УДК 681.2 : 53.088.228

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО ДОЗИРОВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

С.А. Егоров[1], В.Ф. Першин[2], В.Е. Подольский[3]

ТамбовЦНИТ (1);
кафедры: «Прикладная механика и сопротивление материалов» (2), «Системы автоматизированного проектирования» (3), ГОУ ВПО «ТГТУ»

Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым

Ключевые слова и фразы: дифференциальный датчик; дозирование зернистых материалов; измерительный преобразователь; компенсация температурной погрешности.

Аннотация: Рассматривается применение дифференциального оптического датчика расхода на базе октрона в аналоговом режиме и способ компенсации его температурной погрешности в процессе непрерывного весового дозирования зернистых материалов.

Обозначения

U – напряжение, мВ;	T – температура окружающей среды, К;
a, b, k, k_{0X}, k_{0T}, k_{1X}, k_{1T}, C, C_0, C_1, D – константы;	X_0 – воздействие излучателя дифференциальной оптопары;
$F(X_0,T)$, $F(X_1,T)$ – значения выходных сигналов, мВ;	X – воздействие измеряемой величины;
P – расход зернистого материала, г/с;	y – выходной сигнал дифференциального датчика;
ΔP – изменение расхода, г/с;	$\Delta\tau$ – промежуток времени, с.

Весовое непрерывное дозирование зернистых материалов широко используется в различных отраслях промышленности. Среди весовых дозаторов непрерывного действия широкое применение получила конструкция, принцип действия которой основан на измерении перемещения пластины грузоприемного рычага при воздействии на нее потока сыпучего материала [5]. Конструктивные достоинства таких устройств очевидны, однако на практике наименьшие пределы производительности таких дозаторов ограничены сотнями кг/ч. Это обусловлено тем, что при производительности порядка единиц кг/ч необходим датчик малых линейных перемещений (0…1 мм), иначе конструкция усложняется, что ведет к ее удорожанию и неконкурентноспособности. Основой датчика перемещения является преобразователь перемещения. Большинство конструкций преобразователей перемещения, такие как потенциометрические, емкостные, индуктивные, магнитные предназначены для измерения перемещения от единиц до сотен миллиметров [3]. Применение конструкций на основе этих методов в необходимом диапазоне измерения перемещения ведет к усложнению конструкции и соответственно к удорожанию изделия, так, например, датчик емкостного типа ДЛП-0,2 (ЗАО НПЦ «Микропроцессорные технологии», г. С-Петербург) стоит 110$, а прецизионный

прибор для измерения линейных перемещений на базе лазерного интерферометра производства СКБ «Индикатор» (г. С-Петербург) стоит 2500$.

Для решения этой задачи нами было предложено устройство, основой которого является оптический измерительный преобразователь, где в качестве фотопроводящего переходного датчика применяется PIN-фотодиод из монокристаллического кремния [11]. Базовая структурная схема прибора [4] приведена на рис.1.

Такая схема практически реализуема на базе современных микроконтроллеров или компьютерных систем. Например, компания National Instruments является мировым лидером в производстве компьютерных систем сбора данных и предлагает семейство модульных систем согласования практически любого типа сигналов. Системы согласования сигналов National Instruments обеспечивают подключение различных датчиков и позволяют на порядки увеличить точность проводимых измерений, однако стоимость самых простых таких устройств (измерителей и регистраторов) не менее 300$, а для проведения экспериментов потребуются более сложные (так как потребуются вычисления в реальном масштабе времени) и, следовательно, более дорогие. Но основной проблемой данной конструкции будет ее высокая температурная зависимость, так как пик чувствительности PIN-фотодиода находится в инфракрасной области спектра, что приводит к проблеме физической реализации данного датчика вследствие возникающей высокой температурной погрешности измерения.

Анализ существующих методов решения задачи компенсации температурной погрешности измерительных систем на базе фотодиодов привел к созданию оптического датчика малых линейных перемещений [6], на базе которого были созданы датчик веса [8], датчик расхода [9], а также устройство сопряжения данных датчиков с ПЭВМ типа IBM PC и необходимое для него программное обеспечение. На базе датчика расхода была создана экспериментальная установка для исследования непрерывного весового дозирования зернистых материалов (рис. 2).

Уравнением связи для данного устройства является уравнение плоскости

$$P = aT + bU + D,$$

где P – расход зернистого материала; T – температура окружающей среды; U – напряжение на выходе оптического датчика расхода; a, b, D – константы, определяемые для каждого датчика.

