

Хлібишин Ю.Я., Почапська І.Я., Гринишин О.Б., Нагурський А.О. // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» № 787 – Хімія, технологія речовин та їх застосування. – 2014. – С.144-148.

6. Гринишин О. Б., Нагурський А. О., Почапська І. Я., Хлібишин Ю. Я. Модифікування дорожніх бітумів гумовою крихтою відпрацьованих шин // Екологічні науки. – 2017. – № 3/4 (18/19). – С. 64–70.

7. Волынкина, Е. П. Использование отработанных автомобильных покрышек / Е.П.Волынкина, С. А. Кудашкина, А. В. Незамаев // Экология и промышленность России. – 2004. – № 1. – С. 40-44.

УДК 681.586

МЕТОДЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ В МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДАТЧИКАХ

З.А. Баясилова

аспирантка Казахского национального исследовательского технического университета им. К.И. Сатпаева г. Алматы, Казахстан, e-mail: zuhra_bayasilova@mail.ru

Аннотация. Большинство многофункциональных датчиков измеряет, как правило, два параметра – это механическую величину (деформацию, давление и силу) и температуру. Измеряемые при этом неэлектрические величины - давление и температура имеют разную динамику и величину и размерность. Поэтому необходимо выбрать такие принципы преобразования, чтобы они были совместимы физически, информационно, энергетически и конструктивно. Рассмотрены и проанализированы различные принципы преобразования неэлектрических величин - силы и давления в электрическую величину-ток, напряжение, сопротивление, частоту. Представлены математические модели, описывающие функции преобразования, проанализированы условия их адекватности.

Ключевые слова модель, метод, преобразование, величина, давление, сила, деформация, ток, напряжение.

METHODS FOR THE CONVERSION OF THE POWER PARAMETERS IN MULTIFUNCTION SENSORS

Z.A. Bayasilova

post-graduate student, Kazakh National Research Technical University K.I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan, e-mail: zuhra_bayasilova@mail.ru

Abstract. Most multi-function sensors usually measure two parameters - a mechanical value (deformation, pressure and force) and temperature. The measured non-electric values - pressure and temperature have different dynamics and magnitude and dimension. Therefore it is necessary to choose such principles of transformation that they were compatible physically, information, energetically and constructively. Various principles of transformation of non - electric quantities-force and pressure into electric quantity-current, voltage, resistance,

frequency are considered and analyzed. Mathematical models describing the transformation functions are presented, the conditions of their adequacy are analyzed.

Keywords model, method, transformation, magnitude, pressure, force, deformation, current, voltage.

Введение. Измерения теплоэнергетических величин (температура, теплопроводность, тепловые потоки) и силовых величин (давление, деформация, сила, крутящий момент), в зависимости от отрасли, изделий и систем, занимают от 30 до 60% от всех проводимых измерений. Объединение в одном датчике функций одновременного измерения в одной точке температуры и давления, позволит добиться нескольких целей: сократить номенклатуру датчиков, повысить информативность измерений, уменьшить стоимость измерительных процедур и увеличить точность измерений основного параметра за счет внесения температурных поправок в функцию преобразования и результаты измерения.

Целью работы является выбор и обоснование наиболее приемлемых методах преобразования силовых величин в многофункциональных (совмещенных) датчиках физических величин (ДФВ).

Основной материал.

В зависимости от скорости изменения давления, т.е. характера зависимости $p(t)$, все разнообразие задач измерения давления можно свести к трем вариантам: измерение статических и медленноменяющихся давлений, измерение быстроменяющихся давлений и измерение импульсных давлений (рис. 1) [1].

На практике к группе статических принято относить давления, значение которых остается неизменным за время проведения измерений. Медленноменяющееся давление - это процесс, содержащий постоянную составляющую и гармонические составляющие с частотами до 20...30 Гц.

К быстроменяющимся и импульсным давлениям относят процессы со случайными и гармоническими составляющими в частотном диапазоне от десятков до сотен тысяч герц.

