

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ПРИВОДНОЙ РОЛИКОВОЙ ЦЕПИ КОНВЕЙЕРОВ ДЛЯ ПАЛЛЕТ

*Алексеев В.И., Хлопков В.П.*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет), Москва*

**Ключевые слова:** роликовая однорядная цепь, приводная цепь, цепная передача, тензометрический метод, тензодатчик.

**Аннотация.** В статье представлены результаты экспериментального исследования нагруженности приводной роликовой однорядной цепи ПР-15,875-23 с помощью тензометрического метода измерения. Для проведения экспериментальных исследований разработаны лабораторный стенд и методика проведения эксперимента, позволяющая выявлять зависимость статических деформаций, возникающих в пластинах цепи от нагрузки цепи, выбрана схема измерений - мост Уинстона с тензорезисторами номинальным сопротивлением 350 Ом. В качестве аналого-цифрового преобразователя и усилителя выходного сигнала использована плата National Instruments NI USB-9162, с обработкой цифрового сигнала в программном комплексе LABVIEW. Результаты, полученные в ходе проведения эксперимента предполагается использовать при разработке стенда и для проведения динамических исследований нагруженности приводных роликовых цепей конвейеров для паллет.

## EXPERIMENTAL STUDY OF STATIC LOADING OF THE DRIVE ROLLER CHAIN OF CONVEYORS FOR PALLETS

*Alekseev V.I., Khlopkov V.P.*

*Bauman Moscow State Technical University, Moscow*

**Keywords:** single row roller chain, drive chain, chain transmission, strain gauge method, load cell.

**Abstract.** The article presents the results of an experimental study of the loading of a single-row drive roller chain PR-15,875-23 using a strain gauge measurement method. To conduct experimental studies, a laboratory stand and an experimental technique have been developed that allows to identify the dependence of static deformations occurring in the chain plates on the load of the chain, a measurement scheme has been selected - a Wheatstone bridge with strain gages with a nominal resistance of 350 ohms. As an analog-to-digital converter and an output signal amplifier, the National Instruments NI USB-9162 board is used, with digital signal processing in the LABVIEW software package. The results obtained during the experiment are supposed to be used in the development of the stand and for dynamic studies of the loading of drive roller chains of conveyors for pallets.

### **Введение**

В настоящее время роликовые однорядные цепи (рис. 1) [1] используются в приводах конвейеров для паллет, которые получили широкое распространение как средство механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных и складских работ в различных отраслях РФ [2, 3].

Паллетные конвейеры относятся к машинам непрерывного транспорта, использование которых, а также методы их расчета предполагают перемещение грузов непрерывным потоком без остановок. Однако, особенности использования

конвейеров для паллет – частые пуски и остановки конвейеров, вызванные особенностями технологических процессов (погрузка паллет на конвейер и снятие паллет с конвейера, необходимость накопления паллет на конвейере, изменение скорости движения паллет в процессе работы, связанные с протяженностью и сложностью конфигурацией трассы конвейеров в вертикальной и горизонтальной плоскостях) требуют изменения подходов к методам расчета таких конвейеров. Прежде всего, это относится к тяговому расчету приводных роликовых конвейеров с цепными передачами, для корректировки которого важно проведение работ по исследованию приводных цепей, а именно возникающих в процессе их работы нагрузок.

Цель работы – экспериментальное исследование статической нагруженности приводной роликовой однорядной цепи конвейеров для паллет.

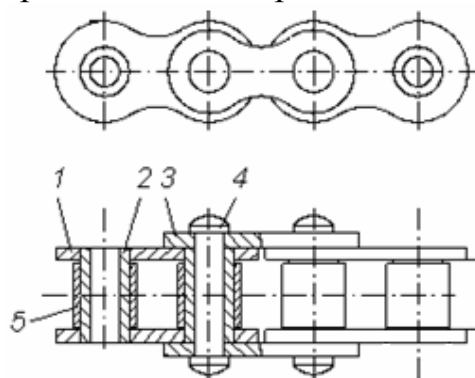


Рис. 1. Роликовая однорядная цепь (1 – внутренняя пластина; 2 – втулка; 3 – наружная пластина; 4 – валик; 5 – ролик)

### Метод определения статических нагрузок роликовой цепи

Экспериментальная механика описывает достаточно большое количество методов определения напряжённо-деформированного состояния деталей элементов конструкций [4], однако для каждого конкретного случая выбор метода осуществляется индивидуально, ориентируясь на геометрические, физические и эксплуатационные характеристики конструкции. В работе использован и экспериментально обоснован метод нахождения статических нагрузок приводной роликовой цепи, основанный на измерении деформаций ее пластин.

