

## Прототип установки для реабилитации пациентов с заболеваниями позвоночника с возможностью регулирования усилия

Шаманин Андрей Олегович, студент  
 Пашнин Сергей Владимирович, старший преподаватель  
 Кацай Дмитрий Алексеевич, доцент  
 Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск)

**Аннотация.** В статье рассматривается прототип тяговой лебедки для медицинской установки реабилитации пациентов с заболеваниями шейного отдела позвоночника с возможностью регулирования усилия, прикладываемого к пациенту, на базе микроконтроллера Arduino и тензометрического датчика.

**Ключевые слова:** тяговая лебедка, регулятор, тензодатчик, Arduino, лечение позвоночника.

В медицине существует такое понятие, как «тракция». Под этим понятием подразумевается набор методов для длительного растяжения конечностей или мышц пациента. Метод применяют при лечении переломов, для устранения дефектов позвоночника. Особенно эффективен метод при лечении дефектов шейного отдела. Процедура лечения заключается в методичном растяжении необходимого участка тела пациента. Эту процедуру возможно автоматизировать с применением тяговой лебедки, которая будет растягивать конечность или отдел позвоночника, закрепленный удерживающими ремнями.

В состав тяговой лебедки включен ограничитель усилия натяжения троса, наматываемого на рабочий барабан. Для ограничения усилия требуется сформировать управление двигателем постоянного тока с ограничением, которое можно реализовать с помощью тензометрического датчика растяжения/сжатия, установленного в кинематическую схему троса. Для контроля усилия можно использовать датчик вращающего момента, установленный между валом двигателя и барабана лебедки. Момент  $M$  связан с усилием  $F$  формулой:  $M = F \cdot r$ , где  $r$  – радиус тягового барабана лебедки.

Для моделирования работы тяговой лебедки с ограничением усилия, был собран прототип на базе микроконтроллера Arduino UNO. В качестве исполнительного двигателя использован мотор-редуктор постоянного тока. Двигатель лебедки подключен к Arduino через драйвер двигателя на базе микросхемы L293D. Микросхема представляет собой H-мост на MOSFET транзисторах, позволяющий менять направление вращения двигателя.

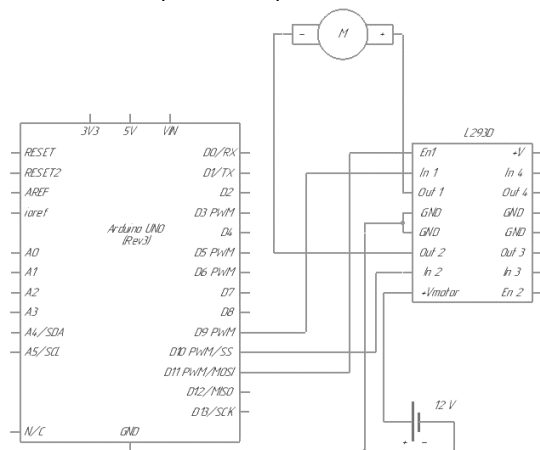


Рис. 1. Схема подключения двигателя

Так как напряжение, подаваемое с платы Arduino, ограничено значением 5 вольт, то в данном драйвере воз-

можно подключение внешнего источника питания для работы двигателя с напряжением от 4,5 до 36 В и выходным током 600 мА. Схема подключения драйвера и двигателя, представленная на рисунке 1, сформирована на основе данных, взятых из [4].

В качестве тензометрического датчика используется датчик типа растяжения/сжатия с максимальным усилием до 10 Ньютонов. Данные с датчика передаются на микроконтроллер через плату на базе микросхемы HX711 (Рисунок 2). Микросхема представляет собой специализированный 24-х битный аналого-цифровой преобразователь, предназначенный для работы с тензометрическими датчиками [1].

