

transport process. In particular — the models of operating costs dependence from the demand parameters for the basic term were obtained using this model.

Proposed approach allows defining the impact of stochastic demand parameters on operating costs of the transport firm and, as a result, — choosing the appropriate rational schemes of transport servicing.

Analyzing the experimental results, it could be noted that for the «Ex Works» term the value of shipments has no effect on operating costs. It also should be noted, that for the shipment value of 15 tons the extremum exists in the range of distance delivery from 800 to 1000 km, where the operating costs have their minimum possible value.

#### References

1. Road Transport — A change of gear [Text]. — Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012. — 16 p.
2. Tubis, A. The improvement of the supply process for the variable demand goods [Text] / A. Tubis, N. Szozda // Logistics and Transport. — 2010. — Vol. 1, № 10. — P. 49–56.
3. Raczky, R. The organization of materials handling in a distribution plant [Text] / R. Raczky // Transport Problems. — 2010. — Vol. 5, № 2. — P. 65–70.
4. Vidyarthi, N. Integrated Production-Inventory-Distribution system design with risk pooling: Model formulation and heuristic solution [Text] / N. Vidyarthi, E. Celebi, S. Elhedhli, E. Jewkes // Transportation Science. — 2007. — Vol. 41, № 3. — P. 392–408. doi:10.1287/trsc.1060.0173
5. Koźlak, J. Multi-agent approach to dynamic pick-up and delivery problem with uncertain knowledge about future transport demands [Text] / J. Koźlak, J.-C. Creput, V. Hilaire, A. Koukam // Fundamenta Informaticae. — 2006. — Vol. 71, № 1. — P. 27–36.
6. Bock, S. Real-time control of freight forwarder transportation networks by integrating multimodal transport chains [Text] / S. Bock // European Journal of Operational Research. — 2010. — Vol. 200, № 3. — P. 733–746. doi:10.1016/j.ejor.2009.01.046

7. Naumov, V. Freight forwarding in logistics systems [Text]: monograph / V. Naumov. — Kharkiv: KhNADU, 2012. — 220 p.
8. Naumov, V. Definition of the optimal strategies of transportation market participators [Text] / V. Naumov // Transport Problems. — 2012. — Vol. 7, № 1. — P. 43–52.
9. Naumov, V. An approach to modelling of demand on freight forwarding services [Text] / V. Naumov // Trip Modelling and Demand Forecasting. — 2014. — Vol. 1, № 103. — P. 267–277.
10. Bergami, R. Incoterms 2010: The newest revision of delivery terms [Text] / R. Bergami // Acta Universitatis Bohemicae Meridionales. — 2012. — Vol. 15, № 2. — P. 33–40.

#### РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ДОСТАВКИ ГРУЗОВ В МЕЖДУНАРОДНОМ СООБЩЕНИИ

Предложена математическая модель процесса доставки грузов в международном сообщении, основой которой является модель марковских цепей. Рассмотрены модели базисных систем поставки, используемые на автомобильном транспорте. На базе разработанных математических моделей проведен имитационный эксперимент. На основании регрессионного анализа результатов имитационного эксперимента определены зависимости затрат на доставку грузов от параметров спроса на перевозку.

**Ключевые слова:** международные автомобильные перевозки, математическая модель, марковские цепи, регрессионный анализ.

*Наумов Віталій Сергійович, доктор технічних наук, професор, кафедра транспортних технологій, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна, e-mail: naumov.vs@gmail.com.*

*Наумов Віталій Сергеевич, доктор технических наук, профессор, кафедра транспортных технологий, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Украина.*

*Naumov Vitalii, Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine, e-mail: naumov.vs@gmail.com*

УДК 006.91

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.47959

**Костенко В. Л.,  
Ядрова М. В.,  
Николенко А. А.,  
Поперека Е. Д.**

## ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ВИБРАЦИЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ НОРМИРОВАННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ

*Разработан измеритель низкочастотных вибраций для системы контроля нормированных параметров производственных факторов на основе биморфного пьезоэлемента для частот не более 1 Гц. Проведено компьютерное моделирование устройства с целью исследования происходящих процессов, оптимизации параметров и оценки частотных свойств. Данное исследование позволило определить временные параметры алгоритма управления, реализуемого микроконтроллером, частоту изменения управляющего воздействия и максимальную частоту измеряемых вибраций.*

**Ключевые слова:** низкочастотные вибрации, биморфный пьезоэлемент, фотоприемник, измерение, контроль, нелинейность, компенсация, моделирование.

