



УДК 62.523.2

© К. А. Васин, Е. К. Едыгенов, Н. У. Алдияров, В. В. Воронин, 2019

МЕТОДИКА ЦИФРОВОГО ИЗМЕРЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕЙ МАШИНЫ ДЛЯ БЕЗВЗРЫВНОГО РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Васин К. А. – с.н.с., e-mail: kvas2500@mail.ru; *Едыгенов Е. К.* - д-р техн. наук, рук. отд. «Геотехники», e-mail: e.k.edigenov@rambler.ru (Институт горного дела им. Д.А. Кунаева, Казахстан); *Алдияров Н. У.* - канд. физ.-мат. наук, ассоц. проф. кафедры «Робототехника и технические средства автоматизации», e-mail: nahip16@mail.ru (КазННТУ, Казахстан); *Воронин В. В.* - д-р техн. наук, проф. кафедры «Автоматика и системотехника», e-mail: 004183vv@mail.ru (ТОГУ)

В статье предложена методика микропроцессорного измерения динамических характеристик подвижной части с последующей обработкой средствами пакета «Matlab» и вычислением энергии удара породоразрушающей машины с линейными электромагнитными двигателями для безвзрывного разрушения горных пород.

Ключевые слова: микропроцессорный контроллер, цифровой датчик, измерение, динамические характеристики, пакет «Matlab», энергия удара, электромагнитный молот.

Введение

В институте горного дела им. Д.А. Кунаева, в лаборатории «Разрушения и доставки горных пород» по программе ПЦФ BR05236712 «Технологическая модернизация горных производств на основе перехода к цифровой экономике» ведутся работы по созданию безвзрывной технологии и горных машин для добычи полезных ископаемых, обеспечивающих сейсмическую и экологическую безопасность при ведении горных работ.

В лаборатории был разработан технический проект породоразрушающей машины с тремя электромагнитными двигателями, один двигатель работает на подъем бойка, а два спаренных двигателя работают на разгон бойка.

Опытный образец электромагнитного молота (ЭММ) предназначенный для безвзрывного разрушения горных пород представлен на рис. 1.

В статьях [1, 3] описан принцип работы электромагнитного молота, а в статье [2] приведена экспресс методика определения динамических и энергетических характеристик подвижной части электромагнитного молота. Для уточнения научных исследований динамики движения подвижной части элект-



тромагнитного молота и для увеличения точности измерения, авторами данной статьи разработана микропроцессорная система измерения динамических параметров с последующим вычислением энергетических характеристик опытного образца электромагнитного молота в среде «Matlab». Результаты исследования этой микропроцессорной системы обсуждаются в данной работе.



Рис. 1. Испытания электромагнитного молота на экскаваторе и на стенде

Аппаратно-программный комплекс системы

Микропроцессорная система измерения динамических параметров опытного образца электромагнитного молота содержит микропроцессорный контроллер «Arduino Mega 2560» и цифровой датчик для измерения высоты положения подвижной части ЭММ, которые представлены на рис. 2.



Рис. 2. Контроллер «Arduino Mega 2560» и цифровой датчик



Цифровой датчик расстояния - модуль HC-SR04 использует акустическое ультразвуковое излучение для определения расстояния до объекта. Этот бесконтактный датчик обеспечивает высокую точность и стабильность измерений. Диапазон измерений составляет: от 2 см до 400 см. На показания датчика практически не влияют солнечное излучение и электромагнитные шумы. Принцип работы цифрового датчика измерения расстояния до объекта основан на измерении временной задержки отраженного ультразвукового сигнала с частотой 40 кГц и представлен на рис. 3.

