

УДК 621.876

Михайлов Е. П., к.т.н.; Вудвуд А. Н., Кнюх А. Б.

Одесский национальный политехнический университет

СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ПРУЖИННО-ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТОРМОЗА

Аннотация: Разработана конструкция экспериментального стенда для испытаний пружинно-гидравлического тормоза. Проведено обоснование, конфигурация и наладка аппаратной части стенда, разработана программа для снятия, обработки и хранения результатов испытания пружинно-гидравлического тормоза.

Ключевые слова: экспериментальный стенд, пружинно-гидравлический тормоз, контроллер.

Анотація: Розроблено конструкцію експериментального стенду для випробувань пружинно-гідравлічного гальма. Проведено обґрунтування, конфігурація і наладка апаратної частини стенду, розроблена програма для зняття, обробки і зберігання результатів випробування пружинно-гідравлічного гальма.

Ключові слова: експериментальний стенд, пружинно-гідравлічне гальмо, контролер.

Abstract: The design of the experimental stand for testing spring-hydraulic brakes has been developed. The substantiation, configuration and adjustment of the hardware of the stand were carried out, a program was developed for removing, processing and storing the results of testing spring-hydraulic brakes.

Keywords: experimental stand, spring-hydraulic brake, controller.

Постановка научной проблемы

При разработке новых, нестандартных типов тормозных устройств возникает острая необходимость их опытной проверки. В процессе торможения и срабатывания тормозного устройства возникает большое число факторов, которые влияют на работоспособность тормозного устройства и в первую очередь на безопасность работы машины на которую установлен тормоз.

Успех экспериментального исследования зависит от того, насколько правильно составлена методика испытаний и обеспечена точность измерений. При этом необходимо обеспечить определение основных показателей тормозного устройства и оценить влияние отдельных факторов на его работоспособность. Исследование

©Михайлов Е. П., Вудвуд А. Н., Кнюх А. Б.

работоспособности и основных параметров тормоза на кране сопряжено с опасностью повреждения крана или аварии, поэтому испытание тормоза на экспериментальном стенде является важным этапом в разработке его серийного образца.

Цель и задачи исследования

Целью настоящей работы является создание экспериментального стенда для объективной оценки работоспособности пружинно-гидравлического тормоза и оценки характера и величины тормозной силы развиваемого тормозом.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- изготовить экспериментальную установку для испытания пружинно-гидравлического тормоза и составить схему подключения датчиков для исследования их выходных параметров;
- выполнить наладку и проверку аппаратной и программной части экспериментального стенда.

Основной материал исследования

В процессе выполнения работы большой объем исследований проводился теоретически с использованием вычислительной техники и прикладного программного обеспечения, поэтому для подтверждения работоспособности и правильности теоретически полученных характеристик пружинно-гидравлического тормоза были проведены экспериментальные исследования опытного образца.

Экспериментальные исследования пружинно-гидравлического тормоза проводились на экспериментальной стенде, установленной на кафедре подъемно-транспортного и робототехнического оборудования в одесском национальном политехническом университете [1].

Экспериментальный стенд для испытаний пружинно-гидравлического тормоза (рис.1.1) представляет собой гидравлический пресс 1ДМ-68А с нижней подвижной платформой на которую устанавливался тормоз. Пресс 1ДМ-68А позволяет устанавливать испытуемые объекты длиной $L = 500$ мм, ход нижней платформы (высота подъема) $S = 250$ мм, сила сжатия 80 кН при скорости 0,011 м/с. В состав стенда входит силоизмерительная аппаратура (тензодатчик), программируемый логический контроллер (ПЛК) и персональный компьютер для регистрации, обработки и хранения результатов эксперимента.

