добиваться результатов, попросту недостижимых при работе «по старинке».

На каждое транспортное средство устанавливаются терминалы различных конфигураций, которые с помощью встроенных навигационных приемников, принимающих сигналы спутников ГЛОНАСС и GPS, получают координаты транспортного средства и в режиме реального времени

передают их в диспетчерский центр. При этом для связи применяются сети GSM, но также возможна передача протоколов по беспроводной сети Wi-Fi. Информация собирается специальными серверами, предназначенными для хранения и обработки данных. ГЛОНАСС и GPS мониторинг транспорта выполняется диспетчерами через любой веб-браузер, с компьютера, имеющего подключение к сети Интернет. Помимо координат, передаются показания различных датчиков, в том числе и датчиков уровня топлива.

Назначение и принцип работы спутниковой системы мониторинга автотранспорта и учета топлива:

- снижение затрат на содержание автопарка;
- повышение эффективности работы предприятия;
- экономия на ГСМ;
- обеспечение безопасности движения.

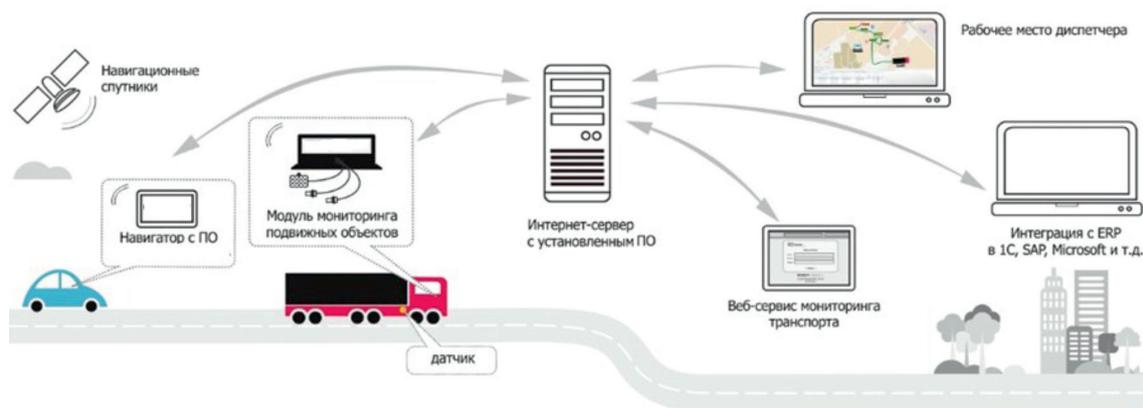


Рис. 1. Спутниковая система мониторинга транспорта

Возможности системы мониторинга для любого вида техники: отслеживание транспорта в режиме online; контроль истории движения; интерактивные отчёты; уведомления о нарушениях; возможность интеграции с информационными системами.

В частности, система мониторинга грузоперевозок позволит обеспечить контроль маршрута на всем пути следования: стоянки/движение, заправки/сливы, пробег, скорость движения и т.д. Установка дополнительного датчика топлива обеспечит значительное сокращение простоев ТС, повышение безопасности груза на всем пути следования, снижение аварийности – повышение безопасности водителей, сокращение топливных расходов и ГСМ.

Необходимость установки дополнительного датчика уровня топлива обусловлена необходимостью контроля в режиме реального времени заправок и сливов, объема топлива в транспортных цистернах. Контроль заправок и сливов топлива в конечном итоге позволяет определять реальный расход ГСМ при различных рабочих режимах техники. Создание четкого механизма контроля рейсов, точной информации о маршруте и пробеге, учете топлива позволит искоренить «липовые» цифры в документах, приписки пробега и расхода топлива.

Оценка современного рынка уровнемеров в системе мониторинга топливной системы транспорта показала, что он представлен ультразвуковыми, поплавковыми, емкостными зондовыми, оптическими. Датчики МЭМС-технологии применяются, но в данное время в основном только как измерители давления в данном классе (например в шинах) [6].