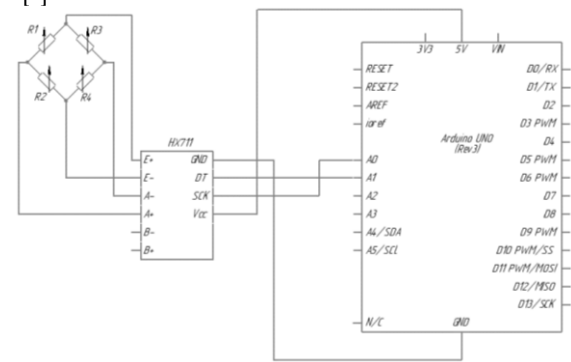


Рис. 2. Схема подключения микросхемы HX711 и тензодатчика

Перед началом работы тензодатчик был откалиброван. Код для калибровки взят из Arduino библиотеки «HX711.h», со значением калибровочного веса равным 135.

```

Калибровка
#include "HX711.h"
HX711 scale(3, 2);
unsigned int weight_of_standard = 135;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  scale.set_scale();
  scale.tare();
  Serial.println("GO");
  delay(10000);
  Serial.print("scale factor: ");
  Serial.println(scale.get_units(10)/weight_of_standard);
}

void loop() {}
  
```

Рис. 3. Код для калибровки тензодатчика

Для отображения информации о текущем усилии в реальном времени установлен модуль семисегментного индикатора на базе драйвера TM1637 (Рисунок 4)[2].

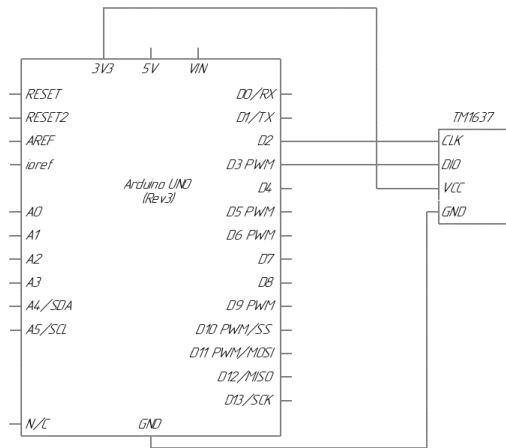


Рис. 4. Подключение семисегментного индикатора

Принципиальная схема установки представлена на рисунке 5. Внешний вид собранной установки – на рисунке 6.

Принцип работы установки следующий: двигатель стартует с пониженного напряжения управления с последующим его плавным увеличением, что приводит к вращению барабана лебедки и наматыванию на него условно нерастяжимого троса, соединенного вторым концом с тензодатчиком. По сигналам, поступающим с тензодатчика на АЦП, в микроконтроллере вычисляется мгновенное значение усилия. В программе реализован следящий режим работы двигателя, при котором мгновенное значение усилия находится в допустимом диапазоне. Поведение двигателя в процессе работы следящей системы проявляется в реверсивном характере движения его ротора: при превышении допустимого усилия меняется направление вращения ротора до тех пор, пока величина усилия не окажется в допустимом диапазоне при остановившемся роторе.

