

## СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ СТЕНДА ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦОВ МАТЕРИАЛА НА УСТАЛОСТНУЮ ПРОЧНОСТЬ

**Аннотация.** При совершенствовании конструкций подвижного состава железнодорожного транспорта, возникает необходимость проведения испытаний материалов его деталей на усталостную прочность. Ресурсные испытания на усталостную прочность могут проводиться, как при ходовых испытаниях на специальных полигонах, так и на стендах в лабораторных условиях. Стоимость проведения испытаний в лабораторных условиях значительно проще и дешевле, что подчёркивает их значимость и экономическую эффективность.

В статье предлагается разработка системы управления стендом испытания образцов материала на усталостную прочность, также системы измерения и регистрации силы, воздействующей на образец, возможности управления характером нагружения образца.

Разработаны способы получения различные режимы нагружения испытуемого материала и выбирать соответствующие реальным режимам работы деталей подвижного состава железнодорожного транспорта

Предложена система позиционирования эксцентрикового вала, которая обеспечивает удобство создания необходимой максимальной нагрузки на образец, а также удобство замены образцов после завершения испытаний.

Разработанная системы регистрации изменения силы, воздействующей на образец в процессе испытания обеспечивает высокую точность измерения, позволяет проводить испытания с регистрацией на flash-накопитель, а также обеспечивает удобство измерения максимального значения силы при настройке стенда перед испытаниями.

Предусмотрена возможность регистрации числа циклов нагружения, с выводом информации на цифровой дисплей.

**Ключевые слова:** испытательное оборудование, ресурсные испытания, испытания образцов материалов, датчики силоизмерительные, управление оборудованием, регистрация параметров.

L.B. Tsvik<sup>1</sup>, O.L. Malomyzhev<sup>1</sup>, L.V. Martynenko<sup>1</sup>, D.O. Malomyzhev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Irkutsk State University of Railway, Irkutsk, Russian Federation

## MEASUREMENT AND CONTROL SYSTEMS FOR TESTING MATERIAL SAMPLES FOR FATIGUE STRENGTH

**Abstract.** When improving the structures of railway rolling stock, there is a need to test the materials of its parts for fatigue strength. Resource tests for fatigue strength can be carried out both during sea trials at special landfills, and on stands in laboratory conditions. The cost of performing tests in the laboratory is much simpler and cheaper, which emphasizes their importance and cost-effectiveness.

The article proposes the development of a control system for testing samples of material for fatigue strength, as well as a system for measuring and registering the force acting on the sample, and the ability to control the nature of the sample loading.

Methods have been developed for obtaining various loading modes of the tested material and selecting the corresponding real operating modes of railway rolling stock parts

An eccentric shaft positioning system is proposed, which provides the convenience of creating the necessary maximum load on the sample, as well as the convenience of replacing samples after testing is completed.

The developed system for recording changes in the force acting on the sample during the test process provides high measurement accuracy, allows testing with registration on a flash drive, and also provides convenience for measuring the maximum value of the force when setting up the stand before testing.

It is possible to register the number of loading cycles, with the output of information on a digital display.

**Keywords:** testing equipment, resource testing, testing of material samples, force measuring sensors, equipment management, parameter registration.

## Введение

Для испытания образцов материалов деталей подвижного состава железнодорожного транспорта на усталостную прочность на кафедре «Вагоны и вагонное хозяйство» ИрГУПС разработан и изготовлен специальный стенд. В основу изготовления стенда положены патенты [1, 2, 3].

В процессе изготовления стенда возникла необходимость решения ряда вопросов:

- обеспечение закона изменения нагрузки на образец за каждый цикл нагружения;
- позиционирования устройства изменения силы, воздействующей на образец;
- измерение силы, воздействующей на образец;
- системы регистрации изменения силы, воздействующей на образец в процессе испытания;
- регистрации числа циклов нагружения.

Для решения поставленных вопросов был выполнен анализ существующих систем измерения физических величин, а также способов управления электромеханическими конструкциями.

## Выбор параметров устройства нагружения испытуемого образца

Система создания нагрузки на образец (рис. 1) представляет собой двулучий рычаг 3, который одним концом взаимодействует с образцом 1, через пуансон 2. Противоположный край рычага взаимодействует с вращающимся эксцентриком 5, вызывающим перемещение рычага 3 по синусоидальному закону. Нагрузка на образец создается пружиной 4, а значение силы задаётся устройство предварительного сжатия пружины 6 и измеряется датчиком 7. Закон перемещения рычага 3 эксцентриком 5 представлен на рис. 2.

