

УДК (UDC) 629.4

РАЗРАБОТКА СИЛОИЗМЕРИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА  
ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ АВТОСЦЕПНЫХ УСТРОЙСТВ ТИПА СА-3A FORCE MEASURING DEVICE DEVELOPMENT  
FOR TESTING AUTO-COUPLING DEVICES OF THE SA-3 TYPEШалупина П.И.  
Shalupina P.I.Уральский государственный университет путей сообщения (Екатеринбург, Россия)  
Ural State University of Railway Transport

**Аннотация.** В статье представлены результаты разработки силоизмерительного устройства для испытания автосцепных устройств и поглощающих аппаратов подвижного состава железных дорог. Техническая идея устройства заключается в физическом измерении напряжений, действующих в характерных сечениях хвостовика автосцепного устройства, с последующим определением действующего усилия с помощью разработанной математической модели. Был построен тарировочный график силоизмерительного устройства. Оценено влияние дополнительных изгибающих моментов на точность измерения.

**Ключевые слова:** автосцепка, СА-3, поглощающий аппарат, силоизмерительное устройство

**Дата принятия к публикации:** 11.03.2020  
**Дата публикации:** 25.06.2020

**Сведения об авторе:**

**Шалупина Павел Игоревич** – аспирант ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения», e-mail: p.shalupina@gmail.com.

**Abstract.** The article presents the results of the development of a force-measuring device for testing auto-coupling devices and absorbing devices of railway vehicles. The technical idea of the device is to physically measure the stresses acting in the characteristic cross sections of the tail of an auto-coupling device, followed by determining the actual force using the developed mathematical model. A calibration schedule of the force measuring device was constructed. The influence of additional bending moments on the measurement accuracy is estimated.

**Keywords:** automatic coupling, SA-3, absorbing device, force measuring device

**Date of acceptance for publication:** 11.03.2020  
**Date of publication:** 25.06.2020

**Author's information:**

**Pavel I. Shalupina** – post-graduate student at Ural State University of Railway Transport, e-mail: p.shalupina@gmail.com.

**1. Введение**

Несмотря на активное внедрение систем автоматизированного проектирования, натурные эксперименты используются для проверки адекватности моделирования, исследования рабочих процессов нелинейных систем [1].

Устанавливаемые на подвижном составе амортизаторы удара (поглощающие аппараты) предназначены для снижения продольных усилий в поезде [2].

С целью определения оптимальных значений параметров поглощающих аппаратов проводят различные эксперименты [1-3].

В данной работе приведены результаты создания силоизмерительного устройства для испытания автосцепных устройств СА-3 и их поглощающих аппаратов. Техническая идея

устройства заключается в физическом измерении напряжений  $\sigma$ , действующих в характерных сечениях хвостовика, с последующим определением действующего усилия  $P$  с помощью математической модели (рис. 1).

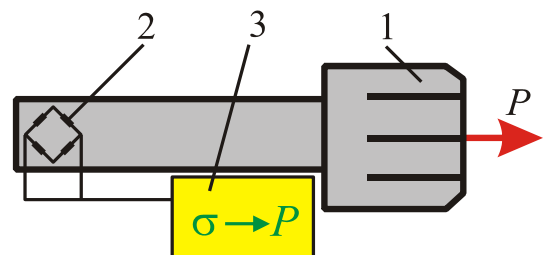


Рис. 1. Силовое измерительное устройство:  
1 – автосцепное устройство; 2 – система тензодатчиков; 3 – измерительная система

Таким образом, для реализации силоизмерительного устройства, выполнены тарировочные расчеты автосцепки.

## 2. Создание геометрической модели автосцепного устройства

Для выполнения расчетов напряженно-деформированного состояния автосцепного устройства СА-3 построена трехмерная геометрическая модель (рис. 2). Построение модели объекта исследования выполнялось с использованием операций выдавливания, вырезания, создания геометрии по сечениям.

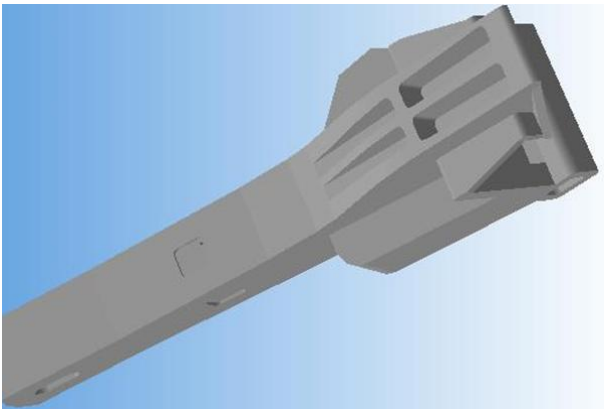


Рис. 2. Трехмерная геометрическая модель автосцепного устройства СА-3

Для импорта геометрии в программный комплекс конечноэлементных расчетов использован формат Parasolid. Это позволило избежать ошибок при импорте. Импортированная геометрическая модель автосцепного устройства показана на рис. 3.