### Постановка задачи

Замена уровнемеров, применяемых в современных спутниковых системах мониторинга транспорта и контроля топлива (ультразвуковые, поплавковые, емкостные, оптические и др.), на МЭМС-датчики, как наиболее удовлетворяющие по точности, надежности и габаритам. Перспективы современного приборостроения связаны с созданием приборов, обладающих малыми массой, габаритными размерами, энергопотреблением и себестоимостью при безусловном выполнении целевой функции с заданной точностью. Микромеханические датчики обладают сверхмалыми габаритами, малой массой и энергопотреблением.

Датчик уровня топлива на МЭМС технологии (микроэлектромеханические системы) – устройства, объединяющие в себе микроэлектронные и микромеханические компоненты. МЭМС-устройства обычно изготавливают на кремниевой подложке с помощью технологии микрообработки. Кремний имеет значительные преимущества перед другими материалами благодаря своим физическим свойствам. Монокристалл кремния почти идеально подчиняется закону Гука. Это означает, что при деформации он не подвержен гистерезису, и, следовательно, энергия деформации практически не рассеивается.

Микроэлектромеханические системы получают путем комбинирования механических элементов, датчиков и электроники на общем кремниевом основании посредством технологий микропроизводства, при изготовлении которых используются модифицированные технологические приемы микроэлектроники [1]. Все элементы реализованы в виде единого изделия, причем сразу десятками или сотнями, как ми-

кросхемы на кремниевой пластине; имеют как цифровые, так и аналоговые выходы; кроме того, многие датчики стали промышленным стандартом в электронике.

Датчики изготавливаются методом поверхностной обработки, предусматривающей осаждение тонких пьезорезистивных пленок на подложку с последующим вытравливанием требуемого рисунка подвижной диафрагмы.

Крупный производитель МЭМС – фирма Motorola – выпускает датчики давления, изготавливаемые методом объемной обработки. Усовершенствование конструкции самого датчика позволило уменьшить размеры чувствительной к давлению пьезорезистивной диафрагмы, а также общую площадь датчика, улучшить чувствительность преобразователя и повысить его робостность.

Фирма TNO TPD (Нидерланды) создала термодинамический измеритель направления и скорости потока газов и жидкостей, реализовав с помощью МЭМС-технологии на одном кристалле множество нагревателей и датчиков температуры.

Компания STMicroelectronics NV использует технологию SIP (system-in-package) для изготовления беспроводных МЭМС-изделий с интеграцией в датчики газа, предназначенных для контроля окружающей среды.

МЭМС-изделия компании ST применяются в гироскопах и акселерометрах и базируются на ёмкостных датчиках движения, а датчики контроля окружающей среды изготавливаются на основе мембран.

Применение МЭМС-изделий для спутниковых систем мониторинга транспорта не ограничены рамками систем позиционирования. Использование модифицированного датчика давления МЭМС-технологии в топливной измерительной системе позволит значительно расширить линейку и возможности датчиков для спутниковых систем мониторинга транспорта и, в частности, для контроля потребления топлива.

### Решение

Предлагается схема измерительного блока в системе мониторинга транспорта, где в качестве преобразователя мы используем преобразователь гидростатического давления фланцевого монтажа. Преобразователи давления фланцевого монтажа устанавливаются на боковой стенке вблизи дна резервуара или на дне резервуара. Опорное давление – давление над жидкостью. Их преимущество – возможность измерения

уровня в закрытых резервуарах с давлением наддува, отличного от атмосферного.

В испытательной установке используется бесконтактный датчик уровня топлива с независимым питанием и защитным корпусом MPXV10 фирмы MOTOROLA [4].

Измеряется давление столба жидкости, зависящее только от его высоты и от плотности самой жидкости. Давление  $P$  вычисляется по формуле:

$$P = \rho \cdot g \cdot h, \quad (1)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $\rho$  – плотность,  $h$  – уровень жидкости.