Для нахождения констант создана программа, в качестве данных для которой используются данные, полученные на экспериментальной установке. В качестве расходуемого материала использовался мелкозернистый песок. На рис. 3 показан график выходного напряжения оптического датчика расхода (октрона) в течение времени при двух режимах расхода и температуре окружающей среды 297 К.

На этом графике период времени от 0 до 16,53 с соответствует расходу 0,7 г/с, период от 16,53 до 32,02 с соответствует расходу 0,16 г/с, в период от 32,02 до 60 с расход отсутствует. Следует отметить, что хорошо видны затухающие колебания грузоприемной пластины датчика расхода в начале и конце отмеченных периодов. Кроме того, у датчика оказались, как это и ожидалось, сильно выраженные шумовые характеристики. Однако, применение ПЭВМ позволяет устранить этот недостаток численными методами, в данном случае был применен фильтр скользящего среднего в реальном масштабе времени [1]. Результаты экспериментов показаны на рис. 4 и рис. 5.

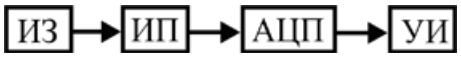


Рис. 1. Базовая структурная схема цифрового прибора:
ИЗ – аналоговый сигнал измеренного значения; ИП – измерительный преобразователь; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; УИ – устройство индикации



Рис. 2. Экспериментальная установка для непрерывного весового дозирования зернистых материалов

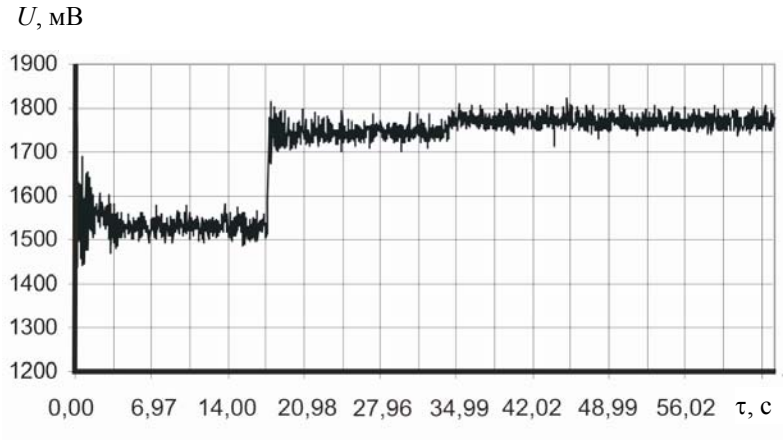


Рис. 3. График выходного напряжения октрона при температуре окружающей среды 297 К

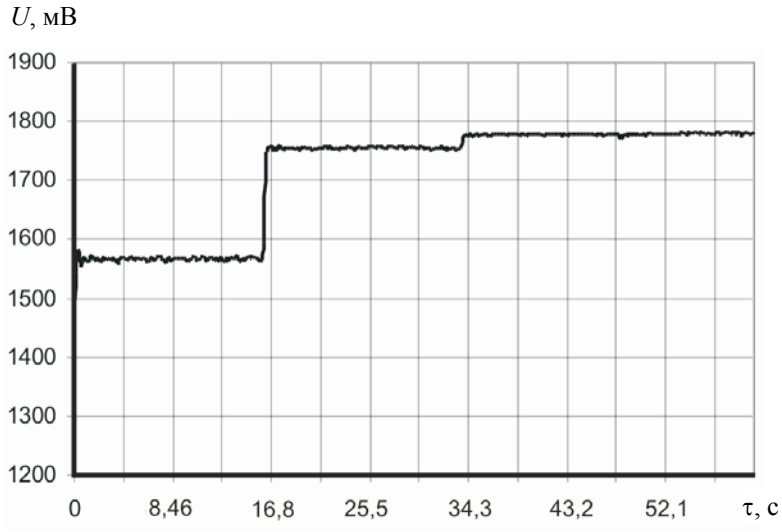


Рис. 4. График выходного напряжения октрона при температуре окружающей среды 294 К и постоянной фильтра 64



Рис. 5. График выходного напряжения октрона при температуре окружающей среды 293,5 К и постоянной фильтра 128

Лабораторные исследования данного устройства привели к его дальнейшему развитию с целью улучшения его технических и технологических характеристик. Решение подобной задачи приводится в [2], однако применяемые методы решения и предложенные свойства первичного измерительного преобразователя, которые лежат в основе каждого метода, различны.

Используя способ параллельной компенсации в измерительной системе [7], получаем измерительное устройство, структурная схема которого показана на рис. 6, где $Д_0$, $Д_1$ – фотодиоды дифференциальной оптопары; X_0 – воздействие излучателя дифференциальной оптопары; X – воздействие измеряемой величины; T – температура окружающей среды; $F(X_0T)$, $F(X_1,T)$ – значение выходных сигналов; y – выходной сигнал дифференциального датчика; УИ – устройство индикации.