Регистрация деформации пластины осуществлялась с помощью тензорезисторов, наклеиваемых на внешние пластины цепи (рис. 2).

Наклеиваемый тензорезистор, в момент возникновения деформаций в пластине цепи, изменяет номинальное сопротивление. В связи с тем, что появляющиеся в цепи деформации достаточно малы, сопротивление тензорезистора изменяется незначительно, часто это не более 3% номинального значения сопротивления тензорезистора [5]. Для измерения деформаций пластины цепи необходимо преобразовать изменение сопротивления тензорезистора в изменение напряжения и силы тока. Поэтому тензорезистор должен быть включён в измерительную электрическую схему, с помощью которой возможно увеличить величину выходного сигнала тензорезистора.

Одним из основных видов измерительных схем с тензорезисторами является мостовая схема, наиболее распространённой из которых является схема

измерительного моста Уинстона (рис. 3) [6]. Мост Уинстона с питанием от источника постоянного напряжения имеет в своём составе три функциональные части: источник напряжения  $U$ , четыре резистора ( $R_1, R_2, R_3, R_4$ ), образующих мост, и регистрирующую схему, имеющую резистор нагрузки  $R_M$ . В рассматриваемых далее уравнениях предполагаем, что  $R_M = \infty$ .

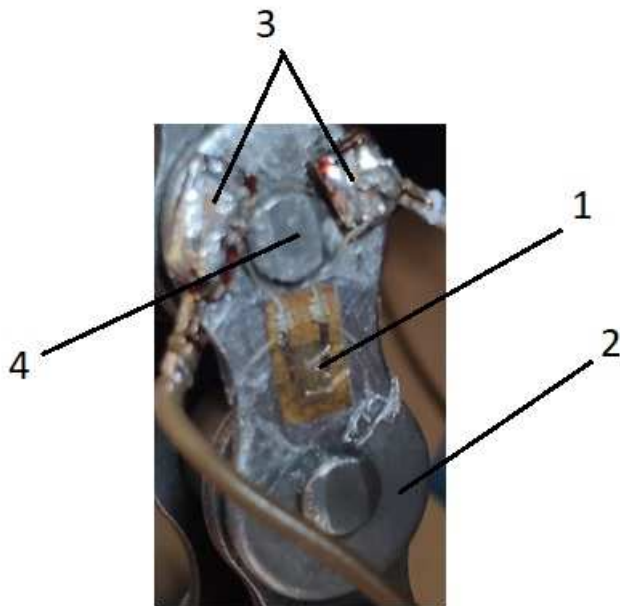


Рис. 2. Схема размещения тензорезисторов на внешней пластине звена цепи (1 – тензорезистор; 2 – внешняя пластина цепи; 3 – текстолитовые площадки; 4 – валик (ось) цепи)

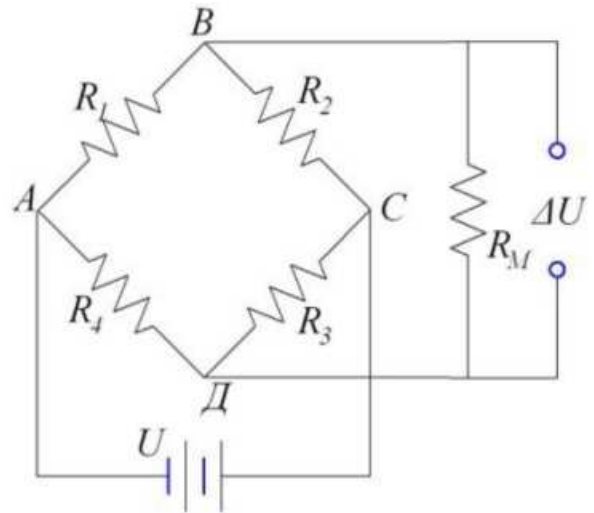


Рис. 3. Схема измерительного моста Уинстона (мостовая схема измерения деформаций)