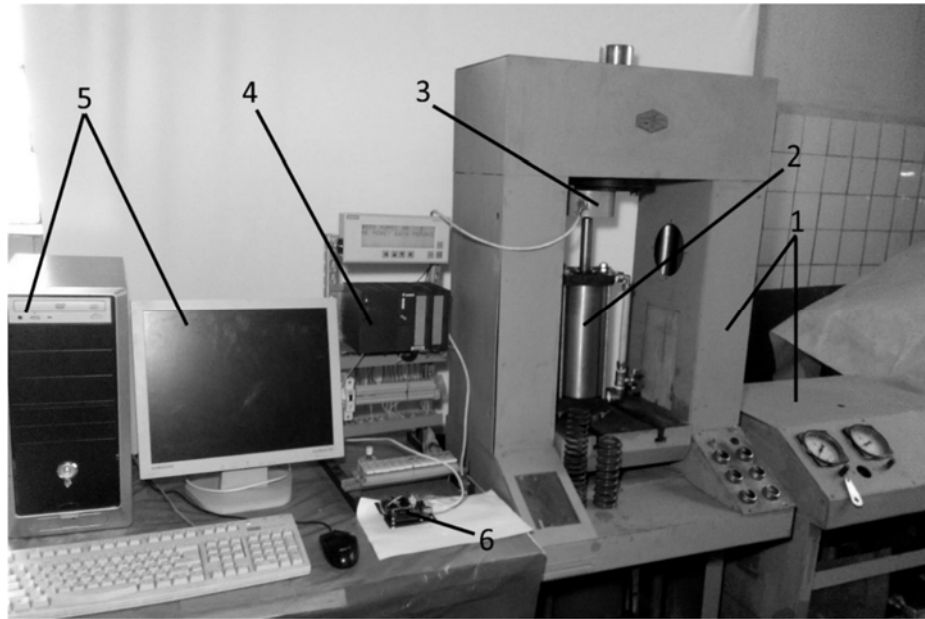


Рисунок - 1.1. Экспериментальный стенд для испытания пружинно-гидравлического тормоза: 1 – пресс, 2 – пружинно-гидравлический тормоз, 3 – датчик тензометрический, 4 – программируемый логический контроллер (ПЛК), 5 – персональный компьютер, 6 – мини-ПЛК.

С целью обеспечения достоверности результатов исследований изготовлена натурная модель пружинно-гидравлического тормоза, установка которой на прессе показаны на рис. 5.1.

Опытный образец пружинно-гидравлического тормоза 2 устанавливается в пресс 1, на шток прессы крепится через сферический упор тензодатчик 3. Тензодатчик соединяется через силоизмерительный модуль с ПЛК 4 или 6, которые посредством шины передают результаты измерений в персональный компьютер. При включении прессы на шток начинает действовать сила, сжимающая пружину (пакет пружин) и заставляющая перетекать жидкость из поршневой полости в штоковую (обратный клапан открыт) в пружинно-гидравлическом тормозе. Данную силу сжатия и характер ее нарастания регистрирует ПЛК 6 через тензодатчик 3, параллельно выводя осциллограмму силы на монитор персонального компьютера 5. По окончании срабатывания тормоза 2 на нем закрывается обратный клапан и распределитель перекрывая отток жидкости обратно из штоковой полости в поршневую, тем самым препятствуя выдвигению штока. Платформа прессы при этом опускается в исходное положение. Эксперимент проводится несколько раз для каждой пружины для получения повторяемости результатов.

В качестве источника получения информации о характере изменения нагрузки выбран тензометрический датчик 1909 ДСТ-1,0-

0,1 [2] основные технические характеристики, которого приведены в таблице 1.1, общий вид на рис. 1.3 и конструктивная схема на рис. 1.4. Тензометрические датчики позволяют с высокой точностью измерять нагрузку во всем диапазоне [3], что обеспечивает возможность исследования работы тормоза в процессе его срабатывания.



Рисунок – 1.2. Установка пружинно-гидравлического тормоза на прессе (1 – тормоз; 2 – тензометрический датчик).