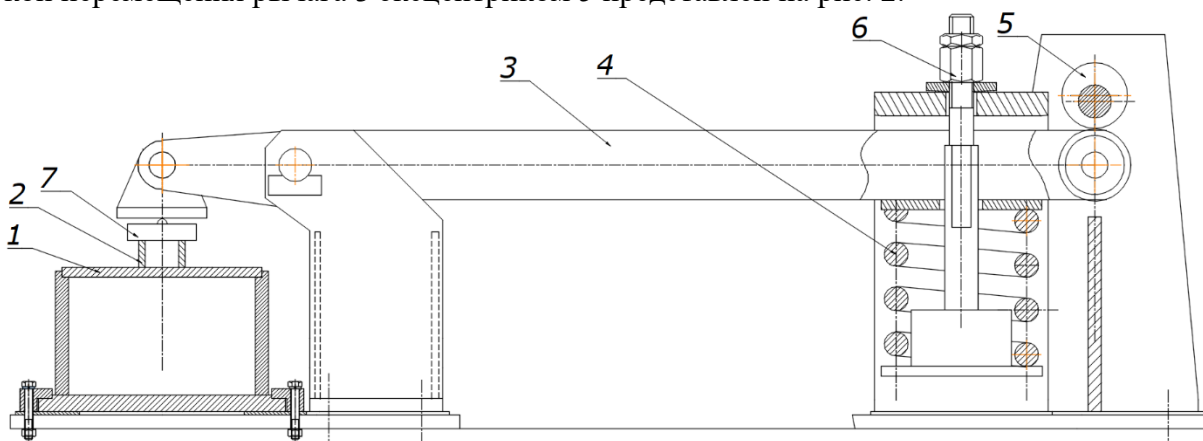


Рис. 1. Схема нагружения образца

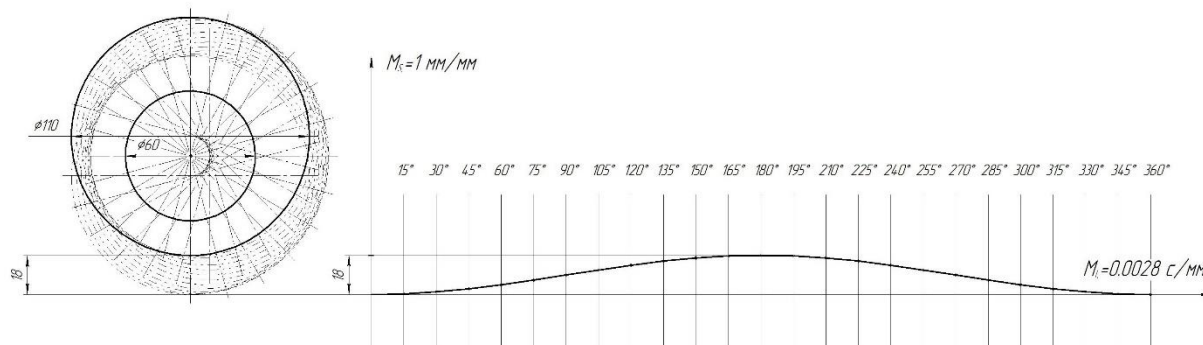


Рис. 2. Схема кинематическая перемещения рычага

В свою очередь, изменение силы, воздействующей на образец, может не соответствовать синусоидальному закону перемещения рычага вследствие следующих причин.

максимальное значение силы на образец создаётся, момент возникновения зазора между эксцентриком 5 и рычагом 3 и будет иметь место в период увеличения зазора в процессе вращения эксцентрика до момента уменьшения зазор до нулевой величины.

Дальнейшее вращение кулачка будет вызывать сжатие пружин с одновременным поднятием края рычага 3 действующего на датчик измерения силы 7, пуансон 2 и образец 1. При этом, будет уменьшаться величина упругой деформации всех перечисленных элементов при одновременном снижении силы, действующей на образец 1. Нетрудно отметить, что минимальное значение силы (равное нулю) возникнет в момент полного устранения упругой деформации деталей, перечисленных выше.