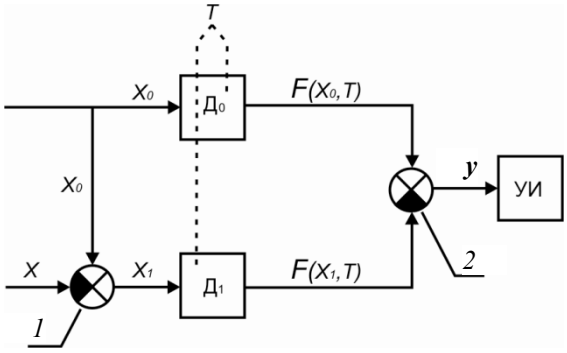


Рис. 6. Структурная схема дифференциального датчика с идентичными температурными характеристиками первичных измерительных преобразователей:
1, *2* – сумматоры

На рис. 6 сигнал X_0 источника опорной величины и X измеряемой величины попадают на сумматор *1*, с выхода которого сигнал X_1 поступает на первичный измерительный преобразователь (**ПИП**) $Д_1$. Сигнал X_0 поступает на опорный ПИП $Д_0$. Полученные выходные сигналы $F(X_0,T)$ и $F(X_1,T)$ попадают в сумматор *2*, с выхода которого сигнал y поступает на устройство индикации. Применение численных способов температурной компенсации связано с градуировкой датчика по температурному каналу, с измерением температуры датчика и, следовательно, приводит к дополнительной погрешности измерения.

В случае автоматической температурной компенсации дифференциального датчика имеем:

$$\begin{gathered} X_0 = \text{const}; \\ X_1 = X_0 - X; \\ F(X_0,T) = k_{0X} X_0 + k_{0T} T + C, \end{gathered} \tag{1}$$

где $k_{0X} = \text{const}$, $k_{0T} = \text{const}$, $C = \text{const}$.
Следовательно,

$$F(X_0,T) = k_{0T} T + C_0, \tag{2}$$

где $C_0 = \text{const}$;

$$F(X_1,T) = k_{1X} X_1 + k_{1T} T + C_1, \tag{3}$$

где $k_{1X} = \text{const}$, $k_{1T} = \text{const}$, $C_1 = \text{const}$;

$$y = F(X_0,T) - F(X_1,T). \tag{4}$$

Необходимым условием физической реализации автоматической температурной компенсации дифференциального датчика является идентичность характеристик опорного и измерительного датчиков, то есть в этом случае

$$k_{0T} = k_{1T}\,. \tag{5}$$

Таким образом, при подстановке (2) и (3) в (4) с учетом (5) получаем

$$y = - k_{1X} X + C',$$

то есть разность сигналов опорного и измерительного датчиков прямо пропорциональна измеряемой величине X и не зависит от температуры окружающей сре-

ды. Такое техническое решение весьма сложно технологически, а в некоторых случаях невозможно, так как датчики с идентичными свойствами не удается изготовить.

Для решения поставленной задачи предлагается измерительное устройство, структурная схема которого показана на рис. 7.

Таким образом, в общем случае

$$k_{0T} \neq k_{1T}$$

и в результате преобразований получаем

$$y = kF(X_0,T) + k_{1X} X + C, \tag{6}$$

где k = const, k_{1X} = const, C = const.

При подстановке (4) в (6) получаем

$$X = \frac{F(X_0,T)(1-k) - F(X_1,T) - C}{k_{1X}}, \tag{7}$$

где k_{1X} – коэффициент пропорциональности; k и C – постоянные величины для данной оптопары.

Устройство работает следующим образом: выходные сигналы $F(X_0,T)$ и $F(X_1,T)$ поступают в аналоговый коммутатор, затем каждый из них преобразуется в цифровой сигнал в аналого-цифровом преобразователе, после чего оба попадают в вычислительное устройство, где производится вычисление измеряемой величины X по формуле (7), и затем результат выводится на устройство индикации.

Для определения значений величин k и C создана компьютерная программа, для которой в качестве данных используются экспериментальные данные, полученные в статическом режиме при изменяющейся температуре окружающей среды, причем значения температуры при этом не измеряются, k_{1X} определяется при градуировке измерительной системы. Система реализована в виде экспериментальной установки для измерения расхода зернистых материалов, где дифференциальный оптический датчик применен в качестве первичного измерительного преобразователя [10]. На рис. 8 и рис. 9 показаны графики расхода сыпучих материалов.