## 3. Моделирование напряженно-деформированного состояния автосцепного устройства

Для тарировки силоизмерительного устройства выполнено моделирование напряженно-деформированного состояния автосцепного устройства в программном комплексе NX Nastran. Расчетная модель показана на рис. 4.

Внешние нагрузки задавались по основным поверхностям фронтальной части головы автосцепки. Закрепление выполнено по отверстию хвостовика автосцепного устройства.

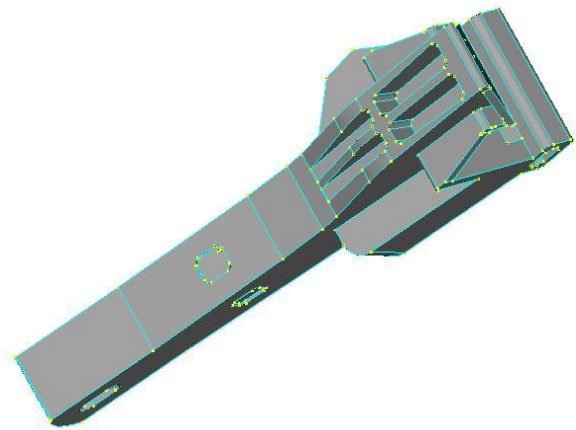


Рис. 3. Трехмерная модель автосцепного устройства, импортированная в комплекс конечноэлементных расчетов

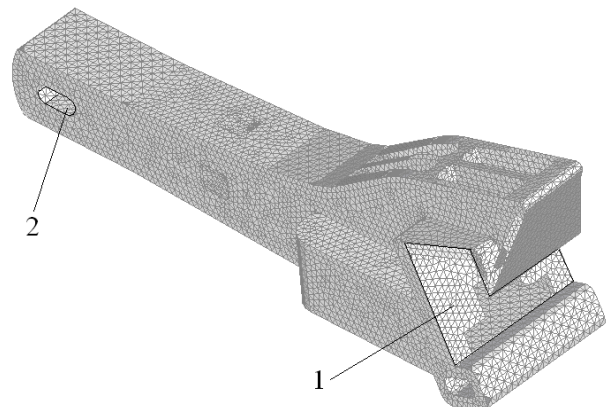


Рис. 4. Расчетная конечноэлементная модель: 1 – зона приложения внешней нагрузки; 2 – область закрепления

Результаты расчета напряженно-деформированного состояния автосцепного устройства СА-3 показаны на рис. 5.

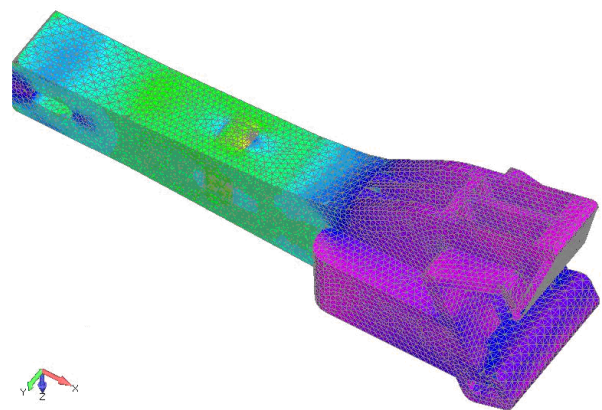


Рис. 5. Результаты расчета напряженно-деформированного состояния

Анализ рис. 5 показывает, что напряжения по сечению в хвостовике автосцепного устройства при продольном воздействии распределены равномерно. Это позволяет гарантировать точность измерения усилий при натуральных экспериментах.

С использованием данной конечноэлементной модели построен тарировочный график, связывающий выходное напряжение с тензодатчиков, расположенных на хвостовике автосцепного устройства, и действующие продольные усилия (рис. 6). При расчетах задавалась внешняя нагрузка в диапазоне от 65 до 650 кН.

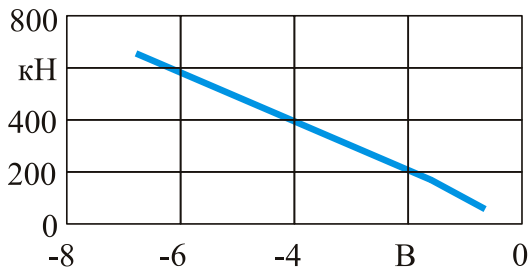


Рис. 6. Тарировочный график силоизмерительного устройства

Таким образом, по результатам измерения напряжения можно определить действующее усилие  $P$ .

