

УДК 620.179.12

Красовский И. С., магистр
(ИГТМ НАН Украины)**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛЫ УДАРА
ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ КОНСТРУКЦИЙ****Красовський І. С.**, магістр
(ИГТМ НАН України)**ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СИЛИ УДАРУ
ПРИ ДИНАМІЧНИХ ВИПРОБУВАННЯХ КОНСТРУКЦІЙ****Krasovskiy I. S.**, M.S. (Tech.)
(IGTM NAS of Ukraine)**THE NEW DEVICE FOR MEASURING SHOCK FORCE
DURING THE STRUCTURES DYNAMIC TESTING**

Аннотация. Предмет исследований – устройство для определения силы удара при динамических испытаниях конструкций. Цель работы – создание устройства, позволяющего оценить силу удара по геокомпозитной конструкции для определения отношения между силой удара и параметрами колебательных процессов в исследуемой конструкции.

Разработана и представлена конструкция устройства, позволяющего определить силу удара по поверхности и визуально отобразить полученную информацию. В качестве первичного преобразователя использовался ударный пьезоакселерометр. Полученный с пьезоакселерометра сигнал подается на компараторы для сравнения уровня сигнала. Обработанный сигнал затем поступает на микросхемы памяти для хранения информации до ее фиксации, обнуление схем памяти происходит по нажатию кнопки. Для индикации силы удара используется блок из восьми светодиодов.

Ключевые слова: устройство, пьезоакселерометр, геокомпозитная конструкция, индикатор удара, сила удара.

Одним из ключевых моментов, определяющих эффективность использования виброакустической аппаратуры для оценки состояния элементов геокомпозитных конструкций в натуральных условиях, является зависимость значения информативного параметра от силы удара [1].

Поэтому было принято решение проследить, как именно меняется информативное значение с изменением силы удара, но для этого необходимо было создать устройство, которое бы позволило оценить силу удара по анкеру.

Чтобы оценить силу удара по поверхности используют устройства, переводящие значение ускорения, полученного после удара, в удобную для регистрации форму. Самым распространёнными датчиками для такого превращения являются датчики, которые используют пьезоэлектрический эффект – пьезоакселерометры [2 – 4].

На сегодняшний день пьезоакселерометры нашли широкое применение: в сфере торговли для обеспечения целостности товара при его транспортировке,

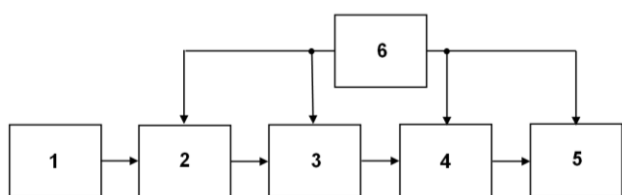
в спорте для оценки силы удара спортсмена, в системах навигации и т.д. Так как на выходе пьезоакселерометра информативным параметром является напряжение, то так же широк спектр индикаторов силы удара – от отклоняющейся стрелки и жидкокристаллических экранов до внешних подключаемых устройств. Так же пьезоакселерометры представлены большим разнообразием форм и размеров – от малых клеящихся пленок до пластин больших размеров.

Существует множество сложных устройств, которые используют пьезоакселерометр в качестве датчика, и позволяют определить не только силу удара, но и множество других параметров. Некоторые из представленных устройств многоканальные и работают сразу с несколькими датчиками. Полученное значение силы удара отображается либо на индикаторе самого устройства, либо подключается к компьютеру. Но у этих устройств есть существенный недостаток – их цена. Именно поэтому так остро стояла проблема разработать устройство, которое бы позволило оценить силу удара при виброакустических испытаниях конструкций, но при этом имело бы невысокую стоимость [5].

Для этого был разработан индикатор силы удара, работающий совместно с ударным пьезоакселерометром [6].

Структурная схема устройства представлена на рис. 1.