Таким образом для получения синусоидального закона изменения силы нагружения образца необходимо выполнение следующего условия – эксцентricность кулачка  $\Delta_r$  должна быть равна суммарной величине упругих деформаций деталей стенда в момент нагружения образца максимальной силой, приведённой к краю рычага, взаимодействующего с эксцентриком, и может быть рассчитано по формуле (1):

$$\Delta_r = l_{\Sigma} * i_p, \quad (1)$$

где  $l_{\Sigma}$  – суммарная упругая деформация деталей стенда по оси приложения силы на образец, м;  $i_p$  – передаточное число рычага.

Одновременно, зазор между образцом и пуансоном должен быть минимальным и стремиться к нулю.

На рисунках 3 и 4 представлены графики изменения силы на образец при максимальном её значении 100 кН для различных значений эксцентricности  $\Delta_r$ . При этом, перемещение  $S$  края рычага 3 соответствовало синусоидальному (косинусоидальному) закону и определялось по формуле [4]:

$$S = \sqrt{r^2 + \Delta_r^2 - 2 \cdot r \cdot \Delta_r \cdot \cos(\varphi)} - r + \Delta_r, \quad (2)$$

где  $r$  – радиус эксцентрика, м;  $\varphi$  – угол поворота эксцентрика, град.

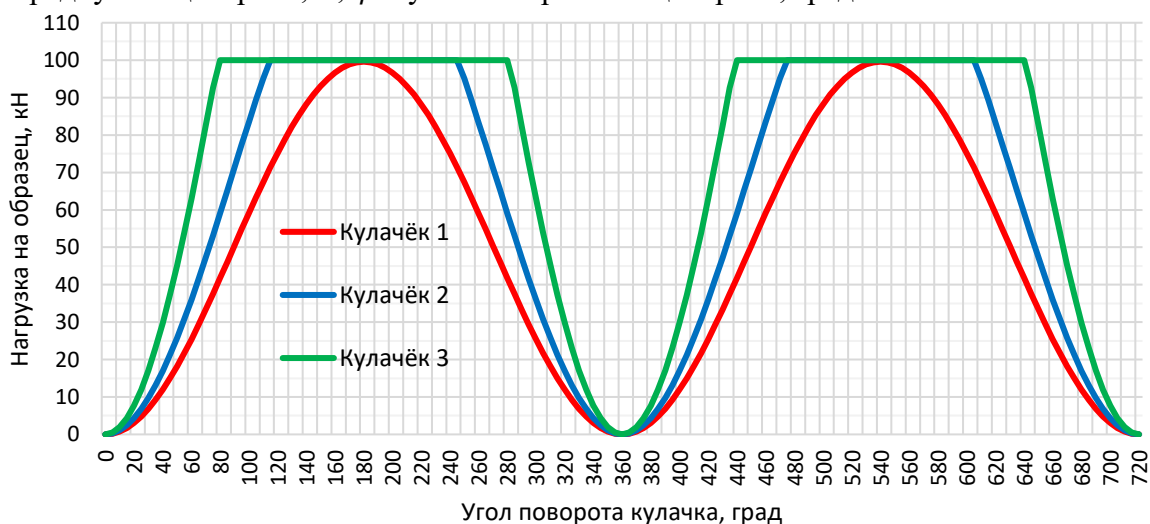


Рис. 3. График изменения силы на образец для различных  $\Delta_r$ .

Из графиков видно, что при значении эксцентricности  $\Delta_r$  большей, чем суммарная величина упругих деформаций  $l_{\Sigma}$  закон изменения силы имеет иной от синусоидального закона характер, при чём  $\Delta_r$  кулачка 1 равен  $l_{\Sigma}$ , а для кулачков 2 и 3 больше, соответственно. Для построенных графиков зазор между образцом 1 и пуансоном 2 равен нулю. При этом, значение нагрузки может достигать максимального значения раньше, чем эксцентрик 5 пол-

ностью переместил край рычага 3 и нагрузка на образец действует определённый промежуток времени.

На рисунке 3 представлены графики изменения силы, воздействующей на образец, при наличии зазора между образцом 1 и пуансоном 2. В данном случае можно изменять время нахождения образца в полностью нагруженном состоянии за каждый цикл [5, 6].