### 1. Введение

Известно, что вибрация, и, особенно, низкочастотная вибрация является одним из высокоактивных факторов,

воздействующих на человека в производственных условиях. Патологическое воздействие низкочастотных вибраций проявляется в общих вегетативных расстройствах с периферическими нарушениями, преимущественно

в конечностях, грудной и брюшной полостях, снижением сосудистого тонуса и чувствительности, влиянием на обменные процессы, процессы кровообращения и др. Вредные вибрации имеют место в большинстве производственных процессов, особенно при эксплуатации наземного транспорта, включая наземные движущиеся механизмы, промышленные грузовые автомобили и сельскохозяйственные машины. Поэтому при профилактике профзаболеваний важное место отводится контролю нормированных параметров производственных вибраций. При этом, учитывая процессы комплексного влияния различных производственных факторов, особое значение приобретает качество контроля параметров, которое в значительной степени обеспечивается современной измерительной аппаратурой.

С учетом сказанного, исследование по совершенствованию аппаратуры для измерения и контроля параметров производственных вибраций с целью повышения точности и производительности, обеспечения автоматизации систем измерения и контроля являются актуальными.

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Для измерения параметров производственных факторов в современных условиях проведены исследования по созданию устройств и системы контроля. В частности, исследована возможность уменьшения потребляемой мощности устройств [1]. В работе [2] приведены результаты исследования многоканального устройства сбора тензометрических параметров на основе полупроводниковых тензодатчиков. В работе [3] приведены результаты исследования по созданию информационно-измерительной системы контроля нормированных параметров производственных факторов. Одним из измерительных каналов такой системы является канал контроля производственной общей и локальной вибраций (полоса частот 5–180 Гц). Вместе с тем, известно, что вибрации в области низких и инфранизких частот особенно негативно влияют на физиологическое и психологическое состояние человека. Таким образом, остается нерешенной проблема создания измерителя низкочастотных вибраций (не более 1 Гц) для системы контроля нормированных параметров производственных факторов, т. е. существует необходимость дополнения автоматизированной информационно-измерительной системы каналом контроля параметров производственных низкочастотных вибраций (не более 1 Гц) с сохранением ее основного отличия — возможности комплексного контроля параметров.

Известно, что при измерении параметров низкочастотной вибрации могут быть использованы пьезоэлектрические датчики с достаточно высокой разрешающей способностью и чувствительностью [4]. Среди таких датчиков особое место занимают датчики с консольно закрепленными биморфными пьезоэлементами [5], работающие на изгиб, что позволяет создавать простые, малогабаритные, высокоточные и надежные конструкции, не вносящие заметных искажений в работу устройств, пригодные для работы в различных средах. Недостатком таких пьезоэлектрических датчиков является то, что они обладают значительной нелинейностью и остаточной деформацией, что не позволяет добиться высокой точности и производительности контроля нормированных

параметров без компенсации нелинейности и остаточных деформаций пьезоэлемента, что ограничивает возможность использования таких датчиков в современных системах контроля.

## 3. Объект, цель и задачи исследования

*Объектом исследования* является измеритель низкочастотных вибраций с оптоэлектронной системой контроля.

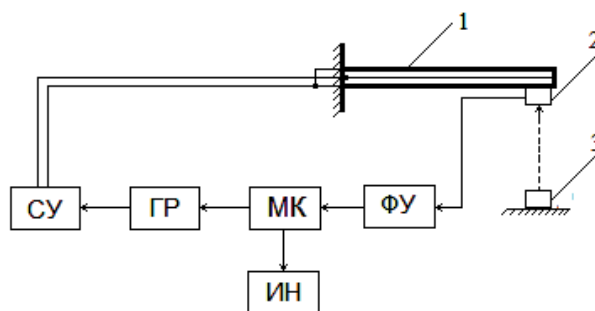
*Целью данной работы* является разработка и исследование измерителя низкочастотных вибраций (не более 1 Гц) для информационно-измерительной системы комплексного контроля нормированных параметров производственных факторов на основе биморфного пьезоэлемента с компенсацией нелинейности и остаточных деформаций.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Разработка структурной схемы пьезоэлектрического измерителя низкочастотных вибраций.
2. Разработка модели импульсного согласующего устройства с биморфным пьезоэлементом.
3. Исследование модели импульсного согласующего устройства с биморфным пьезоэлементом.
4. Разработка макета пьезоэлектрического измерителя низкочастотных вибраций.

