

Всероссийское СМИ

«Академия педагогических идей «НОВАЦИЯ»

Свидетельство о регистрации Эл №ФС 77-62011 от 05.06.2015 г.

(выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций)

Сайт: [akademnova.ru](http://akademnova.ru)

e-mail: [akademnova@mail.ru](mailto:akademnova@mail.ru)

*Пархоменко И.А. Исследование влияния внешних факторов на результаты измерения физических величин // Академия педагогических идей «Новация». – 2017. – № 12 (декабрь). – АРТ 148-эл. – 0,3 п. л. – URL: <http://akademnova.ru/page/875548>*

**РУБРИКА: ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**УДК 519.24**

**Пархоменко Игорь Алексеевич**

магистрант,

Нижегородский государственный технический

университет им. Р.Е. Алексеева

г. Нижний Новгород, Россия

e-mail: [chief.nauk@yandex.ru](mailto:chief.nauk@yandex.ru)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН**

*Аннотация:* В настоящее время особую актуальность приобретают вопросы определения точности результатов измерения отдельных физических величин. В этой связи в работе автором проведена оценка влияния некоторых внешних факторов на результаты измерения, а также предложены рекомендации по минимизации их влияния.

*Ключевые слова:* физические величины, результаты измерения, внешние факторы, оценка влияния, температура.

**Parkhomenko Igor Alekseevich**

master student,

Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseeva

Nizhny Novgorod, Russia

## INVESTIGATION OF THE IMPACT OF EXTERNAL FACTORS ON THE RESULTS OF MEASUREMENT OF PHYSICAL VALUES

*Annotation:* At the present time, the questions of determining the accuracy of measurement results of individual physical quantities acquire particular urgency. In this connection, the author evaluated the influence of some external factors on the measurement results, as well as suggested recommendations for minimizing their influence.

*Key words:* physical quantities, measurement results, external factors, impact evaluation, temperature.

В большинстве измерительных преобразователей (ИП) физических величин измеряемая физическая величина преобразуется в соответствующий электрический сигнал. Точность измерений ИП в значительной степени связаны с схемно-конструктивными особенностями операционного усилителя (ОП) и технологии их изготовления. Источники дестабилизирующих воздействий, снижающих точность ОП, могут быть разделены, как минимум, на 3 группы:

1. Случайные процессы, влияющие (шумы, помехи) [1-2].
2. Временные изменения параметров ОП в результате старения и дрейфа. [3-4].
3. Влияние внешних климатических и механических факторов (температуры, влажности и т.д.) [5-6].

Анализ различных видов ОП и, в первую очередь, тензорезисторных ОП показывает, что основные составляющие их погрешностей создаются в результате воздействий климатических факторов и главным образом

температуры. Влияние шумов могут быть значительно снижен сужением рабочей полосы частот ОП, а дрейф и старения - учтены соответствующими градуировками [7-8]. Для снижения температурной погрешности тензорезисторных ОП наибольшее практическое применение находят аналоговые компенсационные устройства, предусматривающие применение дополнительных температур независимых резисторов.

Описанный метод цифровой компенсации обеспечивает значительное снижение (по крайней мере, на порядок) погрешностей ОП по сравнению с методом аналоговой компенсации. Особенности и технические показатели обоих методов рассмотрены на примере микропроцессора (М)П давлений с фольгированных тензорезисторами (ФТР). Такой ОП содержит круглую металлическую мембрану, на одной из поверхностей которой по тонкопленочных технологии через слой изолятора наносятся 4 одинаковых ФТР, соединенных по схеме полного моста. В качестве материала ФТР применяется сплав с минимальным температурным коэффициентом сопротивления.

ФТР расположены на поверхности мембраны таким образом, что при ее деформации под воздействием измеряемого давления два из них растягиваются и два - сжимаются. На эту поверхность мембраны с тонкопленочными технологиями наносятся также дополнительные компенсационные резисторы. Через температурные изменения модуля упругости материала мембраны с повышением температуры ее жесткость уменьшается, что приводит к увеличению чувствительности ИП.

Один из компенсационных резисторов выполняется из сплава с сильно выраженным положительным температурным коэффициентом сопротивления [9-10]. Этот резистор включается в электрическую цепь

между источником напряжения электрического напряжения и мостовой схеме и обеспечивает снижение чувствительности мостовой схемы с увеличением температуры, равное росту чувствительности ОП-за уменьшения жесткости мембраны. Из-за несовершенства технологии изготовления ОП ФТР, образующие мостовую схему, не является точно одинаковыми (по значениям начальных сопротивлений и их температурных изменений).