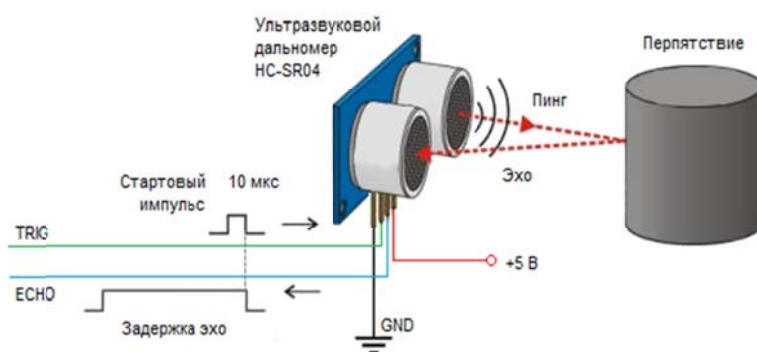


Рис. 3. Ультразвуковой датчик измерения расстояния до объекта

На рис. 4 изображены расположение микропроцессорного ра - №1, датчика высоты - №2 и датчика положения якоря - №5.

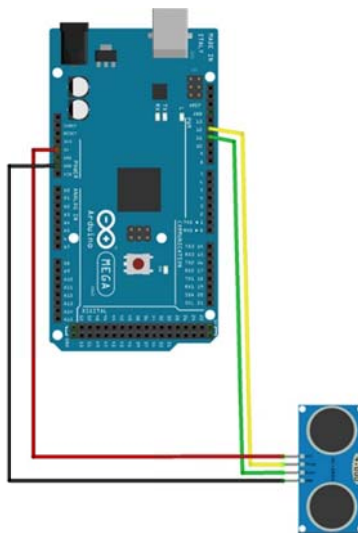
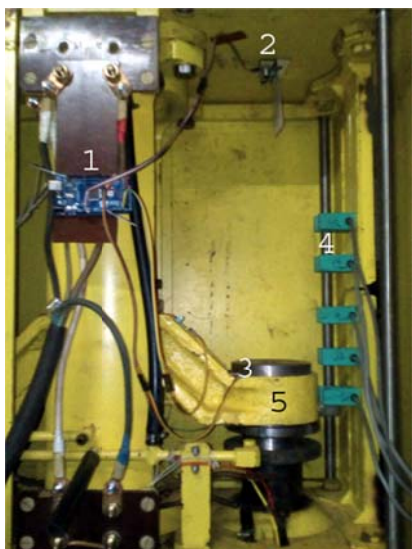


Рис. 4. Установка на ЭММ и подключение цифрового датчика к микропроцессору



Ниже приведен фрагмент программного кода измерения и передачи в ноутбук текущего времени (в миллисекундах) и высоты якоря (в миллиметрах).

```
const int Trig = 12;
const int Echo = 11
long t=0; // time in msec
void setup() {
  pinMode(Trig, OUTPUT); pinMode(Echo, INPUT); Serial.begin(19200);
  accel.initialize(); }
  unsigned int time_us=0;  unsigned int distance=0;
void loop() {
  digitalWrite(Trig, HIGH); // Подаем сигнал на выход микроконтроллера
  delayMicroseconds(10); // Удерживаем 10 микросекунд
  digitalWrite(Trig, LOW); // Затем убираем
  time_us=pulseIn(Echo, HIGH); // Замеряем длину импульса
  distance=time_us/5.8; // Пересчитываем в миллиметры
  t=millis(); Serial.print(t); Serial.print("\t");
  Serial.print(distance); // Выводим на последовательный порт
}
```

Организация эксперимента и обработка его результатов

В соответствие с методикой исследования динамических характеристик микропроцессорной системы спланировано и было проведено 3 эксперимента, а именно:

- 1-й – свободное падение подвижной части;
- 2-й – падение подвижной части при тяге электромагнитных катушек рабочего хода (нижние катушки) – сила тока - 70а;
- 3-й – падение подвижной части при тяге электромагнитных катушек рабочего хода (нижние катушки) – сила тока - 140а.