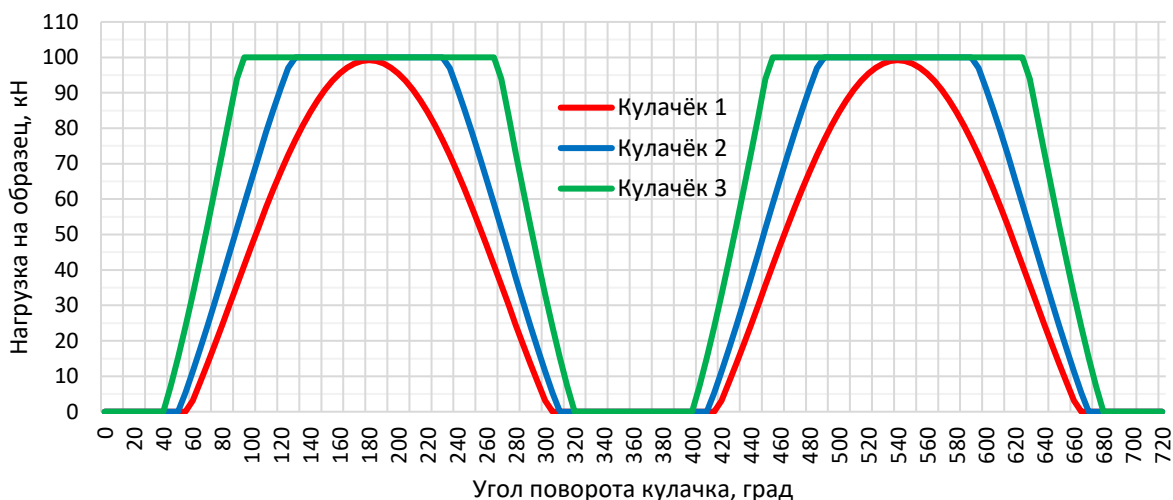


Рис. 4. График изменения силы на образец для различных  $\Delta_r$  и  $l_2 > 0$

В результате проведенного анализа, можно сделать вывод, о том, что варьируя значениями эксцентricности кулачков  $\Delta_r$  и величиной зазора между образцом 1 и пуансоном 2 возможно получать различные режимы нагружения испытуемого материала и выбирать соответствующие реальным режимам работы [7, 8] деталей подвижного состава железнодорожного транспорта.

#### Управление позиционированием устройства изменения силы, воздействующей на образец

При эксплуатации стенда возникает необходимость замены испытуемых образцов материала, а также задания необходимой максимальной нагрузки на образец. Для выполнения этих действий необходимо производить выключение стенда при определённых положениях эксцентрика.

Замена образца производится в положении максимального сжатия пружины эксцентрик и соответственно максимальном поднятии пуансона над образцом.

Создание необходимой максимальной нагрузки на образец выполняется при отсутствии механического воздействия эксцентрика на рычаг. В этом положении на образец действует только сила пружины.

Обеспечение останова эксцентрик вала в двух указанных выше положениях обеспечивается с применением 2-х герконовых переключателей, расположенных на опоре подшипников вала и магнита, прикреплённого к муфте эксцентрик вала.

Герконовые переключатели устанавливаются таким образом, что бы при приближении к каждому из них кулачковый вал располагался в одном из перечисленных выше положений.

Герконовые переключатели включаются в схему, приведённую на рис. 4. Схема управления позиционированием работает следующим образом. Обмотки пускателей К1 подключены к однофазной сети через оптосимистор V1. Оптосимистор выбран в качестве силового элемента для обеспечения гальванической развязки высоковольтной и управляющей цепей. В исходном состоянии оптосимистор находится в закрытом состоянии, обмотки пускателей обесточены. При нажатии и удержании кнопки S2, через управляющий светодиод начинает протекать ток, что вызывает открытие силового симистора и, в итоге включению электродвигателя стенда. Когда магнит (вследствие вращения эксцентрик вала) при-

близится к герконовому переключателю КМ1 его нормально замкнутые контакты разъединятся, что приведёт к прекращению протекания тока через управляющий светодиод оптоистратора V1, в итоге приводной двигатель электродвигатель стенда остановится.