## 4. Разработка пьезоэлектрического измерителя низкочастотных вибраций с оптоэлектронной системой контроля

Структурная схема пьезоэлектрического измерителя низкочастотных вибраций с оптоэлектронной системой контроля приведена на рис. 1.



**Рис. 1.** Структурная схема пьезоэлектрического измерителя низкочастотных вибраций с оптоэлектронной системой контроля:  
1 — биморфный пьезоэлемент, 2 — фотоприемник, 3 — полупроводниковый лазер

Измеритель включает в себя биморфный пьезоэлемент (1), согласующее устройство (СУ), микроконтроллер (МК), гальваническую развязку (ГР), индикатор (ИН), фотоусилитель (ФУ), миниатюрный полупроводниковый лазер (3), расположенный на неподвижном основании и фотоприемник (2).

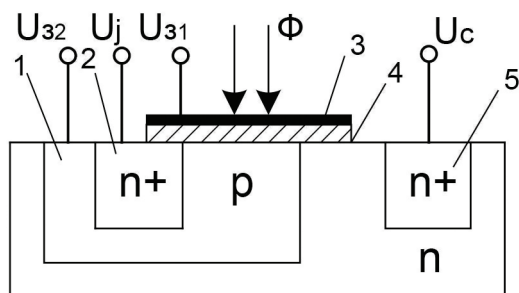
С учетом известных исследований [6, 7] в качестве чувствительного элемента выбран горизонтально расположенный консольно закрепленный биморфный пьезоэлемент (БПЭ), представляющий собой две спаянные разноименными полюсами поляризации металлизированные пьезокерамические пластины. На нижней плоскости свободного конца БПЭ закреплен фотоприемник (ФП), выполняющий также роль инерционной массы.

Применение биморфных пьезоэлектрических элементов и оптических элементов — лазера и фотоприемника позволяют достаточно просто и вместе с тем эффективно осуществлять компенсационный метод измерения низкочастотных вибраций.

В исходном состоянии, при отсутствии вибраций, БПЭ расположен горизонтально, оптическая ось лазерного луча перпендикулярна плоскости прозрачного электрода фотоприемника и лазерный луч через прозрачный электрод попадает на фоточувствительный слой фотоприемника. Под действием вибраций БПЭ изгибается, поэтому фотоприемник выходит из области попадания лазерного луча. Параметры фотоусилителя подобраны таким образом, что при освещении фотоприемника на выходе фотоусилителя появляется напряжение логической единицы, в противном случае — напряжение логического нуля. При подаче логического нуля на вход микроконтроллера запускается программа формирования управляющего напряжения на выходе согласующего устройства, которое, за счет обратного пьезоэлектрического эффекта, создает деформацию БПЭ, компенсирующую исходный изгиб под действием вибрации. Условием уравнивания является равенство деформации БПЭ и компенсирующей деформации, возникающей под действием управляющего напряжения. Состояние БПЭ контролируется по выходному сигналу фотоусилителя, при этом система управления изменяет степень компенсирующей деформации БПЭ до тех пор, пока луч лазера не попадет на ФП. Величина компенсирующего напряжения и его частота однозначно связаны с механическим усилием, воздействующим на свободный конец БПЭ под действием вибрации. Это позволяет измерить параметры вибрации (амплитуду, частоту) и отобразить их на индикаторе.

Перед началом каждого цикла измерения для компенсации остаточной деформации БПЭ в предлагаемом устройстве предусмотрена предварительная автоматическая калибровка, включающая калибровку положения БПЭ и фототока ФП. Калибровка основана на том, что при появлении остаточной деформации БПЭ оптическая ось лазера не перпендикулярна плоскости прозрачного электрода ФП, в результате чего на выходе фотоусилителя появляется напряжение логического нуля. При калибровке обеспечивается компенсирующая деформация, БПЭ устанавливается в горизонтальное положение, при котором луч лазера попадает на фоточувствительный слой ФП.

Обобщенная структура фотоприемника приведена на рис. 2.