Выходное напряжение моста Уинстона (разность напряжений точек В и Д) определяется соотношением [7]:

$$\Delta U = \frac{(R_1 * R_3 - R_2 * R_4)}{(R_1 + R_2) * (R_3 + R_4)} * U .$$

От количества тензорезисторов, включаемых в измерительный мост, зависит модификация мостовой схемы: «четверть моста», «полумост» и «полный мост». Включать тензорезисторы в плечи моста можно параллельно, последовательно и смешанно.

Для измерения деформаций растяжения-сжатия, возникающих в цепной передаче, наиболее рационально использовать полумост с противоположными измерительными плечами (рис. 4), поскольку данная схема нечувствительна к изменениям температуры в соединительных проводах и конструкции, а также обеспечивает оптимальное увеличение выходного сигнала тензорезисторов [7].

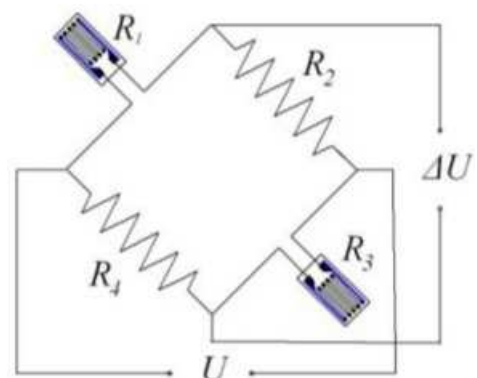


Рис. 4. Схема полумоста с противоположными плечами

### Экспериментальное исследование

Для измерения возникающих статических нагрузок в цепи создан лабораторный стенд, представленный на рисунке 5. Объектом исследования является приводная роликовая однорядная цепь типа ПР-15,875-23 [1]. Стенд состоит из двух цепей (1 и 2), ветви которых расположены параллельно друг другу, закреплённых на станине 3, крюка 4, с помощью которого подвешиваются грузы 5. На внешних пластинах звена цепи 1 закреплены 2 шт. измерительных тензорезисторов, а на внешних пластинах звена цепи 2 закреплены 2 шт. компенсационных тензорезисторов, согласно мостовой схеме, представленной на рисунке 4.