Переданные в подсистему обработки (ноутбук) экспериментальные данные были записаны в виде массивов и закружены в рабочее окно программной среды «Matlab». Ниже приводятся численные значения этих массивов:

```
Xt=[0,11,21,31,41,51,60,70,81,91,101,111,122,132,142,152,162,173,183,193,
204,215,225,235,246,256,266,276,285,296];
Yt=[319,318,317,316,310,313,309,300,300,290,287,276,271,260,244,238,225,
213,198,183,168,153,134,115,96,83,60,40,24,0];
Xt70=[0,10,20,29,40,52,63,73,84,96,108,119,130,143,154,165,175,186,196];
Yt70=[305,303,301,297,292,291,279,268,256,239,226,201,174,152,126,95,68,
50,17];
Xt140=[0,10,20,31,42,53,64,76,88,99,111,122,134,146,156];
Yt140=[274,270,264,264,251,237,222,207,192,170,142,108,77,40,7].
```

Окно среды «Matlab» с результатами измерений микропроцессорной системой в виде массивов и построение графиков зависимостей изменения высоты якоря (мм) от времени (мсек) приведено на рис. 5.

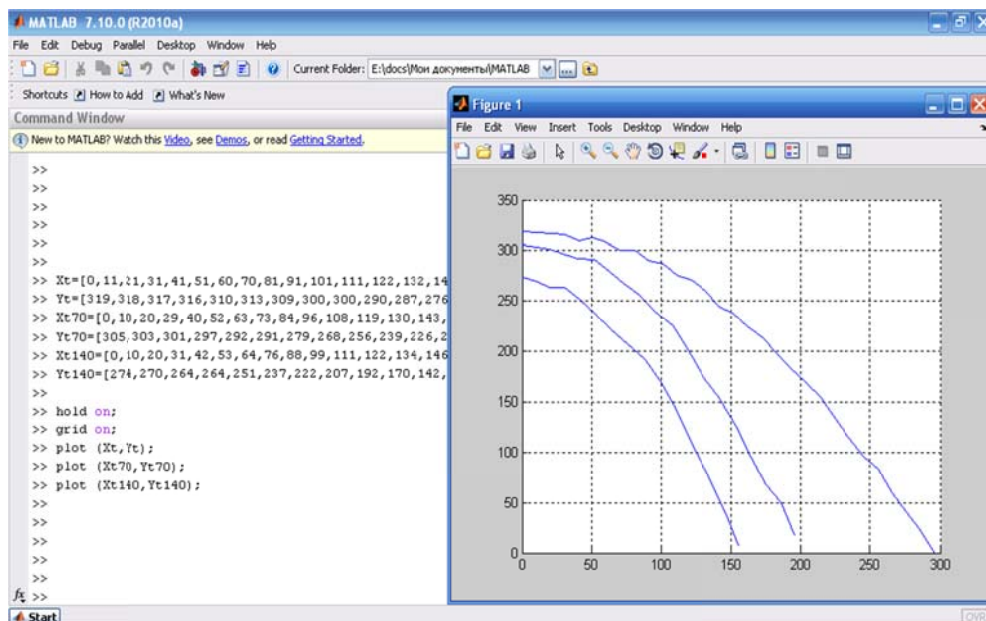


Рис. 5. Построение графиков зависимостей изменения высоты якоря (мм) от времени (мсек) в 3-х экспериментах

На графиках рис. 5 видно, что датчик измерения высоты якоря имеет случайные погрешности. Для их устранения обработаем массивы данных при помощи функции аппроксимации полиномом 2-й степени:

```
>> p = polyfit(Xt,Yt,2);  
>> f = polyval(p,Xt);  
>> p70 = polyfit(Xt70,Yt70,2);  
>> f70 = polyval(p70,Xt70);  
>> p140 = polyfit(Xt140,Yt140,2);  
>> f140 = polyval(p140,Xt140).
```

Строим графики аппроксимированных зависимостей изменения высоты якоря от времени:

```
>> hold on;  
>> grid on;  
>> plot (Xt,f);  
>> plot (Xt70,f70);  
>> plot (Xt140,f140);  
>> hold off.
```

Окно среды «Matlab» с результатами аппроксимации полиномом 2-й степени и графиками аппроксимированных зависимостей изменения высоты якоря от времени приведено на рис. 6.