**Рис. 2.** Обобщенная структура фотоприемника: 1 — база (подложка), 2 — исток (эмиттер), 3 — прозрачный затворный электрод, 4 — полупрозрачный подзатворный диэлектрик, 5 — сток (коллектор)

Следует отметить, что с целью повышения точности результатов измерений, в конструкции ФП предусмотрена возможность его настройки при предварительной калибровке устройства. С учетом этого авторами статьи предложена конструкция ФП, состоящего из МДП-компоненты на основе фототранзистора с прозрачным затворным электродом и полупрозрачным подзатворным диэлектриком. В МДП-компоненту введена цепь с положительной обратной связью на основе биполярного транзистора [8, 9].

Выходной сигнал ФП зависит от управляющих напряжений на затворе и базе входящих в ФП транзисторов, а также от интенсивности светового потока  $\Phi$ , что позволяет проводить настройку ФП.

Управляемый ФП реагирует на световой поток, который через прозрачный затворный электрод и полупрозрачный подзатворный диэлектрик поступает на подзатворную область, при этом меняется пороговое напряжение формирования инверсионного канала и крутизна проходной характеристики. Напряжения  $U_{31}$  и  $U_{32}$  оказывают воздействие на величину тока канала МДП-компоненты ФП путем изменения ширины и глубины канала. Влияние же интенсивности светового потока  $\Phi$  заключается в увеличении тока обратносмещенного перехода сток-подложка в соответствии с фоточувствительностью данного перехода.

Для проверки эксплуатационных характеристик ФП применялось моделирование с помощью специально разработанного на языке программирования C++ программного пакета, позволившего исследовать выходные характеристики рассматриваемой структуры в зависимости от величин управляющих сигналов и интенсивности светового потока, а также для этой цели применялось макетирование.

Для автоматизации процесса измерений и повышения точности позиционирования БПЭ используется микроконтроллер (рис. 1) со встроенным модулем широтно-импульсной модуляции (ШИМ), включенный в цепь регулирования положения БПЭ. При частоте тактового генератора 20 МГц микроконтроллер формирует сигнал ШИМ с частотой не менее 70 кГц и разрешением 8 двоичных разрядов, что обеспечивает погрешность задания длительности импульса, а, следовательно, и постоянного напряжения, не более 0,5 %.

Согласование БПЭ с микроконтроллером обеспечивается с помощью разработанного авторами статьи [10] согласующего устройства. Формирование управляющих напряжений осуществляется импульсным способом с помощью транзисторных ключей, емкостной нагрузкой которых является биморфный пьезоэлемент. Наличие емкостной нагрузки и высокая частота следования импульсов (10–70 кГц) позволяют сформировать на пьезоэлементе постоянные напряжения заданного уровня, величина которых пропорциональна коэффициенту заполнения поступающих импульсов. Такое устройство экономично, надежно и устойчиво к самовозбуждению.

Модель согласующего устройства, включающая в себя модель биморфного пьезоэлемента, приведена на рис. 3. Силовые транзисторы  $Q_1$ ,  $Q_2$ , к коллекторам которых подключен пьезоэлемент, работают в ключевом режиме, БПЭ является емкостной нагрузкой согласующего устройства.