Характер изменения медленноменяющихся давлений во времени различен: $p(\tau)$ может представлять собой сложную функцию, постоянная составляющая которой аппроксимируется, например, трапецеидальным импульсом с различными временами нарастания и спада (рисунок 1, а).

Быстроменяющиеся давления (рисунок 1, б) включают в себя периодически меняющиеся и переходные процессы. Пульсация давления жидкости и газа и акустические шумы часто представляют собой случайный колебательный процесс (рисунок 1, б, г).

Импульсные давления имеют вид одиночных или периодически повторяющихся импульсов и характеризуются значительной амплитудой импульсов и коротким временем нарастания и спада процесса. Чаще всего эти процессы не имеют постоянной составляющей (рисунки 1, д–ж).

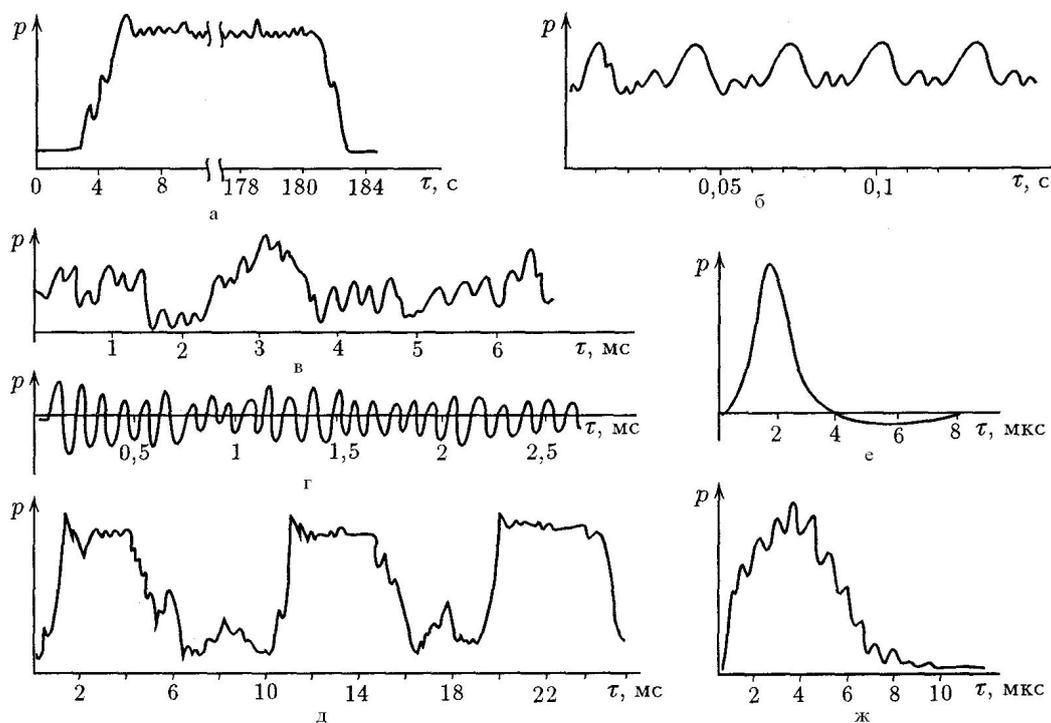


Рисунок 1 – Характер изменения давления во времени для типов давлений: а – медленноменяющегося; б – медленноменяющегося, сопровождаемого пульсацией; в – быстроменяющегося с постоянной составляющей; г – быстроменяющегося без постоянной составляющей; д – импульсного; е, ж – ударного или взрывного

Наиболее жесткие метрологические требования предъявляются к датчикам и системам, измеряющим статические и медленноменяющиеся процессы. Это объясняется тем, что датчики должны с допустимыми погрешностями одновременно измерять переходные процессы и установившиеся давления, сопровождаемые пульсацией. Эти требования противоречивы, и во многих случаях, плохо совместимы в одном датчике, так как для измерения переходных процессов с малой погрешностью необходима высокая частота собственных колебаний и малая степень успокоения, а для малой погрешности измерения установившегося давления, сопровождаемого высокочастотной пульсацией, необходима низкая частота собственных колебаний и большая степень успокоения. Датчики, предназначенные для измерения быстроменяющихся и пульсирующих давлений, должны обладать

малыми динамическими погрешностями, т. е. высокой частотой собственных колебаний и отсутствием механических и электрических резонансов в рабочем диапазоне частот измерения давлений и дестабилизирующих факторов. При этом для обеспечения допустимых динамических погрешностей системы в целом все элементы системы (датчик–усилитель–преобразователь–регистратор) должны быть согласованы по частотным диапазонам измерений [2].