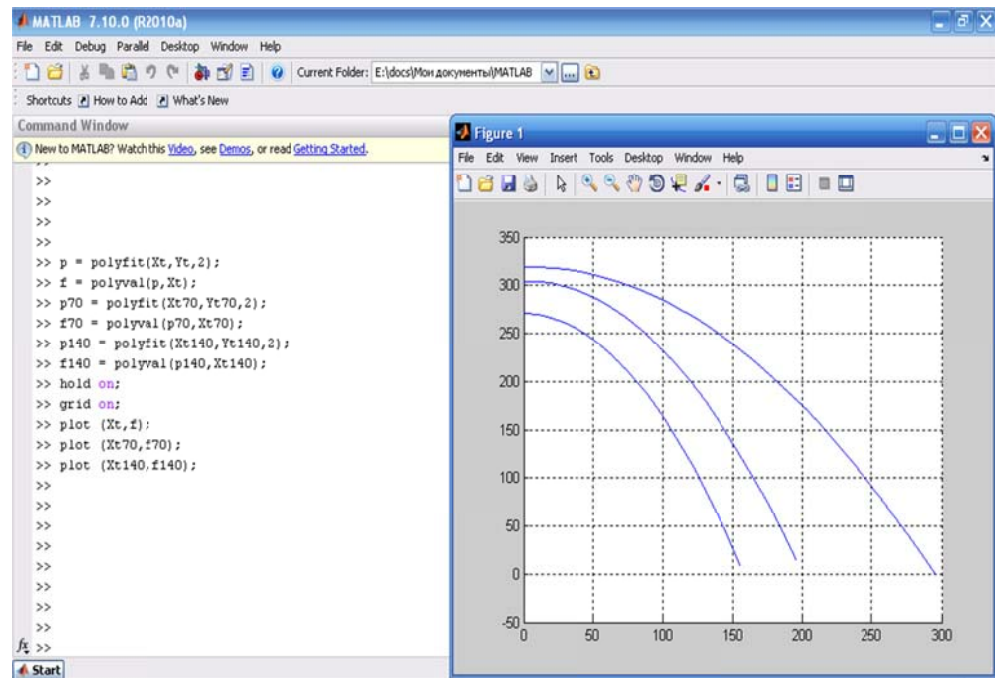


Рис. 6. Построение графиков аппроксимированных зависимостей изменения высоты якоря (мм) от времени (мсек) в 3-х экспериментах

Энергия удара молота вычисляется по формуле:

$$E = \frac{m * V^2}{2}; \quad (1)$$

где E – энергия единичного удара подвижной части (Дж); m – масса подвижной части (кг); V – предударная скорость движения подвижной части (м/сек).

Для вычисления энергии удара во всех 3-х экспериментах необходимо вычислить предударную скорость якоря. Ниже приведен фрагмент программного кода для вычисления скорости движения якоря (м/с):

```
>> Xd=diff(Xt); % разницы соседних значений временных отметок  
>> fd=abs(diff(f)); % разницы соседних значений высоты якоря  
>> V= (fd./Xd); % скорости якоря на каждом измеренном участке  
>> Vu=V(end); % выбираем предударное значение скорости якоря  
>> Vu = 2.1634 % м/с  
>> Eu=115*Vu^2; % при массе 230 кг  
>> Eu = 538 % джоулей
```

Таким образом, энергия удара электромагнитного молота при свободном падении подвижной части составляет 538 джоуля. Аналогичным образом вычисляем: энергию удара ЭММ при тяге электромагнитами с током 70а - 1010



джоуля; энергию удара ЭММ при тяге электромагнитами с током 140а - 1225 джоуля. Результаты вычислений занесены в табл. 1.

Таблица 1

Вычисленные предупредные скорости и энергии ударов ЭММ			
№	Эксперименты	V (м/с)	E (дж)
1	Свободное падение	2.1634	538
2	Падение при тяге нижними катушками (70а)	2.9642	1010
3	Падение при тяге нижними катушками (140а)	3.2633	1225

Строим графики зависимости изменения скорости движения подвижной части ЭММ (м/с) от времени (мсек).

```
>> hold on;
>> grid on;
>> plot (Xvt,V);
>> plot (Xvt70,V7);
>> plot (Xvt140,V14);
```

Графики зависимости изменения скорости движения подвижной части ЭММ (м/с) от времени (мсек) отражены на рис. 7.