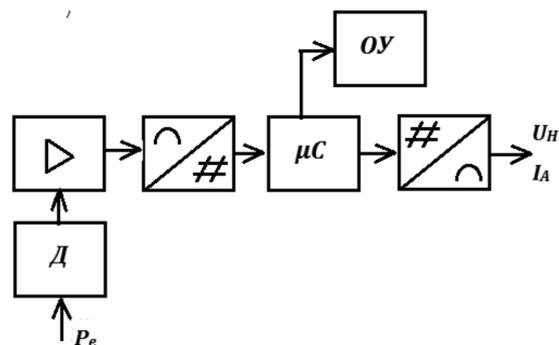


Рис. 2. Структурная схема измерительной системы с МЭМС-датчиком. Входная величина давления  $P_e$ ; датчик давления – Д; усилитель; аналогово-цифровой преобразователь; микроконтроллер –  $\mu C$ ; цифро-аналоговый преобразователь; отсчетное устройство – ОУ (блок интерфейса); выходной сигнал – ток, напряжение

Проблемным звеном в существующем датчике является температурная нестабильность в динамическом диапазоне [3].

Отсутствие блока термокомпенсации особенно заметно при измерениях на крайних полюсах динамического диапазона, как показано на рис. 2.

Предлагается способ программной реализации термокомпенсации, основанный на расчетах оценки показаний датчика по усреднению данных, как в диапазоне температур, так и во всем динамическом диапазоне с введением поправочных коэффициентов [4].

Квадратичная поправка вычисляется таким образом: задаемся базовой температурой, относительно которой считаются ее вариации. Приращение температуры  $dT$  приводит к вариациям истинного давления  $P_{и}$  вида

$$P_T = a \cdot (dT)^2 + b \cdot dT + P_{и}, \quad (2)$$

где  $P_T$  – измеренное значение давления,  $a$ ,  $b$  – поправочные коэффициенты.

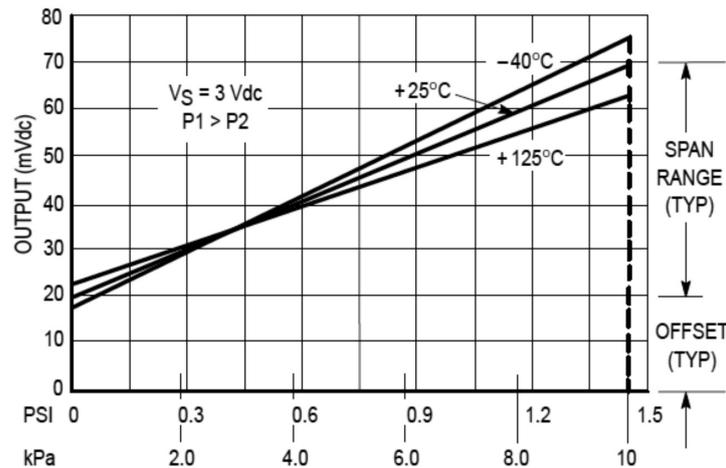


Рис. 3. Зависимость выходного сигнала перепада давления для различных температур

Для их вычисления нужны две опорные точки «давление-температура».

После этого решается линейная система из двух уравнений. Результат – искомые коэффициенты. Эта процедура выполняется однократно самим микроконтроллером. После этого для вычисления истинного значения давления  $P_H$  в программе микроконтроллера используется выражение

$$P_H = P_T - a \cdot (dT)^2 - b \cdot dT. \quad (3)$$

В каждом измерении берется давление и текущая температура.

Линейная компенсация колебания давления от температуры реализуется в контроллере посредством данных от 3 калибровочных точек методом кусочно-линейной аппроксимации (PWL).

Более высокая степень точности (меньшее колебание давления при изменении температуры) достигается программой, оперирующей теми же калибровочными данными (после кусочно-линейной компенсации), заложенными в памяти контроллера, посредством квадратичной компенсации (полиномиальная аппроксимация второго порядка).

Алгоритм вычислений следующий.

Задаем параметры базовых точек  $P1, P2, P3$  при  $T_0 = 10^\circ\text{C}$ .