Ударный пьезоакселерометр 1 выполнен на основе первичного преобразователя типа АВС с диапазоном ударного ускорения до 5000 м/с^2 , который жестко соединен с металлическим корпусом. Контактная поверхность корпуса имеет показатель твердости $\text{HRC} \geq 60$ и выполнена сферически. Усилитель 2 предназначен для согласования высокого выходного сопротивления первичного преобразователя с низким входным сопротивлением аналогового узла 3 – блока компараторов, 4 – оперативная память, 5 – светодиодная шкала, 6 – блок питания.



1 – ударный пьезоакселерометр, 2 – согласующий усилитель, 3 – блок компараторов, 4 – оперативная память, 5 – светодиодная шкала, 6 – блок питания

Рисунок 1 – Структурная схема индикатора силы удара



Рисунок 2 – Внешний вид индикатора силы удара

Блок 3 содержит 8 компараторов, каждый из которых выполняет сравнение сигнала с выхода усилителя с линейкой значений постоянного напряжения: 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5 и 4.0 В. При уровне сигнала меньше 0.5 В на выходах всех компараторов присутствует логический нуль, а при напряжении 4.0 В и больше – логическая единица. Поскольку длительность импульса на входах компаратора составляет доли миллисекунды, то для сохранения информации о

силе удара служит блок оперативной памяти 4. Текущее состояние ячеек памяти отображается линейной светодиодной шкалой 5, содержащей 8 элементов. Блок питания 6 служит для обеспечения необходимыми напряжениями остальных узлов устройства. После регистрации состояния шкалы предусмотрено обнуление памяти.

На фотографии (рис.2) представлен индикатор силы удара. По центру находится ряд светодиодов, слева от них переключатель включения/выключения и предохранитель, а справа диод, сигнализирующий наличие питающего напряжения, и кнопка сброса.

Рассмотрим более подробно работу устройства. Для этого ознакомимся с принципиальными схемами некоторых блоков.

Принципиальная схема блоков 2 и 3 представлена на рис. 3.