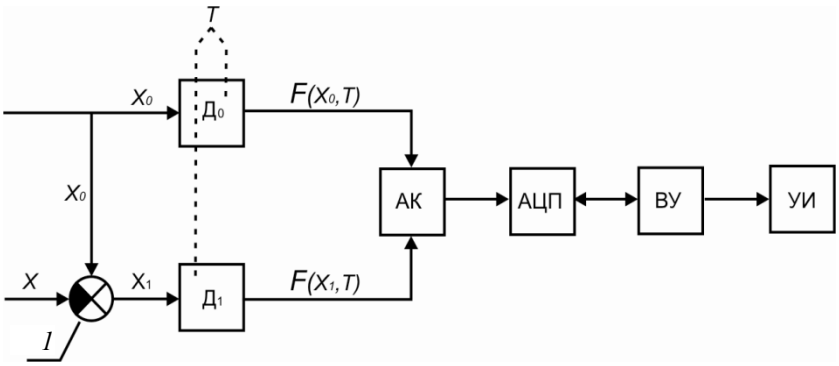


Рис. 7. Структурная схема дифференциального датчика с неидентичными температурными характеристиками первичных измерительных преобразователей:
1 – сумматор; АК – аналоговый коммутатор; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ВУ – вычислительное устройство

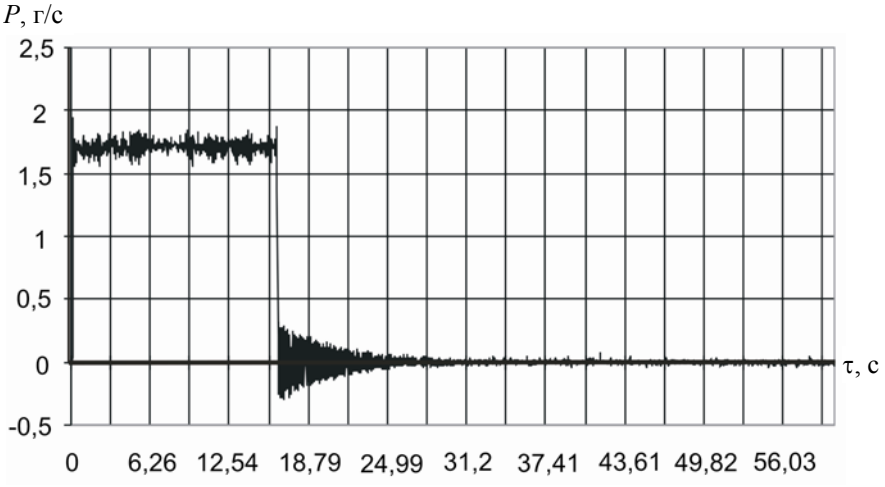


Рис. 8. График расхода без применения фильтра скользящего среднего

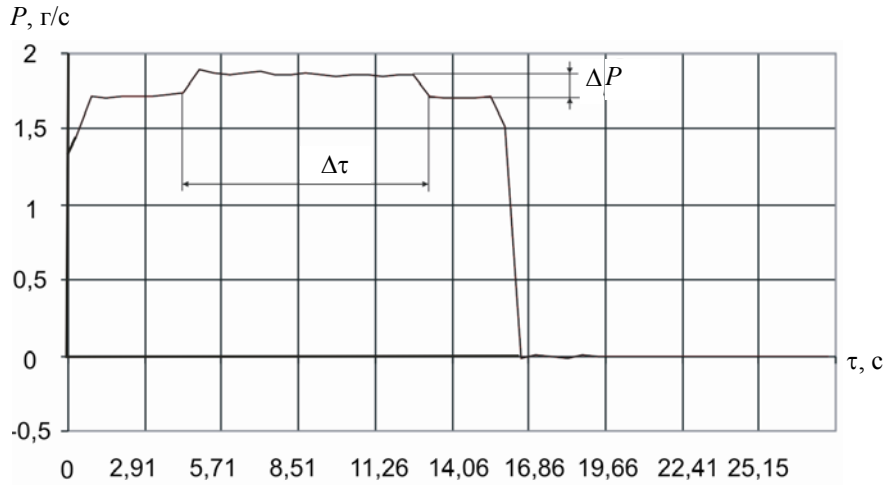


Рис. 9. График расхода с применением фильтра скользящего среднего с постоянной 256

График на рис. 9 отличается от графика на рис. 8 тем, что в дозируемый поток в промежуток времени $\Delta\tau$ был внесен дополнительный расход $\Delta P = 0{,}16$ г/с и применен в реальном масштабе времени фильтр скользящего среднего с постоянной 256. Как видно из графика, даже небольшое, около 10 % от текущего расхода, что по ГОСТ 30124–99 соответствует наименьшему пределу производительности дозатора, изменение расхода сыпучего материала четко фиксируется датчиком.