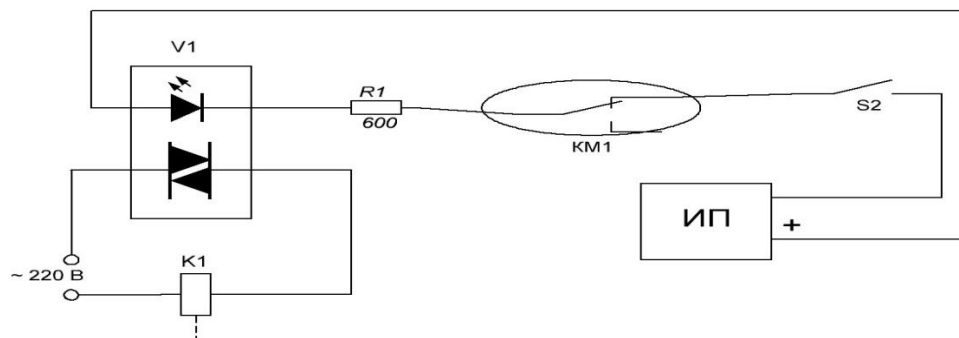


Рис. 5. Схема управления позиционированием эксцентрикового вала

Для обеспечения останова эксцентрикового вала в двух необходимых положениях используется две одинаковые схемы. Управляющая цепь питается от низковольтного источника постоянного тока ИП [9, 10].

#### Измерение силы, действующей на испытуемый образец

Для измерения силы применён силоизмерительный датчик 7 (рис. 1), расположенный между пуансоном и краем рычага. Тип датчика тензометрический типа шайба, выпускаемый промышленностью с диапазоном измерения до 100 кН, модель LPA-10t (рис. 6) [11]. Основные характеристики датчика приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные характеристики датчика LPA-10t

Наибольший предел измерения, т	10	Рабочий диапазон температур, °С	-30 +70
Рабочий коэффициент передачи, мВ/В	2.85±0.015	Предельно допустимая нагрузка, %	150
Класс точности, %	C1	Разрушающая нагрузка, %	200
Ползучесть за 30 мин, %	0.03	Рекомендуемое напряжение питания, В	не более 12
Баланс нуля, %	1	Макс. напряжение питания, В	15
Температурный дрейф нуля, %/10°С	0.03	Класс защиты	IP68
Температурный дрейф сигнала, %/10°С	0.03	Материал	Легированная сталь
Входное сопротивление, Ом	1450±10	Длина кабеля, м	12
Выходное сопротивление, Ом	1402±5	Диаметр кабеля, мм	6



Рис. 6. Датчик LPA-10

Выбранный датчик удовлетворяет всем предъявляемым требованиям.

#### **Системы регистрации изменения силы, воздействующей на образец в процессе испытания**

При конструировании стенда, на основе анализа подобных конструкций [4], а также оптимизации мощностных и силовых параметров была определена основная частота силовых циклических воздействий на образец, которая составляет 1 Гц.

Для записи регистрации изменения силы, воздействующей на образец за каждый цикл следует определить минимальную частоту записи значений силы. Исходя из графиков, приведённых на рис. 3 видно, что изменение силы от минимального до максимального значения  $\varphi_H$  может происходить за  $20^\circ$  поворота эксцентрика. Тогда, время изменения нагрузки  $\tau_H$  можно определить по формуле (3)

$$\tau_H = \frac{\tau_{\text{ц}}}{(\varphi_{\text{ц}}:\varphi_H)} = \frac{1}{(720:20)} = 0,03\text{с}, \quad (3)$$

где  $\tau_{\text{ц}}$  – время выполнения цикла, 1 с;  $\varphi_{\text{ц}}$  – угол поворота эксцентрика за цикл,  $720^\circ$ . С учётом, того, что за данный промежуток необходимо получить не менее 20 значений силы, которые позволят построить достоверный график её изменения, необходимо производить запись значений силы с частотой на менее 600 Гц.

Для обеспечения записи данных с необходимой частотой выбран выпускаемый промышленно преобразователь весовой модели DT-50-A (рис. 6) [11], имеющий аналого-цифровой преобразователь (АЦП) с частотой преобразований 1200 Гц. Характеристики преобразователя приведены в таблице 2.



Рис. 7. Преобразователь DT-50-A

**Таблица 2 – Преобразователь DT-50-A**

<b>Функции:</b>	RS485 OLED дисплей
Электропитание, В	DC24
Питание тензодатчиков, В	5 (120 мА)
Не более датчиков, шт x Ом	9x350 или 20x750
Разрядность АЦП	24 бит
Диапазон измерений, мВ	-39...39
Нелинейность, %	0,001
Максимальное число преобразований, раз/сек	1200
Диапазон индикации	-999999...999999
Крепление DIN35	+
Рабочая температура, °С	-30 до +70
Вес, кг	0,25
Габаритные размеры, мм	135x135x35

Весовой преобразователь имеет встроенный цифровой индикатор, благодаря которому удобно настраивать необходимое значение максимальной нагрузки на образец.