Деформационный чувствительный элемент (ДЧЭ) один из ключевых элементов датчиков давления и силы. Кроме того, ДЧЭ используются для различных целей: измерения уровня деформаций и механических напряжений, возникающих в узлах и конструкциях технологического оборудования, изделий летной и ракетно-космической техники.

Обобщенная структура датчика силы (ДС) приведена на рисунке 2, где условно показана входная величина деформации ε_x , которая, воздействуя на несущий элемент (подложку, пластинку, балку), вызывает в нем механические напряжения (σ_x), передающиеся на чувствительный элемент (ЧЭ). С другой стороны на ЧЭ от внешнего источника питания (ИП) подается поток энергии (\mathcal{E}) в виде напряжения, тока или частоты, который модулируется изменяющимися параметрами ЧЭ, зависящими, в свою очередь, от ε_x . Кроме того, в реальных условиях на ДС воздействуют параметры внешней среды, в частности, температура ($T_{вн}$), вибрации, удары и проч., которые изменяют его характеристики. Таким образом, на выходе ДС возникает сигнал Y , функционально связанный с ε_x , \mathcal{E} , $T_{вн}$:

$$Y = F(\varepsilon_x, \dot{Y}, \dot{\sigma}_{Ai}) \quad (1)$$

Чаще всего роль ЧЭ выполняют тензорезисторы (ТР), которые закрепляются на подложке или объекте измерения специальными клеями или клеевыми композициями.

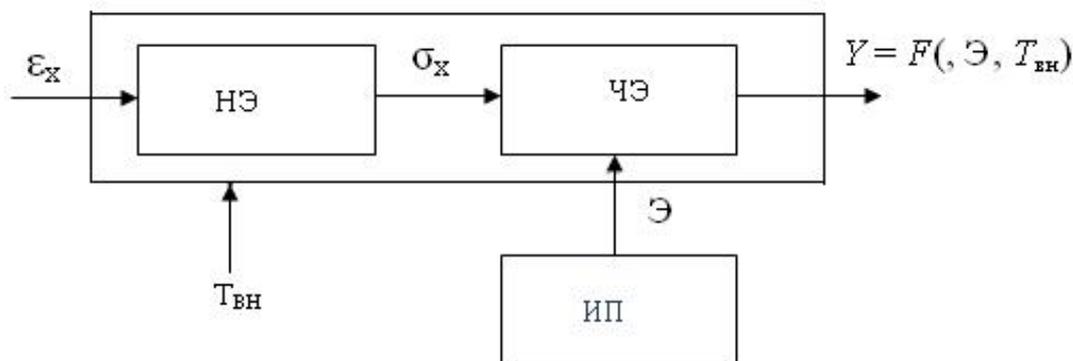


Рисунок 2 – Структурная схема датчика силы

Рассмотрим более подробно ТР, которые являются базовыми элементами ДС. В настоящее время на практике используются проволочные, фольговые и полупроводниковые ТР, особенно часто первые и вторые. Кратко

опишем принцип работы ТР и приведем их основные математические модели (ММ) [3].

Проволочные ТР представляют собой проволоку из высокоомного металлического сплава, сопротивление которой изменяется под действием напряжения, растяжения или сжатия.

Зависимость сопротивления проволоки ТР можно представить в виде:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S}, \quad (2)$$

где ρ – удельное электрическое сопротивление материала проволоки; L и S – соответственно длина проволоки и площадь ее поперечного сечения.