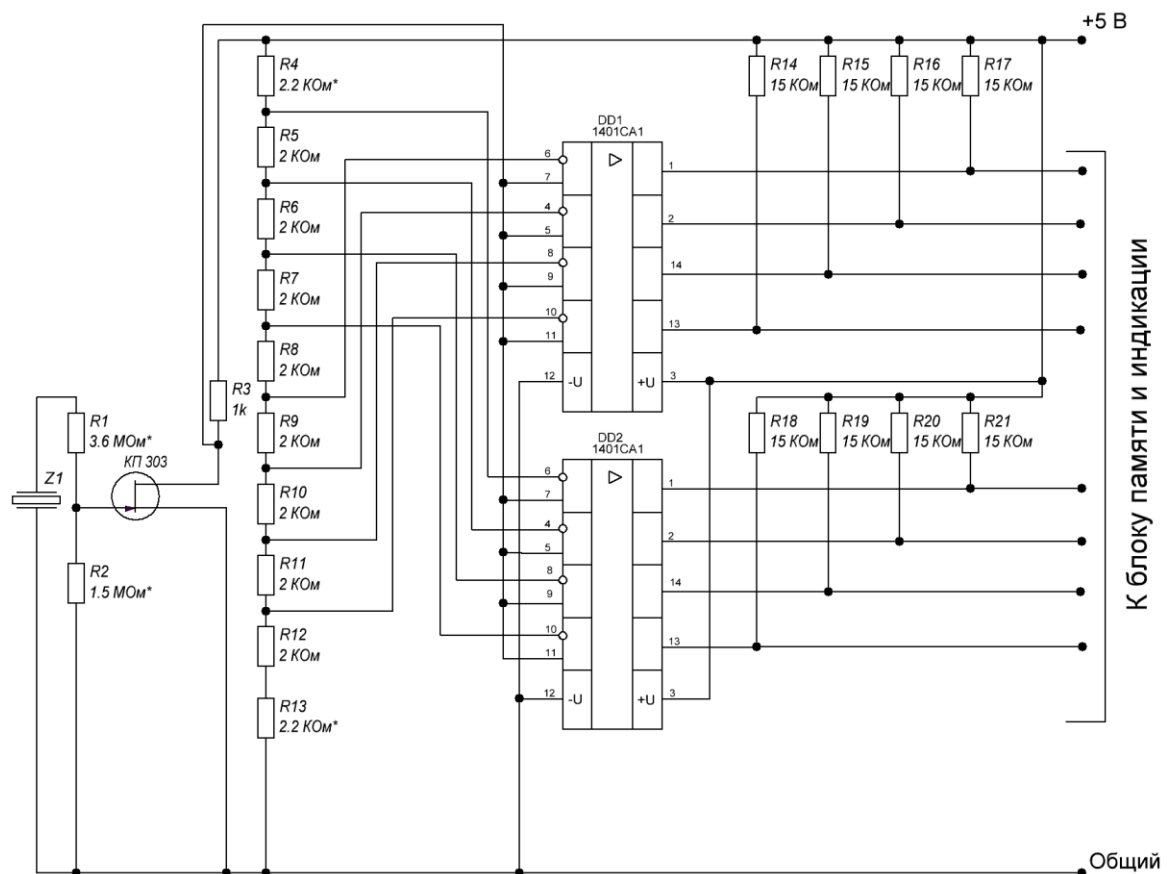


Рисунок 3 – Принципиальная схема блоков 2 и 3

При контакте датчика с поверхностью на выходе пьезоакселерометра формируется напряжение, соответствующее силе удара. Этот сигнал поступает на усилитель для согласования сопротивлений.

Усилительный каскад представлен транзистором КП 303А. Сопротивление резисторов R1, R2, R4 и R13 подбирается в зависимости от параметров транзистора. Резисторы R5...R12 исполняют роль делителя напряжения с шагом в 0.5 В. Таким образом получаем восемь промежутков. Каждому этому промежутку

соответствует определенному входу компаратора, который выполнен в виде двух микросхем 1401CA1, каждая из которых включает в себя четыре независимых компаратора средней точности. Напряжение, на соответствующих входах компараторов, будет сравниваться с опорным значением напряжения и устанавливаться логическая единица, если значение напряжения превысило определенный уровень.

Резисторы R14...R21 являются нагрузкой коллекторной цепи выходных транзисторов компараторов. Выходной сигнал компараторов поступает на микросхемы памяти.

На рис. 4 представлена принципиальная схема блоков 4 и 5.