Результаты расчетов показали, что с увеличением дополнительного изгибающего момента его влияние на выходное напряжение уменьшается, хотя сначала даёт значительное повышение выходной величины.

#### 4. Физическая реализация силоизмерительного устройства

Установка тензодатчиков на хвосте автосцепного устройства показана на рис. 7.

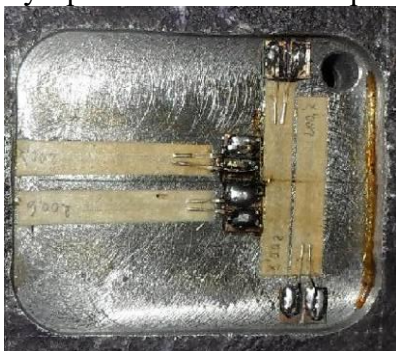


Рис. 7. Участок установки тензорезисторов

Поскольку относительное удлинение тензорезисторов зависит от температуры, для компенсации температурной составляющей используют два тензочувствительных элемента, расположенных на общей подложке перпендикулярно друг другу.

Схема установки тензодатчиков силоизмерительного устройства показана на рис. 8.

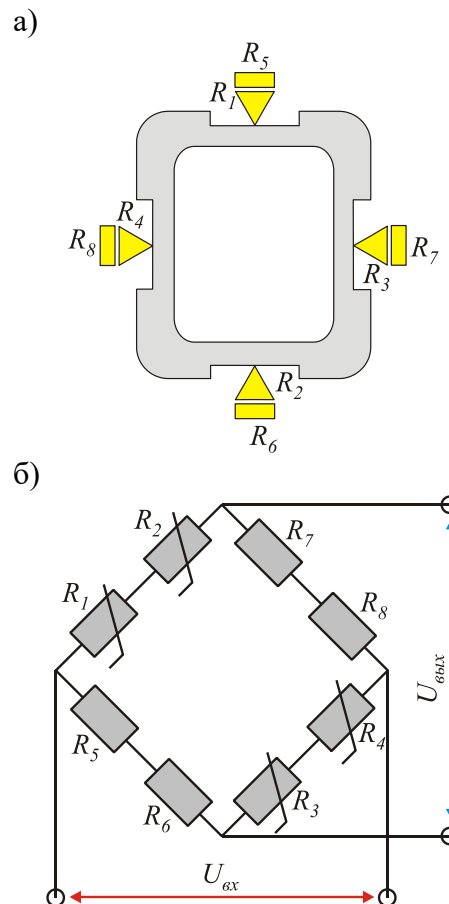


Рис. 8. Схема установки тензодатчиков: а – зоны размещения тензодатчиков на хвостовике автосцепного устройства; б – электрическая схема подключения тензодатчиков

Для используемой схемы подключения тензодатчиков соотношение входных  $U_{вх}$  и выходных  $U_{вых}$  напряжений определяются следующим образом:

$$\frac{U_{вых}}{U_{вх}} = \frac{1}{4} S \sum \varepsilon_i,$$

где  $S$  – напряжение диагонали моста;  $\varepsilon_i$  – тарировочные функции, зависящие от деформации тензорезисторов и их расположения в схеме.

## 5. Заключение

В результате работы разработано силоизмерительное устройство, предназначенное для регистрации параметров динамических испытаний автосцепных устройств СА-3 и их поглощающих аппаратов. Выполнены

расчетно-экспериментальные исследования, позволившие построить тарифовочную характеристику силоизмерительного устройства. В последующих работах будут приведены результаты экспериментальных исследований с использованием разработанного силоизмерительного устройства.

### Список литературы

1. Назаренко В.Г., Дидык Е.Г., Жовтянский В.А., Ашуева Н.Н. Современные подходы к проблеме прочности и износостойкости: Обзор // Экотехнология и ресурсосбережение. 2005. №3. С. 60-74.
2. ОСТ 32.175-2001. Аппараты поглощающие автосцепного устройства грузовых вагонов и локомотивов. Общие технические требования. 12 с.
3. Болдырев А.П., Кеглин Б.Г., Иванов А.В. Разработка и исследование фрикционно-полимерного поглощающего аппарата ПМКП-110 класса Т1 // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2005. №4. С. 40-44.

### References

1. Nazarenko V.G., Didyk E.G., Jovtyanskiy V.A., Asueva N.N. Modern approaches to the problem of strength and wear resistance: Overview. *Ekotekhnologiya i resursosberezhenie*, 2005, No.3, pp. 60-74. (In Russian)
2. OST 32.175-2001. Devices that absorb the auto-coupling devices of freight cars and locomotives. General technical requirements. 12 p. (In Russian)
3. Boldyrev A.P., Keglin B.G., Ivanov A.V. Development and research of a friction-polymer absorbing device PMKP-110 class T1. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta*, 2005, No.4, pp. 40-44. (In Russian)