Составляем систему трех уравнений относительно неизвестных  $a, b, c$ :

$$\begin{aligned} P_{T1} &= a \cdot (T1)^2 + b \cdot T1 + c; \\ P_{T2} &= a \cdot (T2)^2 + b \cdot T2 + c; \\ P_{T3} &= a \cdot (T3)^2 + b \cdot T3 + c. \end{aligned} \quad (4)$$

Решаем систему матричным методом, где искомые параметры – коэффициенты квадратичного уравнения:

$$y = a \cdot T^2 + b \cdot T + c. \quad (5)$$

Решение системы уравнений для кусочно-линейной аппроксимации (PWL) запишем в виде

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} e_1 \\ d_1 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} T1 & 1 \\ T2 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \otimes \begin{bmatrix} P1 \\ P2 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} e_2 \\ d_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} T2 & 1 \\ T3 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \otimes \begin{bmatrix} P2 \\ P3 \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (6)$$

Здесь коэффициенты линейного уравнения:

$$\begin{aligned} y_1 &= e_1 \cdot T + d_1, \\ y_2 &= e_2 \cdot T + d_2. \end{aligned} \quad (7)$$

Если  $d_1 = d_2 = c$ , то решение линейного уравнения следующее:

$$\begin{aligned} e_1 &= \frac{P1 - c}{T1} \\ e_2 &= \frac{P3 - c}{T3}. \end{aligned} \quad (8)$$

В итоге коррекция выходного давления рассчитывается в температурном диапазоне:

$$P_{TK} = \begin{cases} P_D + a \cdot T_D^2 + (b - e_1) \cdot T_D & \text{для } T_D < 0 \\ P_D + a \cdot T_D^2 + (b - e_2) \cdot T_D & \text{для } T_D > 0 \end{cases}, \quad (9)$$

где  $P_{TK}$  – выходное давление с учетом температурной компенсации,  $P_D$  – давление на выходе датчика некомпенсированное,  $T_D$  – температура на выходе датчика.

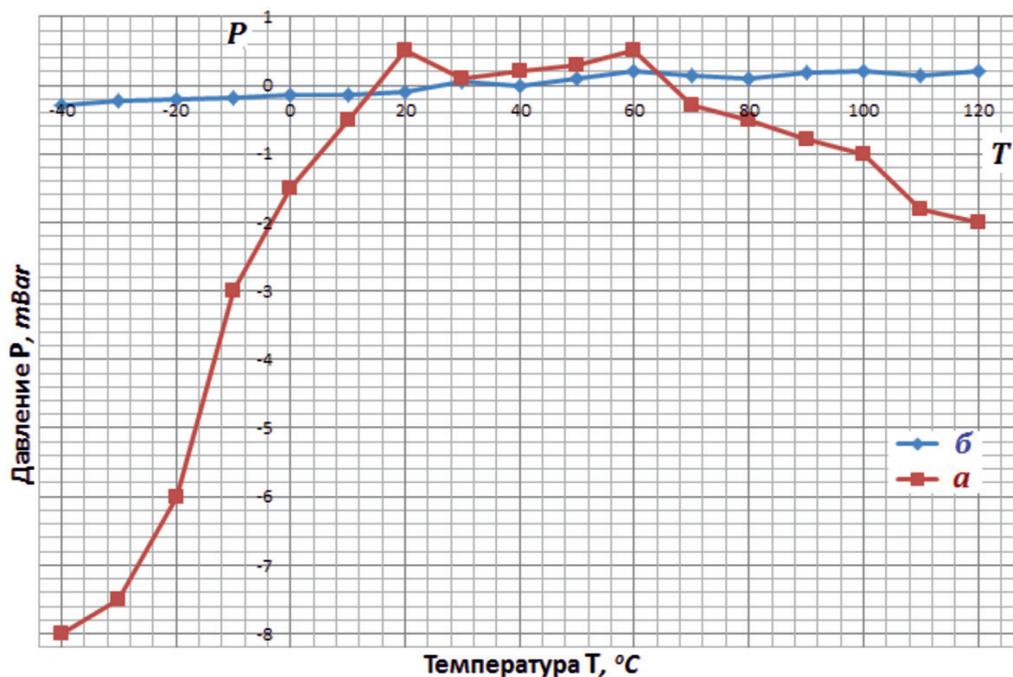


Рис. 4. Погрешность измерения с учетом компенсации температуры методами а и б

Таким образом, мы получаем поправочные коэффициенты, которые учитываются программой управляющего микроконтроллера и вносят поправку в результирующие показания прибора.