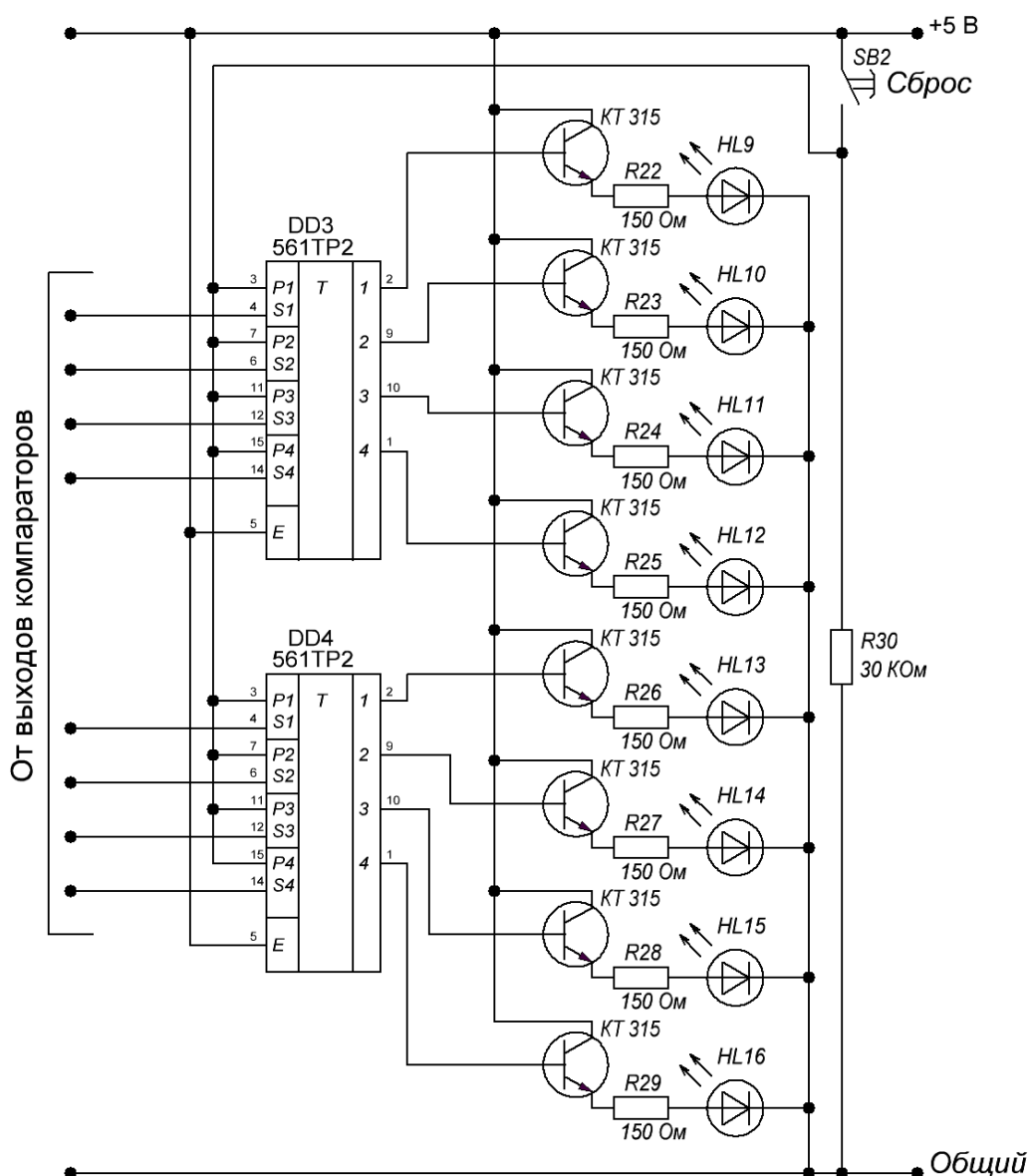


Рисунок 4 – Принципиальная схема блоков 4 и 5.

Назначение этого блока – долговременное хранение и отображение сигнала, поступившего с компараторов в виде светодиодной шкалы.

Как уже было сказано, длительность импульса на выходе компаратора со-

ставляет несколько миллисекунд, что достаточно для того, чтобы вызвать свечение светодиодов, но недостаточно, чтобы это смог зафиксировать человеческий глаз. Чтобы устранить эту проблему используются две микросхемы памяти 561TP2, которые хранят информацию с выходов компараторов любое необходимое время. Для того чтобы обнулить состояние этих схем предусмотрена отдельная кнопка сброса, замыкающая Reset входы микросхем памяти на питание через резистор R30.

В качестве индикаторов используются восемь слаботочных красных светодиодов. Но так как сила тока на выходах микросхем памяти меньше необходимой для включения светодиодов, то предусмотрено их включение через транзисторы КТ315 и резисторы с малым сопротивлением R22...R29 для усиления и стабилизации тока соответственно.

Светодиоды включаются поочередно, т. е. если удар был слабый, то включится только первый светодиод, а если удар был средней силы, то включатся светодиоды с первого по, допустим, пятый. Активными будут сразу пять светодиодов из восьми.

Для проверки работы устройства была проведена серия из 20 случайных ударов. На рис. 5 представлена гистограмма распределения количества полученных значений от эквивалентной силы удара.