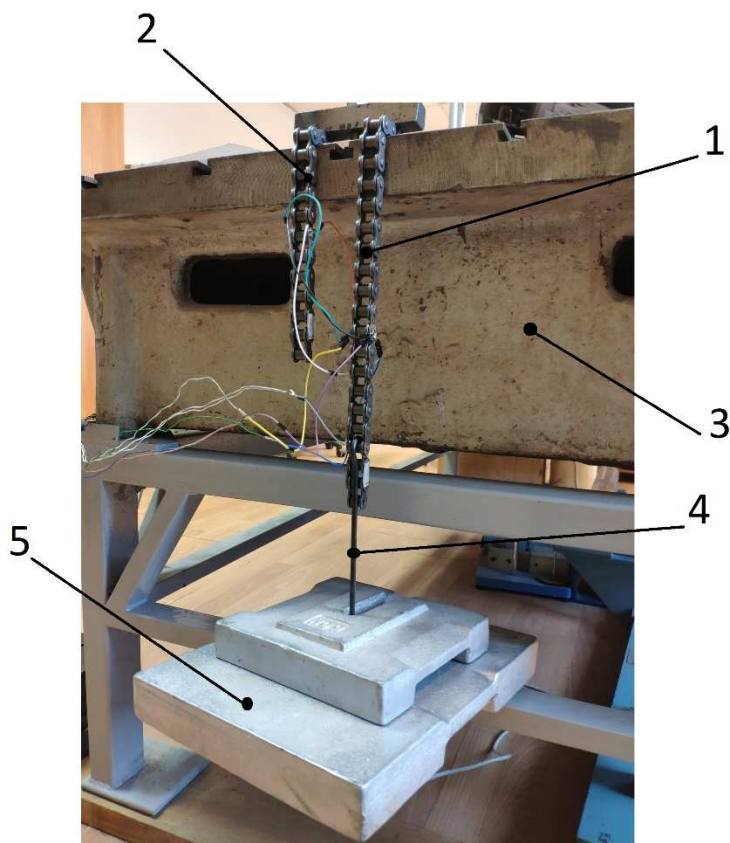


Рис. 5. Общий вид лабораторного стенда для измерения деформаций цепи (1 – нагружаемая цепь с измерительными тензорезисторами; 2 – цепь с компенсационными тензорезисторами; 3 – станина; 4 – крюк; 5 – грузы известной массы)

Для реализации измерительной схемы применяются тензорезисторы с номинальным сопротивлением 350 Ом [8]. В связи с тем, что тензорезисторы имеют короткие и ломкие провода, для реализации измерительной схемы в непосредственной близости от датчиков измерения необходимы дополнительные паячные площадки. Для этого на внешнюю пластину звена цепи были наклеены две текстолитовые площадки размером 3x7 мм, на которых была реализована спайка с медными проводами, реализующие соединения выбранной полумостовой схемы. В качестве аналого-цифрового преобразователя и усилителя выходного сигнала была использована плата National Instruments NI USB-9162. Цифровой сигнал является значением получаемых деформаций в программном комплексе LABVIEW.

Для определения нагрузок, действующих на цепь, необходимо на основе экспериментальных данных получить зависимость деформации пластин цепи от нагрузки, которая создавалась путем последовательного нагружения цепи грузами массой 15, 20, 25, 30 и 35 кг.

Зависимость получена на основе среднестатистических значений деформаций для 10 расчётных случаев.

### Результаты

Было проведено три серии измерений, результаты которых представлены в таблице 1.

Табл. 1. Результаты измерений

1-я серия измерений											
Сила, Н	Р/С 1, *10 <sup>-6</sup>	Р/С 2, *10 <sup>-6</sup>	Р/С 3, *10 <sup>-6</sup>	Р/С 4, *10 <sup>-6</sup>	Р/С 5, *10 <sup>-6</sup>	Р/С 6, *10 <sup>-6</sup>	Р/С 7, *10 <sup>-6</sup>	Р/С 8, *10 <sup>-6</sup>	Р/С 9, *10 <sup>-6</sup>	Р/С 10, *10 <sup>-6</sup>	Среднее значение
150	3,914	4,110	3,589	3,736	3,723	4,373	4,692	3,716	4,021	3,842	3,972
200	5,473	5,822	4,893	5,436	5,552	6,220	6,424	5,782	5,213	5,435	5,625
250	6,750	7,620	6,974	6,832	7,246	7,929	8,052	7,669	7,114	6,964	7,315
300	8,671	9,244	8,443	8,287	8,893	9,614	9,714	9,329	8,827	8,741	8,976
350	10,337	11,341	10,346	10,171	10,725	11,323	11,557	11,582	10,615	10,522	10,852
2-я серия измерений											
150	2,704	4,341	4,973	2,004	5,751	5,967	4,711	3,904	2,713	4,129	4,120
200	3,124	5,863	6,041	4,256	7,786	7,682	6,622	5,923	4,966	5,643	5,791
250	4,923	7,830	8,301	6,248	9,015	9,264	8,286	7,588	6,946	7,102	7,550
300	6,687	9,582	9,824	7,972	11,310	11,055	10,535	9,448	8,825	7,630	9,287
350	8,438	11,652	11,475	10,081	13,379	13,023	12,372	11,239	10,875	9,624	11,216
3-я серия измерений											
150	4,401	4,290	3,778	4,945	3,602	5,539	2,820	4,504	4,813	4,977	4,367
200	6,278	5,766	5,681	6,979	5,348	7,346	3,548	5,909	6,985	6,447	6,029
250	7,722	7,514	7,324	8,868	7,128	8,902	5,228	6,829	8,572	8,186	7,627
300	9,476	9,312	9,253	10,740	8,835	10,270	6,840	7,348	10,375	9,538	9,199
350	11,283	11,159	11,277	12,619	10,375	11,825	8,581	9,306	12,273	11,260	10,996

В результате проведенных испытаний цепи были получены экспериментальные значения деформации пластин цепи в зависимости от нагрузки цепи (рис. 6) для трех серий испытаний.