Вследствие длительного срока проведения испытаний было принято решение записи снимаемых с АЦП в файл на flash-накопитель. После завершения испытаний, полученные данные могут быть обработаны в приложении Microsoft Excel.

Число циклов нагружения образца может быть определено при обработке полученных данных, а также предусмотрена возможность счёта из количества с использованием герконового датчика и вывода на цифровой дисплей.

В итоге, разработанная система регистрации изменения силы, воздействующей на образец в процессе испытания обеспечивает запись всех необходимых параметров с требуемой дискретностью.

### **Заключение**

В результате анализа системы изменения нагрузки на испытуемые материалы, получены данные и определены условия, позволяющие создавать изменение нагрузки за цикл, как по синусоидальному, так и трапецеидальному законам, при этом, можно задавать необходимое время нахождения образца, как под нагрузкой, так и в разгруженном состоянии, что позволяет выбирать режимы нагружения соответствующие эксплуатационным.

Разработана система позиционирования эксцентрикового вала, которая обеспечивает удобство создания необходимой максимальной нагрузки на образец, а также удобство замены образцов после завершения испытаний.

Разработанная системы регистрации изменения силы, воздействующей на образец в процессе испытания обеспечивает высокую точность измерения, позволяет проводить испытания с регистрацией на flash-накопитель, а также обеспечивает удобство измерения максимального значения силы при настройке стенда перед испытаниями.

Предусмотрена возможность регистрации числа циклов нагружения, с выводом информации на цифровой дисплей.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. № 2717571 Рос. Федерация. Устройство для испытания пластинчатого образца на усталостную прочность / Г.И. Федюкович, Л.Б. Цвик, В.Н. Железняк, В.К. Еремеев, И.С. Бочаров. Бюл. №9.
2. Пат. № 2360227 Рос. Федерация. Образец для оценки прочности материала при сложном напряженном состоянии / Л.Б. Цвик, А.П. Черепанов, А.А. Пыхалов, М.А. Храменок, К.А. Кузнецов, М.В. Шапова. Бюл. №18.
3. Пат. № 176972 Рос. Федерация. Устройство для двухосных испытаний крестообразных образцов / К.А. Вансович, В.И. Ядров. Бюл. №4.
4. Пат. № 2418284 Рос. Федерация. Способ испытания пластинчатого образца на усталостную прочность и устройство для его осуществления / Л.Б. Цвик, А.П. Черепанов, М.А. Храменок, М.В. Шапова. Бюл. №13.
5. Анурьев В.И. Справочник конструктора машиностроителя т. 1. / В.И. Анурьев Справочник. – М.: Машиностроение. - 2015. - 920 с.
6. Пат. № 176972 Рос. Федерация. Устройство для двухосных испытаний крестообразных образцов / К.А. Вансович, В.И. Ядров. Бюл. №4.
7. Н.А. Махутов, К.В. Фролов, Ю.Г. Драгунов и др. Модельные исследования и натурная тензометрия энергетических реакторов. // Н.А. Махутов, К.В. Фролов, Ю.Г. Драгунов и др. М.: Наука, 2001. - 293 с.- (Серия «Исследование напряжений и прочности ядерных реакторов»).
8. Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иоселевич Г.Б. Расчет на прочность деталей машин. – М. Машиностроение. - 1993. - 350 с.
9. Марголин Ш.М. Точная остановка электроприводов. -М.: Энергоатомиздат 1984. - 183 с.
10. Тихомиров Э.Л. Микропроцессорное управление электроприводами станков с ЧПУ. - М.: Машиностроение. - 1990. - 273 с.
11. ТОКВЕС. Интернет сайт - <https://tokves.ru/>