При растяжении ТР его сопротивление изменится (возрастет или уменьшится) на величину ΔR и составит $R \pm \Delta R$, поэтому относительное изменение сопротивления может быть представлено ММ:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta L}{L} \cdot (1 + 2\mu) + \frac{\Delta \rho}{\rho}, \quad (3)$$

где ΔL – изменение длины ТР; $\Delta \rho$ – изменение удельного электрического сопротивления; μ – коэффициент Пуассона.

Для применяемых металлических материалов $\Delta \rho / \rho$ – величина второго порядка малости, поэтому ей пренебрегают, тогда ММ (3) будет выглядеть:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta L}{L} (1 + 2\mu). \quad (4)$$

Так как $\frac{\Delta L}{L} = \varepsilon$ – относительная деформация ТР, то окончательно получим:

$$\frac{\Delta R / R}{\Delta L / L} = \frac{1 + 2\mu}{\varepsilon} = k, \quad (5)$$

где k – коэффициент тензочувствительности, который зависит от свойств материала и технологии изготовления ТР. Как правило, для большинства металлов $\mu = 0,4 \dots 0,6$, поэтому $k = 2 + 0,2$.

Устройство проволочного ТР схематично представлено на рисунке 3,а.

ТР состоит из подложки-основы 1, тензопроволоки 2, уложенной в виде решетки и приклеенной к основе, защитной пленки 3 и электрических выводов 4. Длина активной части ТР, которая изменяет свое сопротивление, называется базой ТР и обозначается как l_6 .

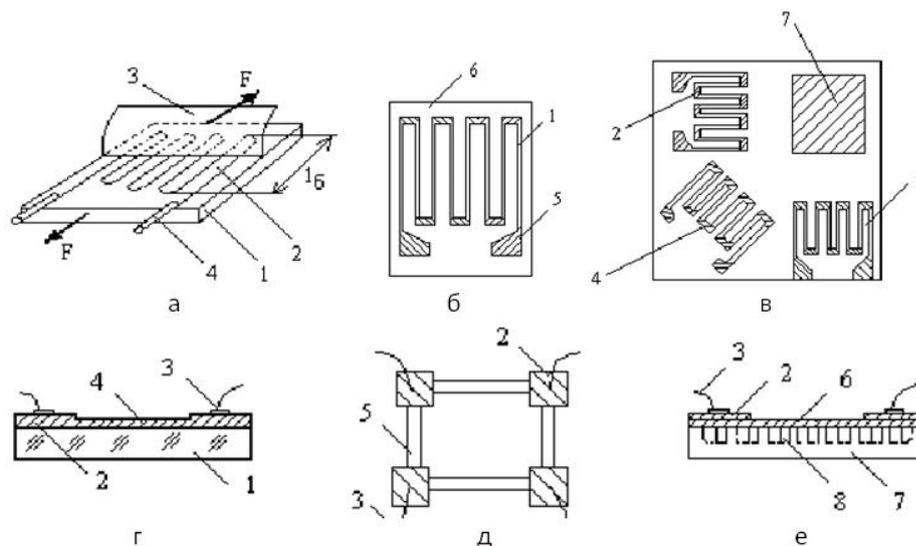


Рисунок 3 – Конструкции тензо- и пьезорезистивных ДЧЭ

В качестве основы (подложки) используют тонкую бумагу или пленку из бакелитового лака, клея БФ-2. На основе БФ-2 ТР работоспособны в диапазоне от -40 до $+70^{\circ}\text{C}$, а на бакелитовом лаке - до $+200^{\circ}\text{C}$. Для обеспечения работоспособности ТР при более высоких температурах используются высокотемпературные клеи или цементы.

Материалом тензопроволоки служат высокоомные сплавы, имеющие высокий коэффициент тензочувствительности и малый температурный коэффициент сопротивления (ТКС). Этим требованиям отвечают ТР на основе сплавов хрома и никеля с кремнием (нихром, константан, сплав НМ23ХЮ и др.). Диаметр тензопроволоки $0,01...0,05$ мм [4].