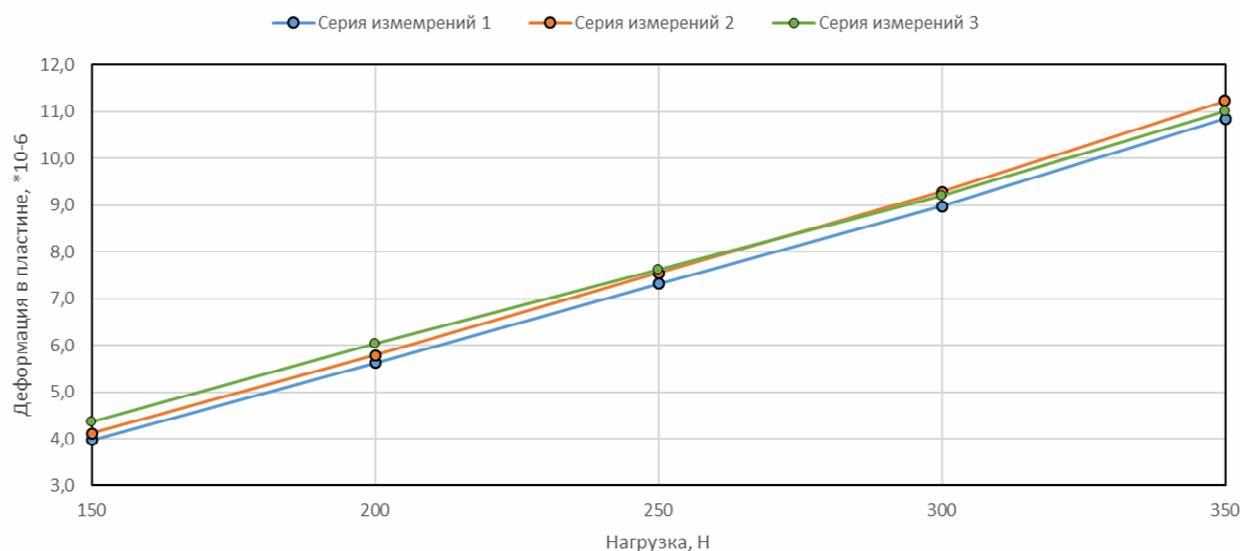


Рис. 6. Экспериментальные значения деформации пластины цепи от нагрузки цепи

Аппроксимируя в среде MS Excel полученные в таблице 1 результаты измерений, получена зависимость деформации пластины цепи от нагрузки цепи (рис. 7), имеющая уравнение:

$$y = 1,7076 * x + 2,4052, \quad (1),$$

где  $y$  – значение деформации пластины цепи, а  $x$  – значение нагрузки на цепь, Н.

Уровень значимости составил  $R^2 = 0,9995$ , что подтверждает линейность полученной зависимости. Максимальный разброс значений деформации составил 15%.