Следует особо отметить, что использование фильтра скользящего среднего в реальном масштабе времени позволяет применить данный метод с достаточной точностью для различных сыпучих материалов. Это подтверждается тем, что при метрологической поверке устройства, проводившейся по ГОСТ 8.469–2002, наихудшие результаты предельной приведенной погрешности не превысили 0,6 %. Кроме этого, применяя данный метод удалось не только повысить точность измерения за счет уменьшения погрешности (так как не измеряется температура окружающей среды и, следовательно, не вносится дополнительная погрешность на ее измерение), но и повысить информативное восприятие графиков расхода (сравнить, например, с графиком (см. рис. 5), где участок I соответствует наибольшему расходу).

Список литературы

1. Автоматическое управление в химической промышленности / Е.Г. Дудников [и др.]. – М. : Химия, 1987 – 368 с.

2. Богонин, Б.В. Применение микроЭВМ для минимизации температурной погрешности измерительных систем / Б.В. Богонин, М.Б. Богонин // Датчики и системы. Ежемесячный научно-технический и производственный журнал. – 2002. – № 12. – С. 9–14.

3. Бриндли, К. Измерительные преобразователи : справ. пособие : пер. с англ. / К. Бриндли. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 144 с.

4. Бриндли, К. Электронные контрольно-измерительные приборы : пер. с англ. / К. Бриндли. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 128 с.

5. Весоизмерительное оборудование : справочник / Н.А. Лотков [и др.]. – М. : Агропромиздат, 1989. – 240 с.

6. Егоров, С.А. Разработка схемы весового дозирования зернистых материалов на основе оптического датчика малых линейных перемещений / С.А. Егоров, В.А. Лузгачев, В.Е. Подольский // Труды ТГТУ : сб. науч. ст. молодых ученых и студентов. – 2001. – Вып. 8. – С. 89–92.

7. Клаассен, К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике / К.Б. Клаассен. – М. : Постмаркет, 2000. – 352 с.

8. Пат. 2257551 Российская Федерация, МПК[7] G 01 G 3/08, 23/36, 23/48. Датчик веса / Першин В.Ф., Подольский В.Е., Однолько В.Г., Егоров С.А. ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2003107349/28 ; заявл. 17.03.2003 ; опубл. 10.09.2004, Бюл. № 21. – 5 с.

9. Патент 2262080 Российская Федерация, МПК[7] G 01 F 1/30. Датчик расхода / Першин В.Ф., Подольский В.Е., Однолько В.Г., Егоров С.А. ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2003110046 ; заявл. 08.04.2003 ; опубл. 10.10.2004, Бюл. № 28. – 6 с.

10. Заявка 2006121843 Российская Федерация, МПК G 01 B 7/16. Способ температурной компенсации дифференциальных датчиков с линейными характеристиками / С.А. Егоров, В.Е. Подольский, В.Ф. Першин ; заявитель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2006121843/28 ; заявл. 19.06.2006 ; опубл. 27.12.2007, Бюл. № 36. – 1 с.

11. Silicon PIN Photodiode «Vishau Telefunken»: Document Number 81521 Rev.2 20-May-99. http://vishay.de.

Prospects of Using Optical Transfer Sensors for Continuous Dosing of Grain Materials

S.A. Egorov[1], V.F. Pershin[2], V.E. Podolsky[3]

Tambov TSNIT (1), Departments: "Applied Mechanics and Strength of Materials" (2), "Systems of Automated Designing" (3), TSTU

Key words and phrases: compensation of temperature error; differential sensor; dosing of grain materials; measuring converter.

Abstract: Application of differential optical discharge sensor on the basis of octrone in analogue mode and the ways of its temperature error compensation in the course of continuous dosing of grain materials are considered.

Perspektiven der Nutzung der optischen Sensoren der Umstellung für die stetigen Dosierung der Schüttstoffe

Zusammenfassung: Es wird die Anwendung des optischen Differentialsensors des Verbrauchs auf Grund des Octrones im Analogregime und die Weise der Kompensation seines Temperaturfehlers im Laufe der stetigen Waagedosierung der körnigen Stoffe betrachtet.

Perspectives de l'utilisation des capteurs optiques de déplacement pour le dosage continu des matériaux secs

Résumé: Est examinée l'utilisation du capteur différenciel optique du débit à la base de l'octrone dans le régime analogique et le moyen de la compensation de sa faute de température dans le processus du dosage continu de poids des matériaux secs.