Следует отметить, что проволочные ТР отличаются сравнительно несложной технологией изготовления, поэтому могут изготавливаться самостоятельно на различных предприятиях для обеспечения собственных нужд.

Пленочные ТР более технологичны при изготовлении и применении, чем проволочные ТР. Конструктивно они представляют собой одиночный ТР или розетку из ТР, сформированных на изоляционной основе-пленке методом вакуумного напыления (тонкопленочный ТР) или травлением тонкой металлической фольги, наклеенной на изоляционную основу (фольговый ТР) (рисунок 3б, в).

Розеточный вариант пленочного ТР позволяет фиксировать не только величину, но и направление механических напряжений. Топология (конфигурация) пленочных ТР может быть самой различной: меандровая, круговая, смешанная. В качестве основы пленочных и фольговых ТР используется полиимидная пленка (неметаллизируемая и металлизированная).

Достоинством пленочных ТР является отсутствие клеевой прослойки между ТР и изоляционной пленкой, поэтому они имеют очень малые гистерезис и временной дрейф, что определяет их высокую временную стабильность. Недостатки по сравнению с фольговыми ТР – более высокое значение ТКС и большой разброс по номиналам, что требует необходимости использования в СД балансировочных резисторов. Материалами для ТР служат специальные сплавы на основе никеля, хрома с кремнием, которые для повышения стабильности легируются определенными металлами (ванадием, рением и др.) [5].

Полупроводниковые тензорезисторы обладают коэффициентом тензочувствительности более чем на порядок большим, чем у проволочных и фольговых ТР. Кроме того, механизм изменения их сопротивления немного иной, чем у металлических ТР, вследствие чего их называют пьезорезисторами (ПР) [6].

Так, если у металлических ТР основной вклад в изменение сопротивления вносит изменение геометрических размеров ($\Delta L/L$ в ММ (3)), а составляющая от изменения удельного сопротивления $\Delta\rho/\rho$ мала, то у ПР – все наоборот: основная составляющая изменения сопротивления обусловлена изменением удельного сопротивления ($\Delta\rho/\rho$).

Это объясняется значительным влиянием смещения энергетических уровней полупроводника при деформации.

Слабой стороной ПР, которая является общей практически для всех полупроводников, является их недостаточная термостабильность и ограниченный температурный диапазон работы [7].

ПР, как правило, используются в тех случаях, когда уровни измеряемых деформаций или очень малы, или необходимы точечные измерения на малых площадях.

Полупроводниковые ДС чаще всего изготавливаются или в виде полупроводникового кристалла (балка, мембрана, подложка), в теле которого методами микроэлектронной технологии сформированы ПР, контактные площадки и проводники, или в виде одиночных ПР, или полупроводниковой пленочной мезаструктуры [8]. Полупроводниковые кристалл или пленка закрепляются на воспринимающем элементе (ВЭ) сенсора деформации. Съём электрического сигнала осуществляется с контактных площадок ПР. Схематичные конструкции нескольких типов полупроводниковых ДЧЭ приведены на рисунке 3, г–е, где приняты следующие обозначения:

- 1 - кремниевый ПР; 2 - контактные площадки; 3 - электрические выводы; 4 - защитная пленка; 5-полупроводниковая (кремниевая) пленка;
- 6 - слой двуокиси кремния; 7 - кремниевая подложка;
- 8 - диффузионный ПР.

ДЧЭ монтируются на воспринимающих элементах (ВЭ) ДС путем приклейки или приварки, а для полупроводниковых ДС, в случае выполнения УЭ из кремния, ДЧЭ формируется на нем путем внедрения легирующей примеси в объем полупроводника, или на его поверхности.

Следует отметить, что максимальное применение в ДЧЭ по многим причинам нашел тензометрический принцип преобразования, так как тензорезисторные ДЧЭ наиболее технологически отработаны, ТР выпускаются серийно, с ними не сложно проводить измерения и т. д. Поэтому в дальнейшем уделим основное внимание именно тензорезистивным ДС. Рассмотрим некоторые базовые конструкции тензорезистивных силовосчувствительных элементов, схематично изображенных на рисунке 4 [9, 10].