## REFERENCES

1. G.I. Fedyukovich, L.B. Tsvick, V.N. Zheleznyak, V.K. Eremeev, I.S. Bocharov. Ustroystvo dlya ispytaniya plastinchatogo obraztsa na ustalostnuyu prochnost' [Device for testing a plate sample for fatigue strength]. Patent RF no. 2717571, Bulletin no. 9.
2. L.B. Tsvick, A.P. Cherepanov, A.A. Pykhalov, M.A. Khramenok, K.A. Kuznetsov, M.V. Shapova. Obrazets dlya otsenki prochnosti materiala pri slozhnom napryazhennom sostoyanii [Sample for assessing the strength of a material under a complex stress state]. Patent RF no. 2360227, Bulletin no. 18.
3. K.A. Vansovich, V.I. Kernels. Ustroystvo dlya dvukhosnykh ispytaniy krestoobraznykh obraztsov [Device for biaxial testing of cruciform specimens]. Patent RF no. 176972, Bulletin no. 4.
4. L.B. Tsvick, A.P. Cherepanov, M.A. Khramenok, M.V. Shapova. Sposob ispytaniya plastinchatogo obraztsa na ustalostnuyu prochnost' i ustroystvo dlya yego osushchestvleniya [Method for testing a plate sample for fatigue strength and a device for its implementation]. Patent RF no. 2418284, Bulletin no. 13.
5. The Anura VI Reference designer mechanical engineer vol. 1. / V. I. Anur-EB Reference guide. – М.: Mechanical Engineering. - 2015. - 920 p.
6. K.A. Vansovich, V.I. Kernels. Ustroystvo dlya dvukhosnykh ispytaniy krestoobraznykh obraztsov [Device for biaxial testing of cruciform specimens]. Patent RF no. 176972, Bulletin no. 4.
7. N. A. Makhutov, K. V. Frolov, Yu. G. Dragunov, etc. Model studies and full-scale tensometry of power reactors. // N. A. Makhutov, K. V. Frolov, Yu. G. Dragunov and others. m.: Nauka, 2001-293 p. - (Series "research of stresses and strength of nuclear reactors").
8. Birger I. A., Shorr B. F., Ioselevich G. B. Calculation of the strength of machine parts. - М. Mashinostroenie. - 1993. - 350 p.



9. Margolin sh. M. Exact stop of electric drives. - M.: Energoatomizdat 1984. -183 p.
10. Tikhomirov E. L. Microprocessor control of electric drives of CNC machines. - M.: mechanical engineering. - 1990. - 273 p.
11. TOQUES. Internet site - <https://tokves.ru/>

### **Информация об авторах**

*Цвик Лев Беркович* – д.т.н., профессор, кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [tsvik\\_1@mail.ru](mailto:tsvik_1@mail.ru)

*Маломыжев Олег Львович* – к.т.н., доцент, кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [olm@bk.ru](mailto:olm@bk.ru)

*Мартыненко Любовь Викторовна* – старший преподаватель, кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [liuba.martinenko@yandex.ru](mailto:liuba.martinenko@yandex.ru)

*Маломыжев Дмитрий Олегович* – студент, кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [kbprf13@gmail.ru](mailto:kbprf13@gmail.ru)

### **Authors**

*Cvik Lev Berkovich* – doct. of techn. Sciences, Professor of the Department " Cars and wagon management", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [tsvik\\_1@mail.ru](mailto:tsvik_1@mail.ru)

*Malomyzhev Oleg Lvovich* – cand. of techn. Sciences, associate Professor, Department "Cars and wagon management", Irkutsk state University of railway transport, Irkutsk, e-mail: [olm@bk.ru](mailto:olm@bk.ru)

*Martynenko Lyubov Viktorovna* – senior lecturer, Department " Cars and wagon management", Irkutsk state University of railway transport, Irkutsk, e-mail: [liuba.martinenko@yandex.ru](mailto:liuba.martinenko@yandex.ru)

*Malomyzhev Dmitry Olegovich* – student, Department "Cars and wagon management" Irkutsk state University of railway transport, Irkutsk, e-mail: [kbprf13@gmail.ru](mailto:kbprf13@gmail.ru)

### **Для цитирования**

Цвик Л.Б. Системы измерения и управления стенда испытания образцов материала на усталостную прочность [Электронный ресурс] / Л.Б. Цвик, О.Л. Маломыжев, Л.В. Мартыненко, Д.О. Маломыжев // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2020. – №4(10). – Режим доступа: <http://mnv.irgups.ru/toma/410-20>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

### **For citation**

Tsvik L.B. Measurement and control systems for testing material samples for fatigue strength [Electronic resource] / L.B. Cvik, O.L. Malomyzhev, L.V. Martynenko, D.O. Malomyzhev // "Young science of Siberia": electron. scientific journal, 2020. no. 4.