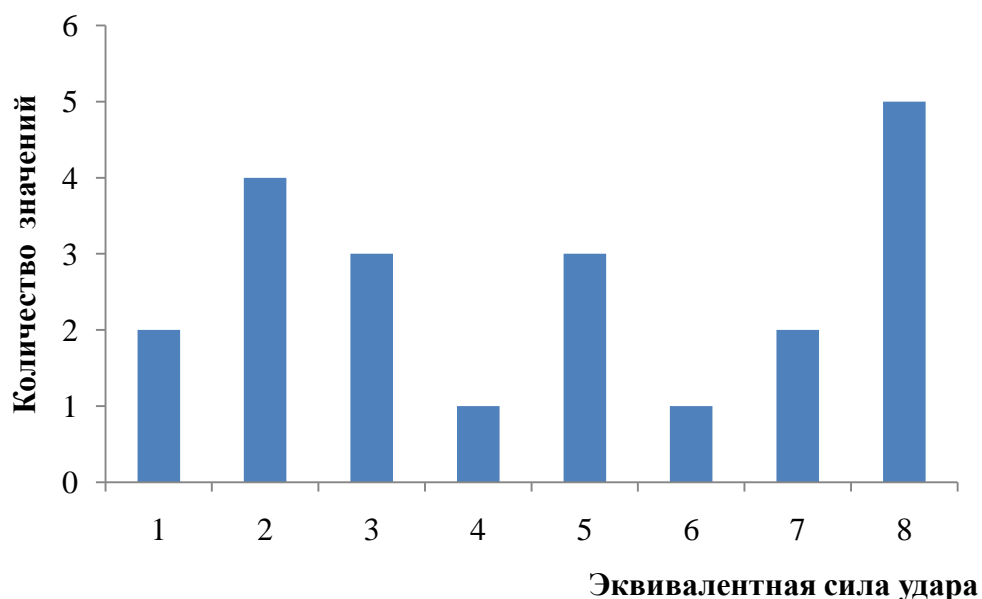


Рисунок 5 - Гистограмма распределения с неконтролируемой силой ударов.

Как можно заметить по гистограмме, сила для каждого удара случайна, строгого отклонения в сторону сильных или слабых ударов нет. Это еще раз доказывает сложность получения большой серии ударов (больше 20) одинаковой силы, даже в лабораторных условиях.

Возможна дальнейшая модернизация этого устройства с применением микропроцессорной техники [7 – 8]. Это позволит не только заменить микросхемы компараторов и памяти одним элементом, но и включать лишь один светодиод,

в зависимости от силы удара, без включения всех предыдущих. Это позволит не только сэкономить на размерах устройства, но и на сервисном обслуживании светодиодов.

Выводы:

1. Разработано и изготовлено устройство, позволяющее оценить силу удара по поверхности при выполнении виброакустического контроля.

2. Устройство было использовано при стендовых испытаниях металлополимерных анкеров.

3. Имеется возможность дальнейшей модернизации устройства с использованием микропроцессоров. Это упростит схему устройства, так как один микропроцессор заменит микросхемы компараторов и памяти, повысит быстродействие и позволит сэкономить потребляемый ток.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иориш, Ю. И. Виброметрия. Издание второе, переработанное и дополненное / Ю. И. Иориш // М.: Гос. научно-тех. изд-во машиностроительной лит-ры, 1963 – 771 с.
2. Шарапов, В. М. Пьезоэлектрические датчики / В. М. Шарапов, М. П. Мусиенко, Е. В. Шарапова // Под ред. В.М. Шарапова – М.: Техносфера, 2006 – 632 с.
3. Янчич, В. В. Пьезоэлектрические датчики вибрационного и ударного ускорения / В. В. Янчич // Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2008 – 77 с.
4. Пат. RU 2533539, МПК G01P15/09, H01L41/083. Пьезоэлектрический датчик удара / О. В. Малышкина, И. А. Каплунов, В. А. Головнин, Г. Г. Дольников, Н. В. Иноземцев // Заявл. 27.05.2013; Опубликовано 20.11.2014. – 9 с.
5. Hareendran, T. K. Low-cost impact sensor uses piezoelectric device / Т. К. Hareendran // *Electronic Design*. – 2011. - №59. – С. 68 – 71.
6. New tools for structural testing: piezoelectric hammers and acceleration rate sensors / С. К. Lee, С.Т. Lin, С.С. Hsiao, W.C. Liaw // *Guidance, Control, and Dynamics*. – 1998. - №21. – С. 692 – 697.
7. Гомилко, И. В. Микроконтроллерные устройства / И. В. Гомилко, А. С. Тонкошкур, А. В. Коваленко. - Днепропетровск: ДНУ, 2011 – 264 с.
8. Гомилко, И. В. Применение микропроцессоров / И. В. Гомилко, А. С. Тонкошкур, А. В. Коваленко. - Днепропетровск: ДНУ, 2013 – 428 с.