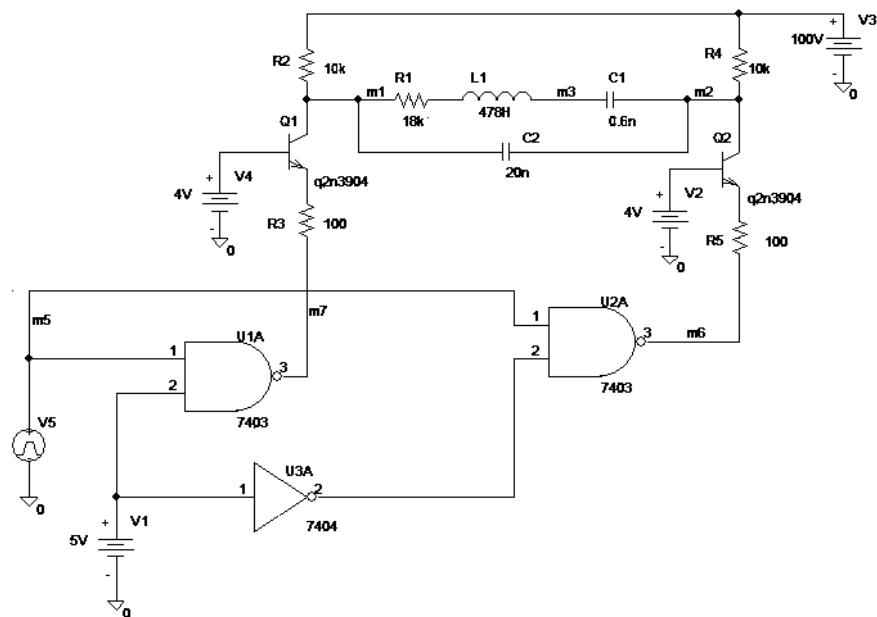


Рис. 3. Модель импульсного согласующего устройства с биморфным пьезоэлементом

В процессе моделирования исследовалась [10] зависимость выходного напряжения согласующего устройства от коэффициента заполнения управляющих импульсов  $\gamma = t_{и}/T$ , где  $t_{и}$  — длительность, а  $T$  — период следования управляющих импульсов. Изменение коэффициента заполнения  $\gamma$  приводит к изменению уровня напряжения на пьезообразователе  $U_{ПЭ}$  в диапазоне от нуля до напряжения питания  $E_{П}$ . При  $\gamma = 0,9$  (безразмерная величина)  $U_{ПЭ} = 90$  В (рис. 4), при  $\gamma = 0,1$   $U_{ПЭ} = 40$  В. Большое влияние на работу БПЭ оказывает частота следования управляющих импульсов, поэтому были проведены исследования зависимости пульсаций напряжения, сформированного на пьезоэлементе, от данной частоты  $U_{ПЭ} = F(f_{упр})$ , что позволяет выбрать оптимальную частоту следования управляющих импульсов (10–70 кГц). Результаты моделирования показали эффективность импульсного метода управления БПЭ. Регулировочная характеристика линейна в широких пределах. Пульсации напряжения, при частоте управления более 10 кГц, малы и не оказывают существенного влияния на работу БПЭ.

Биморфный пьезоэлемент является инерционным элементом, поэтому важным параметром, определяющим работу устройства, является время установления управляющего напряжения на БПЭ и, особенно, время установления перемещения БПЭ. Предложенная модель позволяет определить эти параметры. Параметры модели рассчитаны [5] для конкретного БПЭ длиной 40 мм, шириной 10 мм и толщиной 0,5 мм из пьезокерамики ЦТС-19. Процесс установления напряжения на БПЭ импульсным способом показан на рис. 4. Время установления напряжения составляет 0,8 мс. В соответствии с методом электро-механических аналогий [5] имеет место прямая аналогия

между механическим перемещением БПЭ и зарядом емкости  $C_1$ , т. е. соответственно, напряжением на емкости  $C_1$  (рис. 3). Процесс установления заданного перемещения БПЭ показан на рис. 5. Величина перемещения прямопропорциональна величине напряжения на БПЭ и, соответственно, коэффициенту заполнения управляющих импульсов, при  $\gamma = 0,9$  установившееся напряжение на емкости  $C_1$  составляет 95 В (рис. 5), при  $\gamma = 0,1$  установившееся напряжение составляет 50 В. Время установления перемещения составляет 100 мс.

Проведенные исследования позволяют определить временные параметры алгоритма управления, реализуемого микроконтроллером. Микроконтроллер задает коэффициент заполнения управляющих импульсов, поступающих на вход

согласующего устройства. По результатам моделирования (рис. 5) система приходит в установившееся состояние примерно через 100 мс, поэтому коэффициент заполнения управляющих импульсов на этом интервале должен быть постоянен, и может изменяться только после окончания этого интервала.