Рисунок – 5.3. Датчик тензометрический

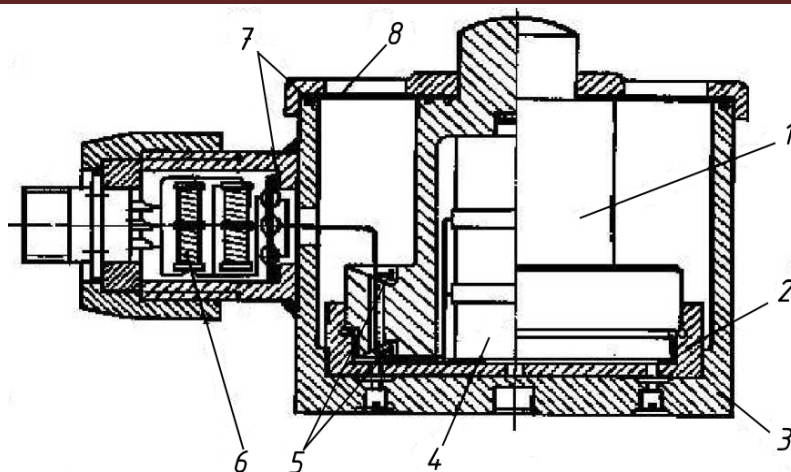


Рисунок – 5.4 Конструктивная схема тензометрического датчика 1 - упругий элемент, 2 - подставка, 3 - корпус, 4 - стержень с резисторами термокомпенсации, 5 – тензорезисторы, 6 - балансировочные резисторы, 7 – набор прокладок, 8 – мембрана.

Технические характеристики тензометрического датчика 1909 ДСТ-1,0-0,1

Таблица 5.1

Номинальное усилие, кН	1
Категория точности	0,1
Рабочий коэффициент передачи (РКП) при номинальной нагрузке, мВ/В	2,0
Начальный коэффициент передачи от номинального значения РКП, %	0,5
Напряжение питания постоянным током, В	24
Диапазон рабочих температур, °С	-50 ÷ +50

Силоизмерительный тензометрический датчик (рис. 1.4) состоит из упругого элемента 1 с прикрепленными тензорезисторами 5, опирающегося на подставку 2, и помещенного в герметичный корпус 3 вместе с подставкой. Во внутреннюю полость упругого элемента вставлен стержень 4 с резисторами термокомпенсации. Герметизация полости тензодатчика осуществляется податливой мембраной 8 и набором прокладок 7. В боковом патрубке корпуса расположены подстроенные, шунтирующие и балансировочные резисторы 6.

В основу принципа работы тензодатчика положена деформация изгиба осесимметричного упругого элемента под воздействием измеряемой нагрузки, в результате чего происходит растяжение-сжатие четырех тензорезисторов. Тензорезисторы намотаны попарно по винтовой линии с некоторым натягом на цилиндрические

поверхности упругого элемента. Эти поверхности расположены по обе стороны от нейтральной плоскости упругого элемента. Тензорезисторы выполнены из одинакового материала, имеют одинаковые размеры и величину омического сопротивления. При изгибе упругого элемента тензорезисторы воспринимают деформации, пропорциональные измеряемой нагрузке, и преобразуют их в электрический сигнал.

Отличительной особенностью таких тензодатчиков является то, что тензорезисторы наматываются с некоторым натягом на цилиндрические поверхности упругого элемента, а не крепятся к этим поверхностям при помощи клея. Таким образом, клей (слабое звено) не участвует в передаче деформации упругого элемента на тензорезисторы. Это обеспечивает высокую точность тензодатчика и его стабильность при работе.

Для обеспечения питания тензометрического датчика, сбора информации с него, преобразования измерительных сигналов в цифровой код с последующей регистрацией и обработкой информации на компьютере 5, использована измерительная установка на основе программируемого логического контроллера (ПЛК) фирмы Siemens [4] SIMATIC S7-300 (рис. 1.5). Такие ПЛК находят широкое применение в системах управления различных кранов, в том числе мостовых, так как дают возможность создавать распределенные системы управления с использованием децентрализованной периферии, подключаемой к основному процессорному модулю с помощью локальных сетей.



Рисунок – 1.5. Контроллер SIMATIC S7-300

В составе модулей ПЛК имеются весоизмерительные модули, например, SIWAREX U, предназначенные для использования с ПЛК SIMATIC S7-300 или в составе децентрализованной периферии SIMATIC ET 200M (удаленных модулей, подключаемых по последовательному каналу связи), а также SIWAREX CS, предназначенные для использования в составе децентрализованной периферии SIMATIC ET 200S [5].

Модули SIWAREX U обеспечивают высокую точность измерения сигналов с тензометрических датчиков (0,005%) и осуществляют до 50 измерений в секунду. Недостатком такого подхода является сравнительно высокая стоимость модулей, а также необходимость дополнительного программного обеспечения. Для простых случаев, когда не требуется обработка сигнала, могут использоваться модули аналоговых входов, обеспечивающие измерение аналоговых сигналов в диапазоне ± 80 мВ и подавление сетевой помехи.