Сравнительный анализ методов показывает, что:

а) метод кусочно-линейной аппроксимации дает погрешность  $\Delta P = \pm 2 \text{ mBar}$ ; в диапазоне температур (от порядка  $+5^\circ\text{C}$  до  $+70^\circ\text{C}$ ).

б) метод полиномиальной аппроксимации компенсирует ошибки показаний датчика в широком диапазоне температур (от  $-50^\circ\text{C}$  до  $+120^\circ\text{C}$ ) с погрешностью  $\Delta P = \pm 0,2 \text{ mBar}$ .

### Заключение

В спутниковых системах мониторинга транспорта дополнительный датчик уровня топлива с независимым питанием и защитным корпусом обеспечивает постоянное и точное определение объема топлива в баке в системе реального времени. Введение поправочных коэффициентов в режиме термокомпенсации в широком температурном диапазоне измерений, обеспечивает передачу достоверных данных на диспетчерский пункт контроля в системе реального времени [2].

Применение бесконтактного датчика уровня топлива МЭМС-технологии позволит значительно расширить линейку и возможно-

сти датчиков данного класса для контроля топлива, как альтернативного «классическим» датчикам (ультразвуковым, поплавковым, емкостным, оптическим и др.).

### Список литературы

1. Васильев В.А. и др. Измеритель-калибратор для датчиков давления на основе резистивных нано- и микроэлектромеханических систем // Труды МНТК «Датчики и системы: Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации». – Пенза, 2012. – С. 111–114.
2. Маркелов А.С., Никонова Г.В. Линеаризация выходных параметров датчиков давления. // Инженерные и научные приложения на базе технологий NI NIDays – 2014: Сборник трудов XIII международной научно-практической конференции, Москва 19–20 ноября 2014 г. – М.: ДМК-пресс, 2014. – С. 241–243.
3. Материалы семинара «Practical design techniques for sensor signal conditioning» [Электронный ресурс] // Пер. ф. АВТЭКС: авт. пер. Б.Л. Горшков / С.-Петербург, 2014. – URL: [http://www.sgu.ru/sites/default/files/textdocsfiles/2014/02/09/analog\\_devices\\_metody\\_prakticheskogo\\_konstruirovaniya\\_pri\\_normirovani\\_i\\_signalov\\_s\\_datchika.pdf](http://www.sgu.ru/sites/default/files/textdocsfiles/2014/02/09/analog_devices_metody_prakticheskogo_konstruirovaniya_pri_normirovani_i_signalov_s_datchika.pdf) (дата обращения: 09.02.14).
4. Никонова Г.В., Маркелов А.С. Линеаризация градуировочной характеристики датчика давления // Компьютерные измерительные технологии. Материалы I Международного симпозиума, Москва, 4 апреля 2015 г. – М.: ДМК-пресс, 2015. – С. 290–293.
5. Hardware and software guidelines for use of the lps331ap [Электронный ресурс] // 2012 STMicroelectronics, Doc ID 023639 Rev 3 // AN4159 Application note. – URL: <http://freepdfs.net/hardware-and-software-guidelines-for-use-of-the-ps331ap/8f7d53a96d7f6df9adb662aac064be0f/> (дата обращения: 15.11.14).
6. Peter G. Hartwell. Rethinking MEMS sensor design for the masses // Electronic Engineering Times Europe, March 2010. 2 10 kPa Uncompensated Silicon Pressure Sensors [Электронный ресурс] // MPX10, Rev 14, 10. – 2008 / MPX10 Series. – URL: [http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data\\_sheet/MPX10.pdf](http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MPX10.pdf) (дата обращения: 08.10.14).