Поэтому в мостовой схеме используется второй подборный компенсационный резистор из сплава с температурозависимым сопротивлением, включается в одно из плеч моста [11-12]. Этот резистор подбирается так, что при нулевом измеряемом давлении и изменении температуры мембраны выходное электрическое напряжение мостовой схемы сохраняется неизменной (компенсация температурного изменения нуля).

Из-за нелинейности температурных характеристик мостовой схемы, описанный аналоговый метод позволяет точно компенсировать температурные погрешности ОП только в ограниченных температурных диапазонах. В случае широких рабочих диапазонов температур подбор компенсационных резисторов производится на основе компромиссных решений, при которых обеспечивается реально получаемая минимальная температурная погрешность. Например, в диапазоне температур  $\approx 100$  °С они составляют от 1 до 3%. В настоящее время для обработки сигналов ОП широко применяются цифровые вычислительные устройства.

Анализ характеристик и особенностей работы этих устройств показал, что при условии применения дополнительных относительно простых схем электронной цифровой техники указанные вычислительные устройства могут

применяться для точной компенсации погрешностей ОП, имеющих как линейный, так и нелинейный характер [13-14].

Такая возможность существует благодаря использованию алгоритмов работы вычислительных устройств, реализующих программным путем сложные компенсационные функции. Метод цифровой компенсации предусматривает отдельные измерения дестабилизирующих внешних факторов (например, температуры) и физической величины, определяется (давления) [15-16]. Упрощенная схема АИ давлений с системой цифровой компенсации содержит 3 основные функциональные узлы, с помощью двухпозиционных электронных ключей К1, К2, К3 могут подключаться к источнику постоянного питающего электрического напряжения (положение 1 ключей) или к клемме «Земля» (положение 0 ключей): мостовую схему 2 с ФТР; температурнозависимая резисторная цепь  $R(t, ^\circ\text{C})$  с функциональным резистором, обладающим значительным положительным коэффициентом сопротивления (данная цепь выполняет функцию измерительного преобразователя температуры); стабильный опорный резистор  $R_0$  с сопротивлением, не зависящим от температуры.

С помощью функционального электронного генератора (преобразователя напряжение-частота ПНЧ), управляемого по частоте входным электрическим током, выходные токи упомянутых узлов превращаются в частотные сигналы, поступающие на программируемый микроконтроллер  $\mu\text{C}$  (или микропроцессор) [17-18]. Управление электронными двухпозиционными ключами К1, К2, К3 осуществляется сигналами микроконтроллера  $\mu\text{C}$ . В зависимости от этих ключей на выходе генератора ПНЧ формируются различные последовательности частотных сигналов:

**Всероссийское СМИ**

**«Академия педагогических идей «НОВАЦИЯ»**

Свидетельство о регистрации ЭЛ №ФС 77-62011 от 05.06.2015 г.

(выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций)

Сайт: [akademnova.ru](http://akademnova.ru)

e-mail: [akademnova@mail.ru](mailto:akademnova@mail.ru)

1. FO - «нулевой» сигнал, соответствующий установлению всех ключей в положение 0.

2. FB - сигнал мостовой схемы, соответствующий установлению ключа K1 в положение 1, а ключей K2 и K3 в положение 0.

3. FT - сигнал температуры соответствующей установке ключа K2 в положение 1, а ключей K1 и K3 в положение 0;

4. FR - опорный сигнал, соответствующий установлению ключа K3 в положение 1, а ключей K1 и K2 в положение 0.

Основные преимущества описанной схемы:

1. Частотные сигналы генератора ПНЧ малочувствительны к электрическим помехам и могут передаваться без искажений на значительные расстояния.

2. Генератор ПНЧ имеет относительно простую схему и линейную характеристику преобразования.

3. Исходные частотные сигналы генератора ПНЧ могут непосредственно измеряться микроконтроллером  $\mu\text{C}$  с высоким разрешением без дополнительных согласующих схем. Микроконтроллер осуществляет предварительную обработку частотных сигналов генератора ПНЧ, в результате которой определяются относительные (некомпенсированные) сигналы давления BU и сигналы температуры TU, равные соответственно.

$$BU = \frac{FB - FO}{FR - FO},$$
$$TU = \frac{FT - FO}{FR - FO}.$$

Измерение частотных сигналов генератора производится по методу прямого счета путем определения числа  $m$  временных меток опорного

генератора с частотой  $Fq$  за время, равное  $n$  периодам повторения сигналов генератора с частотой  $Fx$  [19-20]:

$$Fx = Fq \frac{n}{m \pm 1}.$$

Если частота опорного генератора  $Fq = 1$  МГц, а продолжительность  $n$  периодов функционального генератора УНЧ составляет 100 мс, то разрешение описанного метода измерений составляет - 105. Аналогичная разрешение обеспечивается 16-разрядными АЦП, которые имеют гораздо более сложную схему.