Этот модуль имеет интегрирующий аналого-цифровой преобразователь с временем интегрирования 2,5 мс / 20 мс / 100 мс и разрешающей способностью, соответственно, 9 бит +1(знак) / 12 бит +1(знак) / 14 бит +1(знак). При этом результат измерения представляется в формате Integer (16-разрядное целое двоичное число со знаком). Цифровое значение, получаемое для максимального значения диапазона в каждом случае, составляет 27648 единиц. При этом уменьшение разрядности при уменьшении времени интегрирования осуществляется путем отбрасывания младших разрядов (округления). Для определения динамики процесса изменения измеряемого сигнала использовались режимы с временем интегрирования 2,5 мс и 20 мс, что дает возможность осуществлять, соответственно, до 400 и 50 измерений в секунду, с разрешающей способностью после округления: для 9 бит +1(знак) 432, для 12 бит+1(знак) 3456 единиц для максимального значения диапазона.

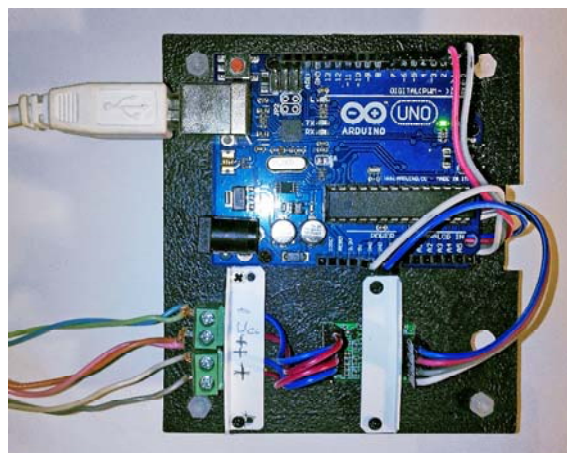
При времени интегрирования 20 мс, которое дает возможность и эффективно подавляет помехи от сети 50 Гц, для датчика с уровнем выходного сигнала 48 мВ для номинальной нагрузки получаем разрешающую способность 2074 единиц или погрешность 0,05%. При этом необходимо учитывать, что указанное значение соответствует в данном случае номинальному усилию 1 кН.

Если учесть, что погрешность датчика не превышает 0,1%, суммарная погрешность измерения составит 0,15%.

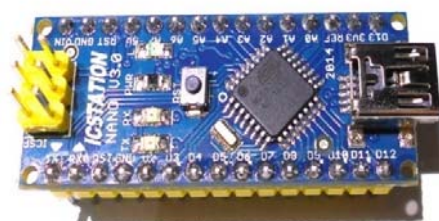
Однако такие измерители представляют собой стационарные устройства.

В случае необходимости использования мобильных компактных измерителей представляет интерес использование систем взвешивания на основе аппаратно-программного комплекса Arduino (рис. 1.6.) [6], в

составе которого имеется 24-х битный модуль взвешивания HX711, предназначенный для измерения сигнала тензометрических датчиков, выполненных в виде моста Уитстона. Схема подключения тензометрического датчика к контроллеру Arduino с помощью модуля взвешивания HX711 приведена на рис. 1.7. [7].



а)



б)

Рисунок – 1.6. Аппаратно-программный комплекс Arduino (а – Arduino UNO, б – Arduino Nano V3)

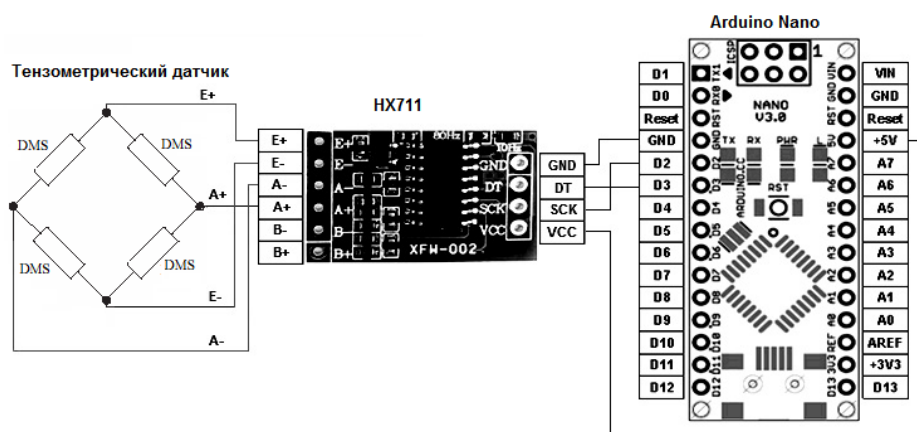


Рис. 1.7. Схема подключения тензометрического датчика к контроллеру Arduino с помощью модуля взвешивания HX711