Так как при измерениях силовых параметров ВЭ должен работать в пределах упругих деформаций (с целью обеспечения линейности и механической надежности), в ДС конфигурация ВЭ, который называется упругим элементом (УЭ), имеет определенные закономерности. УЭ может быть выполнен как в виде простой консольной балки (рисунок 4,а) для ДС малой точности, так и в виде элементов сложных форм: балок равного сопротивления; профилированных балок; кольцевых конструкций (рисунок 4,б), для точных ДС (рисунок 4,д). Усложнение конструкции УЭ диктуется требованиями точности и диапазоном измеряемых усилий и весов. Тензорезисторы, как отдельные, так и в виде ДС, закрепляются на поверхности УЭ в тех местах, где уровни механических напряжений максимальны, а их неравномерность минимальна. На балке равного сопротивления (рисунок 4,б) ТР могут монтироваться в любом месте УЭ, так как в ней механические напряжения одинаковы по всей длине. Для увеличения чувствительности УЭ ДС специальным образом профилируются, путем создания концентраторов механического напряжения в теле УЭ (выемки, проточки, пазы) – рисунки в и г. Кроме того, сам УЭ может быть выполнен в виде тонкостенного кольца с силопередающими приливами (рисунок 4,д).

Для расширения функциональных возможностей, с целью обеспечения одновременного измерения и силы и температуры, на УЭ монтируются тонкопленочные терморезисторы или термодпары, которые измеряют температуру среды [11].