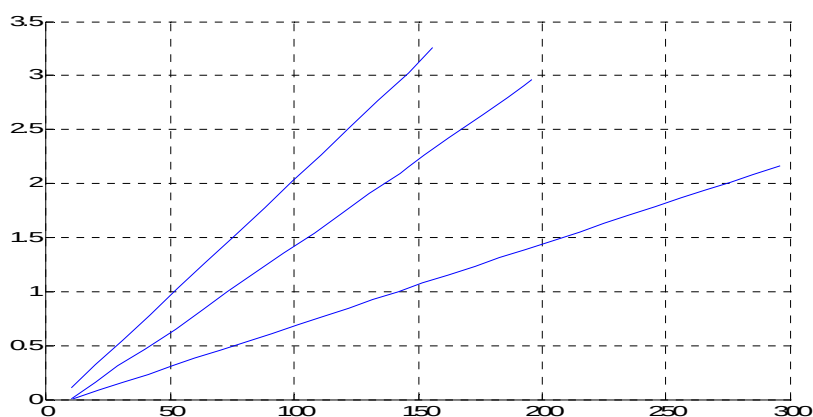


Рис. 7. Графики зависимости изменения скорости движения подвижной части ЭММ (м/с) от времени (мсек)

Полученные графики скорости движения подвижной части ЭММ при указанных экспериментальных условиях показывают влияние силы тока в электромагнитных катушках рабочего хода ЭММ на динамические характеристики, которые в свою очередь влияют на энергию удара при безвзрывном разрушении горных пород. Эти результаты можно использовать как необходимую базу для повышения эффективности ЭММ.

Дальнейшее направление исследований планируется в нескольких вариантах, один из которых связан с разработкой системы контроля работоспособности ЭММ [4].



Библиографические ссылки

1. *Development of an electronic control module and research of dynamic and power characteristics of an electromagnetic hammer for destruction of boulders* / Vasin K., Yedygenov Y., Aldiyarov N., Voronin V. // VII International Scientific Conference "Problems of Complex Development of Georesources" (PCDG 2018). Khabarovsk, Vol. 56. e-ISSN: 2267-1242, id.01024, DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185601024>

2. Едыгенов Е.К., Васин К.А., Ляшков В.И. Исследование динамических и энергетических характеристик экспериментального электромагнитного молота // Тр. Научно-техническое обеспечение горного производства / ИГД им. Д. А. Кунаева. Алматы, 2014. Т. 85. С. 118-127. URL: <http://igd.com.kz/media/85.pdf> (дата обращения: 10.09.2019).

3. Yedygenov E., Lyashkov V. Electromagnetic rock breaker for non-explosive rocks breaking // 20th International Symposium on planning of mining and selection of equipment of MPES 2011. Almaty, 2011.

4. Шалобанов С.В., Шалобанов С.С. Алгоритм поиска дефектов в системах автоматического управления с использованием смены позиции входного сигнала // Информатика и системы управления. 2017. № 2. С. 57-63.

Title: Digital Measurement Technique Dynamic and Energy Characteristics of the Break-Destructive Machine for Unlimited Destruction of Mountain Breeds

Authors' affiliation:

Vasin K. A. – Institute of Mining named after D.A. Kunayev, Almaty, Kazakhstan.

Edygenov E. K. – Institute of Mining named after D.A. Kunayev, Almaty, Kazakhstan.

Aldiyarov N. U. – Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan.

Voronin V. V. – Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation.

Abstract: The article proposes a microprocessor-based method for measuring the dynamic characteristics of the moving part with the subsequent processing by means of the Matlab package and calculating the impact energy of a rock-breaking machine with linear electromagnetic motors for non-explosive destruction of rocks.

Key words: microprocessor controller, digital sensor, measurement, dynamic characteristics, "Matlab" package, impact energy, electromagnetic hammer.