Рассмотрены алгоритмы числовых расчетов действительного (эффективного) измеряемого давления  $Peff$  и действительной (эффективной) температуры мембраны  $Teff$ . Предварительно определенные цифровые сигналы  $BV$  и  $TU$  в общем случае являются сложными функциями величин  $Peff$  и  $Teff$  [21-22]:

$$\begin{aligned} BV &= f_{B1}(Peff, Teff), \\ TU &= f_{T1}(Teff, Peff). \end{aligned}$$

Расчетный алгоритм предусматривает обратное преобразование формул, то есть нахождения величин  $Peff$  и  $Teff$  по величинам  $BV$  и  $TU$  с максимальной точностью аппроксимации [23-24]:

$$\begin{aligned} P_{approx} &= f_{B2}(BV, TU), \\ T_{approx} &= f_{T2}(TU, BV). \end{aligned}$$

Основные принципы выполнения этого преобразования объясняются графиками на рис. 1, где по оси ординат отложены значения температур в °С,

а по оси абсцисс отложены значения давлений, выраженных в % от верхнего предела измерения, представлены 5 графиков постоянных TU соответствующих температур 0, 15, 30, 45 и 60 °С, близких к горизонтальным прямым, и 6 графиков постоянных ВU с соответствующими давлениями 0, 20, 40, 60, 80 и 100% от верхнего предела измерения, близкие к вертикальным прямым.

Наклон графиков ВU характеризует уменьшение жесткости приемной мембраны с повышением температуры и соответствующее увеличение показаний ОП, а наклон графиков TU характеризует их зависимость от измеряемого давления, поскольку при определении графиков TU последовательно с температурнозависимой цепью, подключенной к источнику питающего электрического напряжения  $U_0$ , включается мостовая схема, соединенная с клеммой «Земля».

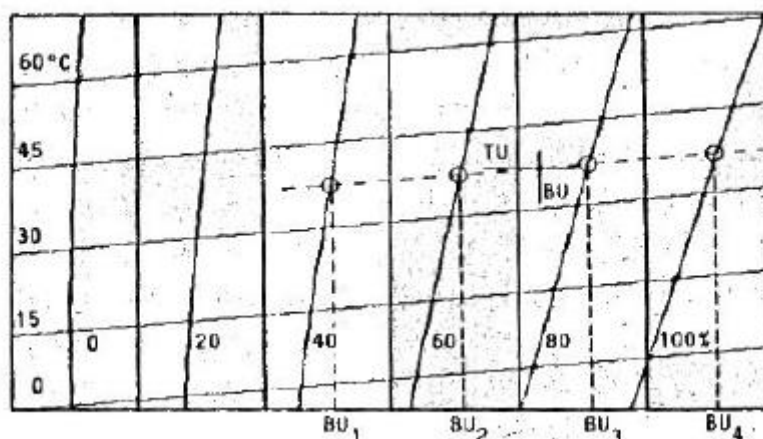


Рисунок 1 - Зависимость постоянных TU от соответствующих температур

Определение графиков производилось с помощью автоматического испытательного стенда, содержащего термокамеру, источник давления



газовой среды с регулятором давления и прецизионный грузо-поршневой манометр. Необходимые числа этих графиков, которые определяются выбираемыми разделяющими их дискретными интервалами по давлению и температуре, зависят от степени нелинейности характеристик преобразования ОП, соответствующие различным фиксированным значением  $T_{eff}$  [7; 25]:

$$BU = f_p(P_{eff}),$$

при  $P_{eff} = \text{const.}$

Каждый из этих графиков аппроксимируется кубическим полиномом и позволяет наиболее наглядно фиксировать реальную нелинейность соответствующей характеристики преобразований.

При нахождении приближенной функции  $BU$ , получаемой в результате такой аппроксимации, используется не менее четырех значений температур (например, 0, 15, 30 и 60 °С).