REFERENCES

1. Iorish, Yu. I. (1963), *Vibrometriya* [Vibrometry], 2nd ed., Scientific and technical state publishing house of engineering literature, Moscow, USSR.
2. Sharapov, V. M., Musienko, M. P. and Sharapova, E. V. (2006), *Pezoelektricheskie datchiki* [Piezoelectric sensors], Tehnosfera, Moscow, Russia.
3. Yanchich, V. V. (2008), *Pezoelektricheskie datchiki vibratsionnogo i udarnogo uskoreniya* [Piezoelectric sensors of vibration and shock acceleration], SFU, Rostov-on-Don, Russia.
4. Malyshkina, O.V., Kaplunov, I.A., Golovnin, V.A., Dolnikov, G.G. and Inozemtsev, N.V. (2014), *Pe-zoelektricheskiy datchik udara* [Piezoelectric shock sensor], State register of Patent of Russia, Moscow, Russia, RU, pat. №2533539.
5. Hareendran, T. K. (2011), “Low-Cost Impact Sensor Uses Piezoelectric Device”, *Electronic Design*, vol. 59, Aug 22, pp. 68 – 71.
6. Lee, C.K., Lin, C.T., Hsiao, C.C. and Liaw, W.C. (1998), “New tools for structural testing: piezoelectric hammers and acceleration rate sensors”, *Guidance, Control, and Dynamics*, vol. 21, no. 5, pp. 692 – 697.
7. Gomilko, I. V., Tonkoshkur, A. S. and Kovalenko, A. V. (2011), *Mikrokontrolernye ustroystva* [Microcontroller devices], DNU, Dnepropetrovsk, Ukraine.
8. Gomilko, I.V., Tonkoshkur, A.S. and Kovalenko, A.V. (2013), *Primenenie mikroprotessorov* [Application of microprocessors], DNU, Dnepropetrovsk, Ukraine.

Об авторе

Красовский Игорь Святославович, магистр, инженер в отделе механики горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепр, Украина, i.s.krasovskiy@gmail.com.

About the author

Krasovskiy Igor Svyatoslavovich, Master of Science, Engineer in Rock Mechanics Department, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepr, Ukraine, i.s.krasovskiy@gmail.com.

Анотація. Предмет досліджень – пристрій для визначення сили удару при динамічних випробуваннях конструкцій. Мета роботи – створення пристрою, що дозволяє оцінити силу удару по геокомпозитній конструкції для визначення співвідношень між силою удару і параметрами коливальних процесів в досліджуваній конструкції.

Розроблено і представлено конструкцію пристрою, який дозволяє визначити силу удару по поверхні та візуально відобразити отриману інформацію. В якості первинного перетворювача використовувався ударний п'єзоакселерометр. Отриманий з п'єзоакселерометра сигнал подається на компаратори для порівняння рівня сигналу. Оброблений сигнал потім надходить на мікросхеми пам'яті для зберігання інформації до її фіксації, обнулення схем пам'яті відбувається після натискання кнопки. Для індикації сили удару використовується блок з восьми світлодіодів.

Ключові слова: пристрій, п'єзоакселерометр, геокомпозитна конструкція, індикатор удару, сила удару.

Abstract. Subject of the research is a device for determining shock force during the structures dynamic testing. Objective of the research is to create a device, which would be able to evaluate a shock force on the geocomposite structure for determining interdependence between the shock force and parameters of oscillating processes in the tested structure.

The article presents design of the new developed device, which can measure a shock force on the structure surface and visualize the acquired information. A shock piezoaccelerometer is used as a primary device for measuring the shock force. The obtained signal is then fed to comparators for comparing the signal level. The processed signal is then stored in the memory chips till the shock force value is registered. A special button is assigned to clear the memory banks. Block of eight LEDs displays the shock force value.

Keywords: device, piezoaccelerometer, geocomposite structure, shock force indicator, shock force.

Статья поступила в редакцию 20.09.2016

Рекомендовано к публикации в д-ром технических наук Паламарчук Т.А.