Основой этой системы взвешивания является высокоточный двухканальный модуль, построенный на микросхеме НХ711 (рис. 1.8.), который имеет аналого-цифровой преобразователь с разрешением 24 бита, что обеспечивает высокую точность измерения. Модуль имеет 2 канала А и В, к которым можно подключить два тензодатчика. Для канала А коэффициент усиления равен 64 или 128 (для сигналов, соответственно, $\pm 40 \text{ мВ} \pm 20 \text{ мВ}$), для канала В коэффициент усиления равен 32 (для сигналов $\pm 80 \text{ мВ}$). Модуль работает с частотой измерения 10 или 80 Гц. Для упрощения программирования имеется библиотеки Arduino, например, библиотека НХ711-master, имеющая в своем составе функции измерения с возможностью усреднения нескольких значений, а также функции тарировки и калибровки.

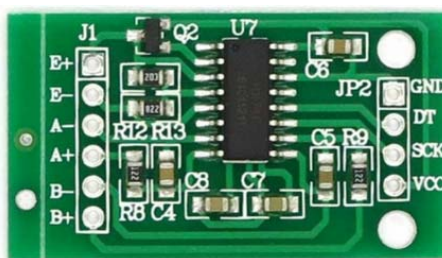


Рисунок – 1.8. НХ711- двухканальный модуль датчиков веса (тензодатчиков)

После наладки аппаратной части стенда (подключения датчика, контроллера и персонального компьютера) на основе разработанной методики производилась настройка программного обеспечения и написание управляющей программы.

Вывод

- разработан и собран экспериментальный стенд для обоснования работоспособности, проверки и испытания пружинно-гидравлического тормоза;

- для экспериментального стенда осуществлен подбор программируемого-логического контроллера Siemens SIMATIC S7-300 и тензометрического датчика 1909 ДСТ-1,0-0,1, а также разработана и испытана компактная модель контрольно -измерительной аппаратуры на основе мини-ПЛК Arduino и двухканального модуля датчиков веса НХ711.

- произведен контроль и оценка погрешности измерения ПЛК и тензодатчика, определена суммарная погрешность измерения, которая составляет 0,15%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лингур В. Н. Экспериментальная оценка параметров пружинно-шарикового буферного устройства / В. Н. Лингур, Е. П. Михайлов, А. Б. Кнюх // Підйомно-транспортна техніка. - 2015. - № 1. - С. 4-14.
2. Весы и весовое оборудование. Датчик тензометрический. <http://www.gaznoves.ru/info.htm>
3. И.В. Антонец. Методы расчета и моделирования упругих элементов: учебное пособие/ И.В. Антонец, А.П. Терешенок. – Ульяновск: УлГТУ, 2013. – 121 с.
4. SIMATIC Produkte für Totally Integrated Automation. Katalog ST 70 · 2013 - Siemens AG, 2013. – 1220 с.
5. [Электронный ресурс] URL: https://w3app.siemens.com/mcms/infocenter/dokumentencenter/sc/wt/Documentsu20Catalogs/WT10_en_kap03.pdf (дата звернення 21.07.2018)]
6. Константинов В. Д. Учебный аппаратно-программный комплекс на базе микропроцессорной платформы «Arduino» / В. Д. Константинов, С. А. Марочкин. // Автоматизация и информатизация в машиностроении: тематический сборник научных трудов. – 2015. – с.60–65.
7. 24-битный АЦП HX711 для тензодатчиков, весов, Arduino [Электронный ресурс] URL: <https://freedelivery.com.ua/arduino-100/moduli-137/24-bit-acp-hx711-dlya-tenzodatchikov-vesov-arduino-2881.html> (дата звернення 21.07.2018).]