Аналогично проводится аппроксимация графиков постоянных температур  $TU$  [6; 12]:

$$TU = f_T(BU),$$

при  $T_{eff} = T_1, 2, 3 \dots$

Поскольку эти графики описываются линейными зависимостями, их аппроксимация проводится линиями регрессии. Погрешность измерения температур при определении исходных графиков является малозначительными: например, погрешности измерения температуры, равной 1%, погрешность определения соответствующего давления в худшем случае не превышает 0,03% (данная особенность связана с малыми

наклонами графиков постоянных ТU по соответствующим горизонтальных линиям).

Эквидистантность избранных графиков постоянных ВU и ТU является желательной, но не обязательной: при использовании эквидистантных графиков несколько упрощается алгоритм расчета давлений  $P_{eff}$ . Типичное семейство графиков для рассматриваемого ОП содержит 6 графиков постоянных ВU, определяемых по четырем температурным точкам и 5 графиков постоянных ТU, определяемых по двум точкам давлений (поскольку эти графики являются линейными). При этом для получения математической модели ОП и алгоритма ее численного решения необходимое число калибровочных точек:  $(6 \times 4) + (9 \times 2) = 34$  точки.

Для сравнения можно вспомнить, что метод аналоговой компенсации температурной погрешности ВП предусматривает использование четырех градуировочных величин, в число которых входят: "нулевой" выходной сигнал наклон характеристики преобразования (с учетом предположения о ее линейности) температурный коэффициент смещения нулевого сигнала; температурный коэффициент изменения чувствительности (наклона характеристики преобразования). Существенно более высокая точность цифрового метода компенсации погрешностей, по сравнению с аналоговым, определяет большим числом градуированных точек (64 против четырех).

Алгоритм расчета  $P_{eff}$  основывается на аппроксимации кубическим полиномом экспериментально полученных градуировочных графиков постоянных ВU, нелинейной аппроксимации градуировочных графиков ТU и на кубической аппроксимации характеристик преобразования ОП при постоянных температурах с их отображением ступенчатыми графиками, имеющих малые одинаковые ступени. Отображение характеристик

преобразования ступенчатыми графиками практически оправдано, когда их выражения аналитическими зависимостями вызывает значительные трудности.

Определение одного значения  $Pe_{ff}$  кроме линейной аппроксимации, требует выполнения пяти операций интерполяции кубических уравнений. За интервал времени равен 1 сек, микроконтроллер обеспечивает вычисления пяти значений  $Pe_{ff}$ .

Описанный метод цифровой компенсации кроме исключения температурной погрешности обеспечивает линеаризацию характеристик преобразования и снижения влияния помех на конечные результаты расчета. При этом погрешность ОП, имеет систему цифровой компенсации, снижается в 10-50 раз по сравнению с аналогичным ОП, имеет систему аналоговой компенсации. Остаточная погрешность ОП с цифровой компенсацией становится соизмеримой.

#### Список использованной литературы:

1. Кадыров Р.Р., Фаттахов И.Г., Хамидуллина Э.Р., Патлай А.В. Прогнозирование характера обводнения и целесообразности проведения водоизоляционных работ // Инженер-нефтяник. 2012. № 3. С. 55-60.
2. Санников В.Г., Корольков А.А., Герасименко Х.В. Метод совместного оценивания параметров и фильтрации зашумленной речи в голосовых кодеках // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. Т. 8. № 12. С. 71-73.
3. Ампилов Ю.П., Лапо А.В. Анализ геолого-экономических показателей, применяемых при оценке эффективности разведки и освоения участков недр // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2010. № 5. С. 29-34.
4. Дворянкин С.В., Козлачков С.Б., Харченко Л.А. Оценка защищенности речевой информации с учетом современных технологий шумоочистки // Вопросы защиты информации. 2007. № 2. С. 18-21.
5. Костромин М.В., Позлутко С.Г. Определение величины межшагового целика при дражной разработке россыпей // Горный журнал. 1991. № 12.
6. Культербаев Х.П., Чеченов Т.Ю. Кинематически возбуждаемые колебания континуально-дискретной многопролётной балки при учёте инерционных сил вращения //

## Всероссийское СМИ

### «Академия педагогических идей «НОВАЦИЯ»

Свидетельство о регистрации ЭЛ №ФС 77-62011 от 05.06.2015 г.

(выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций)

Сайт: [akademnova.ru](http://akademnova.ru)

e-mail: [akademnova@mail.ru](mailto:akademnova@mail.ru)

Известия Кабардино-Балкарского государственного университета. 2011. Т. I. № 1. С. 98-104.