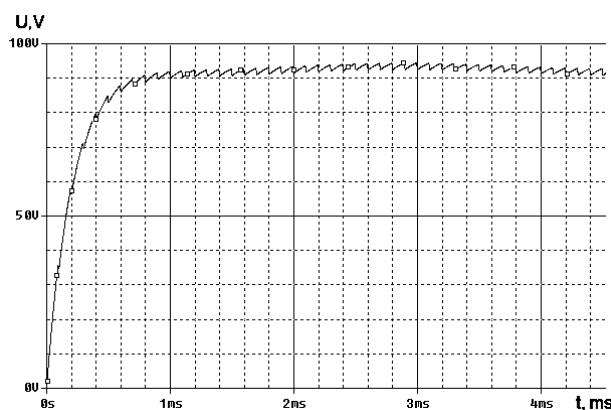


Рис. 4. Зависимость напряжения на БПЭ от времени

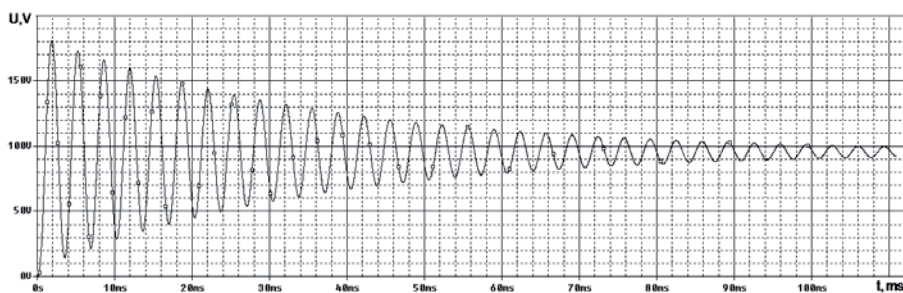


Рис. 5. Зависимость перемещения БПЭ от времени

Таким образом, частота изменения управляющего воздействия не более 10 Гц. Величина изменения коэффициента заполнения задает приращение управляющего

напряжения, приложенного к пьезоэлементу, т. е. формирует «ступеньку» напряжения. Величина ступеньки подбирается исходя из заданной точности измерения и диапазона деформации.

Данные исследования позволяют также определить максимальную частоту внешнего воздействия на пьезопреобразователь, т. е. максимальную частоту измеряемых вибраций. Для данного устройства она в 10 раз меньше частоты изменения управляющего воздействия и составляет 1 Гц.

## 5. Выводы

Разработана структурная схема пьезоэлектрического измерителя низкочастотных вибраций для системы контроля нормированных параметров производственных факторов на основе биморфного пьезоэлемента для частот не более 1 Гц. Особенностью устройства является возможность автоматической компенсации нелинейных свойств БПЭ в процессе контроля и калибровки.

Разработана модель импульсного согласующего устройства с биморфным пьезоэлементом. Проведено компьютерное моделирование согласующего устройства и биморфного пьезоэлемента с целью исследования происходящих процессов, оптимизации параметров и оценки частотных свойств устройства. Данное исследование позволило определить временные параметры алгоритма управления, реализуемого микроконтроллером, частоту изменения управляющего воздействия и максимальную частоту внешнего воздействия на пьезопреобразователь, т. е. максимальную частоту измеряемых вибраций.

Для автоматизации процесса измерений и повышения точности и производительности контроля нормированных параметров использован микроконтроллер со встроенным модулем широтно-импульсной модуляции, включенный в цепь регулирования положения биморфного пьезоэлемента.

Согласование БПЭ с микроконтроллером обеспечивается с помощью импульсного согласующего устройства.

Разработан макет пьезоэлектрического измерителя низкочастотных вибраций с целью проверки результатов моделирования.

Устройство позволяет расширить функциональные возможности системы контроля производственных факторов и может быть использовано при санитарно-гигиеническом обследовании рабочих мест.