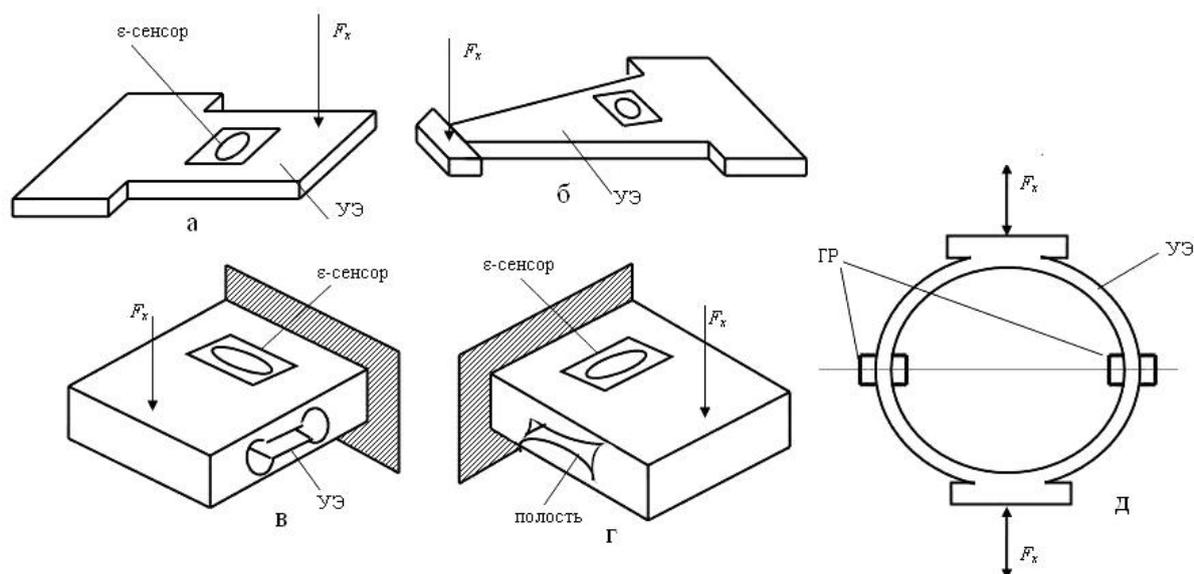


Рисунок 4 – Конструкции силовосчувствительных элементов

Вывод. Основным узлом многофункциональных датчиков является его чувствительный элемент, на котором размещены или интегрированы (для полупроводникового ЧЭ), деформационно-чувствительные и термочувствительные элементы. ЧЭ в основном определяет метрологические характеристики всего датчика. В качестве ДЧЭ в датчиках давления и температуры чаще всего используются тензорезисторные и пьезорезисторные структуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Датчики теплофизических и механических параметров: справочник: в 2 т. / под ред. Е. Е. Багдатьяева, А. В. Гориша, Я. В. Малкова. — М.: ИПРЖР, 1998 – 458 с.
2. Ломтев Е.А., Михайлов П.Г., Аналиева А.У. и др. Многофункциональные датчики физических величин. Принципы построения, модели и конструкции // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. — 2015. — № 2 (12). — С. 57–65.
3. Проектирование датчиков для измерения механических величин. Под общей редакцией д.т.н., профессора Осадчего Е.П. / М.: Машиностроение, 1979.
4. Джексон Р.Г. Новейшие датчики. Справочник пер. с англ. / М.: Техносфера, 2007. –380 с
5. Фрайден Дж. Современные датчики: справочник: пер. с англ. / М.: Техносфера, 2005. – 588с.
6. Баясилова З.А., Михайлов П.Г., Фадеев Е.Д., Шайханова А.К.. Новый подход к разработке и изготовлению датчиков физических величин. // Вестник Государственного Университета имени Шакарима города Семей. – № 1 (85), 2019. – С. 3-6.
7. Баясилова З.А., Бактыбаев М.К., Михайлов П.Г., Шайханова А.К.. Моделирование мембранного датчика давления // Вестник Государственного Университета имени Шакарима города Семей. – №4 (76), 1 том, 2016. – С. 68-71.

8. Bayasilova Z.A., Baktybayev M.K., Mikhaylov P.G., Shaikhanova A.K.. Development of a combined pressure and temperature membrane sensor. // Вестник Государственного Университета имени Шакарима города Семей. – №3 (79), 2017. –С. 3-7

9. Михайлов П.Г., Ожикенов К.А., Касимов А.О., Алиева А.У. Узлы и компоненты микроэлектронных датчиков // Известия Южного федерального университета. Технические науки. № 3(164) 2015 С. 184-193.

10. Тихоненков В.А., Тихонов А.И. Теория, расчет и основы проектирования датчиков механических величин. Учебное пособие /Ульяновск, УлГТУ. 2000. 452 с.

11. P. Mikhailov, M. Baktybayev, Z. Bayasilova, M. Tatiyeva and A. Seidildayeva. Multi-functional sensors for control systems and monitoring. International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET), Volume 9, Issue 13, December 2018, pp. 959–967, Article ID: IJMET_09_13_101.

УДК 368.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИИ НА ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

А.П.Михайлов

ведущий специалист ООО ПЛК Система г. Москва РФ, e-mail: krendeleschik@gmail.com

Аннотация. Вибрационные испытания являются обязательным этапом при разработке и модернизации любой аппаратуры приборостроения, в том числе и измерительных преобразователей (датчиков) различных физических параметров: давления, температуры, линейных и угловых ускорений и проч. Основными задаваемыми параметрами при вибрационных испытаниях являются частота, амплитуда и время, а также закон изменения частоты и амплитуды. В качестве выходных параметров принимаются информативные сигналы, фиксируемые внешними электроизмерительными приборами, а также качественные показатели механической прочности преобразователя.

Ключевые слова: преобразователь, измерение, вибрации, частота, амплитуда, вибростенд.

RESEARCH OF THE IMPACT OF VIBRATION ON TECHNICAL CHARACTERISTICS OF MEASURING CONVERTERS

Alexey Mikhaylov

Leading Specialist PLC SYSTEM Ltd Moscow RF, e-mail: krendeleschik@gmail.com

Abstract. Vibration testing is an obligatory stage in the development and modernization of any instrument making instrument, including measuring transducers (sensors) of various physical parameters: pressure, temperature, linear and angular accelerations and so on. The main parameters set by vibration tests are frequency, amplitude and time, as well as the law of frequency and amplitude changes. The output parameters are taken informative signals recorded by external electrical devices, as well as quality indicators of the mechanical strength of the transducer.