7. Арутюнов Ю.А., Возовиков И.Н., Чащин Е.А., Шеманаева Л.И. Влияние топологии мебиуса на распространение в магнитопроводе магнитного поля // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 5. С. 179.

8. Санников В.Г. Теоретический анализ заметности искажений речевых сигналов по громкости их слухового восприятия // Электросвязь. 2002. № 12. С. 38.

9. Берсенев И.И., Столяров В.И., Ясинский С.А. Автоматическое устройство обхода для сетей связи // Патент на изобретение RUS 2185030 20.03.2001

10. Солодьянников Ю.В. Управление и наблюдение для динамических сетей массового обслуживания. I // Автоматика и телемеханика. 2014. № 3. С. 14-45.

11. Косыгин В.Ю., Исаев В.И. О построении региональных плотностных моделей // Тихоокеанская геология. 1985. № 2. С. 113.

12. Щипанов А.В. Определение температурных ограничений при финишной обработке хрупких неметаллических материалов // В сборнике: Теплофизические и технологические аспекты повышения эффективности машиностроительного производства Труды IV международной научно-технической конференции (Резниковские чтения). Редакционная коллегия: А.В. Гордеев, В.И. Малышев, Л.А. Резников, А.С. Селиванов. 2015. С. 129-132.

13. Осипов Г.С. Одноканальные системы массового обслуживания с неограниченной очередью в anylogic // Бюллетень науки и практики. 2016. № 8 (9). С. 92-95.

14. Шиховцов А.А., Мишин В.М. Разделение силовой и термоактивационной компонент разрушения // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2011. № 11. С. 104-105.

15. Санников В.Г., Маслов С.Н., Корольков А.А. Оценка граничной частоты низкочастотного эквивалента телефонного канала связи при случайном наблюдении // Т-Сотм: Телекоммуникации и транспорт. 2013. Т. 7. № 8. С. 112-114.

16. Юсифов Т.Ю., Фаттахов И.Г., Юсифов Э.Ю., Петрова Л.В., Нафикова Р.А., Герасимова А.В. Влияние комплексной технологии на эффективность нефтеотдачи пласта // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. С. 302.

17. Веретенников Н.П., Леонтьев Р.Г. Реструктуризация операторов связи дальнего востока: концептуальный подход. - Биробиджан, 2000. – 56 с.

18. Пугачев С.В., Гусева Т.В., Бегак М.В., Хачатуров А.Е. Развитие технического регулирования: технологии обеспечения энергоэффективности в России // Стандарты и качество. 2009. № 10. С. 52-55.

19. Санников В.Г. Устойчивый алгоритм статистической идентификации авторегрессионной модели речевого сигнала // Цифровая обработка сигналов. 2001. № 2. С. 10.

20. Спасибов В.М., Кулябин Г.А. Построение моделей для управления углублением скважины при турбинном бурении // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2001. № 1. С. 17-26.

21. Чепаксин Е.П., Федоров Р.В., Пичугин В.Н. Эффективное применение электромагнитных реле в аэрокосмической отрасли // Петербургский журнал электроники. 2013. № 4. С. 57.

**Всероссийское СМИ**

**«Академия педагогических идей «НОВАЦИЯ»**

Свидетельство о регистрации ЭЛ №ФС 77-62011 от 05.06.2015 г.

**(выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций)**

**Сайт:** [akademnova.ru](http://akademnova.ru)

**e-mail:** [akademnova@mail.ru](mailto:akademnova@mail.ru)

22. Якупов З.Я., Галимова Р.К., Сафин А.А. Сравнительный анализ методов наименьших квадратов и модулей // В сборнике: Развитие науки и образования в современном мире Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 7 частях. ООО "АР-Консалт". 2014. С. 92-96.

23. Волчков В.П., Санников В.Г. Синтез канальных прекодеров для цифровых систем связи с финитным сигнальным базисом // Электросвязь. 2016. № 4. С. 41-45.

24. Дворянкин С.В., Алюшин В.М. Метод реконструкции гармонической структуры спектральных описаний искаженной шумами и помехами речи // Известия Института инженерной физики. 2013. Т. 2. № 28. С. 57-62.

25. Ампилов Ю.П. Многофакторная система оценки месторождений углеводородов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2015. № 4. С. 35-43.

***Дата поступления в редакцию: 28.11.2017 г.***

***Опубликовано: 01.12.2017 г.***

***© Академия педагогических идей «Новация», электронный журнал, 2017***

***© Пархоменко И.А., 2017***