## Литература

- Жильцов, В. В. Устройство сбора биометрических параметров с использованием тензорезисторных датчиков [Текст] / В. В. Жильцов, В. Л. Костенко // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — Одесса: Политехперіодика, 2009. — Вып. 6(84). — С. 15–18.
- Жильцов, В. В. Многоканальное устройство сбора тензометрических параметров на основе полупроводниковых тензодатчиков [Текст] / В. В. Жильцов, В. Л. Костенко // Электромашинобудування та електрообладнання. — Киев: Техніка, 2009. — Вып. 72. — С. 29–34.
- Костенко, В. Л. Информационно-измерительная система контроля нормированных параметров производственных факторов [Текст] / В. Л. Костенко, А. А. Николенко, Е. Д. Поперека, М. В. Ядрова, К. С. Тыманюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий: Информационно-управляющие системы. — 2014. — № 3/9(69). — С. 51–56. doi:10.15587/1729-4061.2014.25419
- Клих, Ю. А. Математическая модель системы управления пьезоманипулятором [Текст] / Ю. А. Клих, Д. Э. Контрерас, М. В. Ядрова // Труды ОПУ. — Одесса, 2006. — Вып. 2(26). — С. 146–150.
- Клих, Ю. А. Эволюция математической модели управляемого пьезоманипулятора [Текст] / Ю. А. Клих, Д. Э. Контрерас, М. В. Ядрова // Труды ОПУ. — Одесса, 2007. — Вып. 1(27). — С. 191–195.
- Фрайден, Дж. Современные датчики [Текст]: справочник / Дж. Фрайден. — М.: Техносфера, 2006. — 592 с.
- Джагунов, Р. Г. Пьезоэлектронные устройства вычислительной техники, систем контроля и управления [Текст]: справочник / Р. Г. Джагунов, А. А. Ерофеев. — СПб.: Политехника, 1994. — 608 с.
- Костенко, В. Л. Фоточувствительный управляемый синопсис на основе комбинированного транзистора [Текст] / В. Л. Костенко, С. О. Жаровцев // Фотоэлектроника. — 2007. — Вып. 16. — С. 106–108.
- Оптоэлектронный интегральный датчик [Электронный ресурс]: пат. України 86870, МПК (2009) G 01N 21/62 H01L 31/00 / Костенко В. Л., Жаровцев С. О.; заявник та патентовласник ОНПУ. — № а2007 10064; заявл. 10.09.2007; опубл. 25.05.2009, Бюл. № 10. — Режим доступу: \www/URL: http://uapatents.com/3-86870-optoelektronnij-integralnij-datchik.html
- Николенко, А. А. Устройство управления пьезоприводом [Текст] / А. А. Николенко, М. В. Ядрова // Труды ОПУ. — Одесса, 2006. — Вып. 1(25). — С. 161–164.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ВИМІРЮВАЧА НИЗЬКОЧАСТОТНИХ ВІБРАЦІЙ ДЛЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ НОРМОВАНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИРОБНИЧИХ ФАКТОРІВ

Розроблено вимірювач низькочастотних вібрацій для системи контролю нормованих параметрів виробничих факторів на основі биморфного п'єзоелементу для частот не більше 1 Гц. Проведено комп'ютерне моделювання пристрою з метою дослідження процесів, оптимізації параметрів та оцінки частотних властивостей. Дане дослідження дозволило визначити тимчасові параметри алгоритму управління, реалізованого мікроконтролером, частоту зміни керуючого впливу і максимальну частоту вимірюваних вібрацій.

**Ключові слова:** низькочастотні вібрації, биморфний п'єзоелемент, фотоприймач, вимірювання, контроль, нелінійність, компенсація, моделювання.

*Костенко Віталій Леонідович, доктор технічних наук, професор, кафедра металорежущих станків, метрології та сертифікації, Одеський національний політехнічний університет, Україна, e-mail: kvl777@ukr.net.*

*Ядрова Марина Васильевна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра інформаційних систем, Одеський національний політехнічний університет, Україна, e-mail: marinaonpu@yandex.ua.*

*Николенко Анатолий Александрович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра інформаційних систем, Одеський національний політехнічний університет, Україна, e-mail: anatology@ukr.net.*

*Поперека Екатерина Дмитриевна, аспірант, кафедра металорежущих станків, метрології та сертифікації, Одеський національний політехнічний університет, Україна, e-mail: popereka2013.prof@mail.ru.*

*Костенко Віталій Леонідович, доктор технічних наук, професор, кафедра металорізальних верстатів, метрології та сертифікації, Одеський національний політехнічний університет, Україна.*

*Ядрова Марина Васильевна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра інформаційних систем, Одеський національний політехнічний університет, Україна.*

*Николенко Анатолий Александрович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра інформаційних систем, Одеський національний політехнічний університет, Україна.*

*Поперека Катерина Дмитрівна, аспірант, кафедра металорізальних верстатів, метрології та сертифікації, Одеський національний політехнічний університет, Україна.*

*Kostenko Vitaliy, Odessa National Polytechnic University, Ukraine, e-mail: kvl777@ukr.net.*

*Yadrova Marina, Odessa National Polytechnic University, Ukraine, e-mail: marinaonpu@yandex.ua.*

*Nikolenko Anatoliy, Odessa National Polytechnic University, Ukraine, e-mail: anatology@ukr.net.*

*Popereka Kateryna, Odessa National Polytechnic University, Ukraine, e-mail: popereka2013.prof@mail.ru*