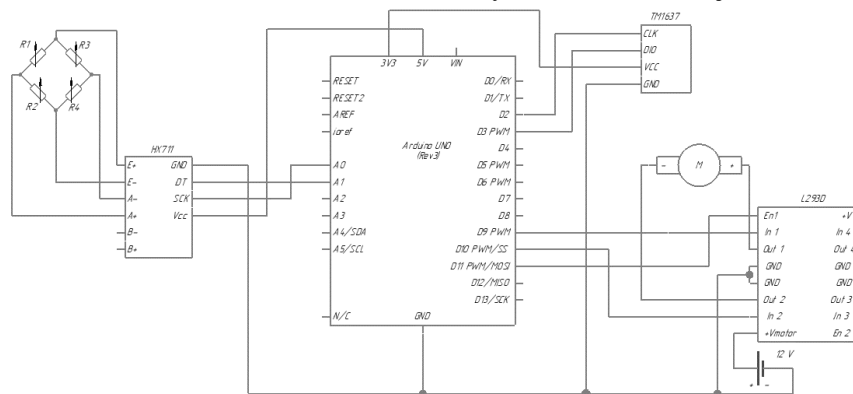


Рис. 5. Принципиальная схема макета

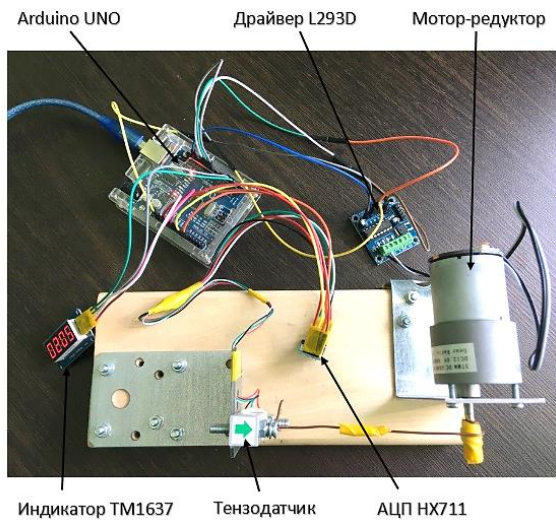


Рис. 6. Макет установки для проведения эксперимента

Блок схема исполняющей программы, представлена на рисунке 7.

С помощью функции millis(), которая возвращает время выполнения программы от ее начала в размерности миллисекунд, можно определить скорость срабатывания системы [3]. Экспериментально полученное время коррективы момента или остановки барабана составляет около 90 мс. Погрешность измерения усилия с помощью тензодатчика не превышает 0,5 %.

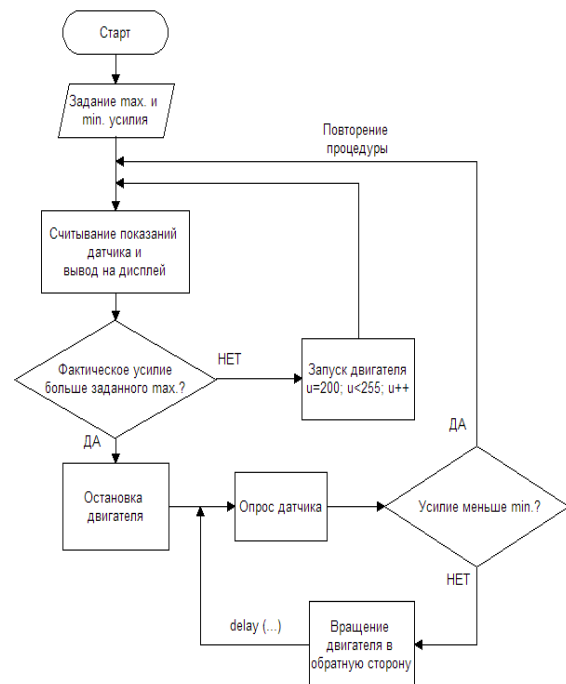


Рис. 7. Блок-схема программы

Погрешность можно уменьшить путем вычисления усилия по схеме скользящего среднего значения по данным, получаемым с тензодатчика, но при этом увеличивается время формирования управляющего сигнала для остановки двигателя.

**Литература:**

1. Весы на Arduino и калибровка тензодатчика с HX711 [Электронный ресурс] URL: <http://arduino-lab.ru/index.php/2017/07/03/vesy-na-arduino-i-kalibrovka-tenzodatchika-s-hx711/> (дата обращения: 23.05.2018).
2. Управление TM1637 Arduino [Электронный ресурс] // Робототехника программирование, 2016. 7 марта. URL: <http://роботпро.рф/?p=41> (дата обращения: 23.05.2018).
3. millis(). Аппаратная платформа Arduino [Электронный ресурс] URL: <http://arduino.ru/Reference/Millis> (дата обращения: 23.05.2018).
4. L293D QUADRUPLE HALF-H DRIVER. [Электронный ресурс] // Texas Instruments, январь 2016. URL: [http://www.datasheetlib.com/datasheet/255858/l293d\\_ti-texas-instruments.html](http://www.datasheetlib.com/datasheet/255858/l293d_ti-texas-instruments.html). (дата обращения: 23.05.2018).