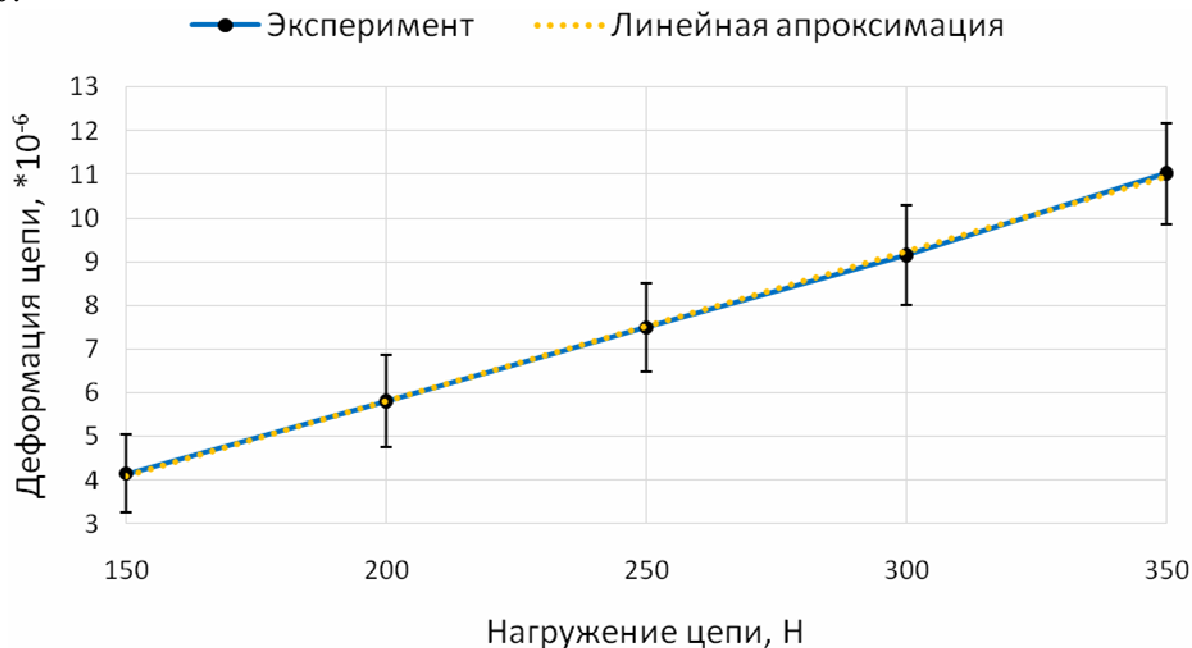


Рис. 7. Значения деформации пластины цепи от нагрузки цепи

### Заключение

1. Разработаны лабораторный стенд и методика проведения экспериментальных исследований статической нагруженности приводной роликовой однорядной цепи типа ПР-15,875-23 роликовых конвейеров для паллет;

2. Выбраны: схема измерений – мост Уинстона с тензорезисторами номинальным сопротивлением 350 м; аналого-цифровой преобразователь и усилитель выходного сигнала – плата National Instruments NI USB-9162; программный комплекс LABVIEW – для обработки цифрового сигнала.

3. Проведены экспериментальные исследования статической нагруженности приводной роликовой однорядной цепи типа ПР-15,875-23 роликовых конвейеров для паллет с грузами массой 15, 20, 25, 30 и 35 кг; максимальный разброс значений деформации пластины цепи составил 15%.

4. Проведена статистическая обработка результатов экспериментальных исследований и получена зависимость (1) статической деформации пластины цепи от нагрузки цепи, с уровнем значимости  $R^2 = 0,9995$ .

Полученные результаты предполагается использовать при разработке стенда и для проведения динамических исследований нагруженности приводных роликовых цепей.



**Список литературы**

1. ГОСТ 13568 – 97 (ИСО 606 – 94) Цепи приводные роликовые и втулочные. Общие технические условия. – Мн.: Изд-во стандартов, 2000. – 22 с.
2. Носко А.Л., Сафронов Е.В., Потапов В.А. Система паллетных модулей для складской интралогистики // Вестник машиностроения. – 2016. – № 8. – С. 10-12.
3. Носко А.Л., Сафронов Е.В. Преимущества использования типовых паллетных интралогистических решений при проектировании и эксплуатации складов // Логистика. – 2016. – № 5(114). – С. 16-21.
4. Букеткин Б.В., Горбатовский А.А., Кисенко И.Д. др. Экспериментальная механика / под ред. Р. К. Вафина, О.С. Нарайкина. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 136 с.
5. Мевша Н.В., Пунтус А.В. Оборудование для исследования динамики цепных передач // Приводы и компоненты машин. – 2019. – № 1-2. – С. 17-19.
6. Мевша Н.В. Методы исследования и оценки технического состояния цепных передач: Дисс. ... канд. техн. наук. – Краснодар, 2005. – 213 с.
7. Мехеда В.А. Тензометрический метод измерения деформаций: учебное пособие. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2011. – 56 с.
8. Тензорезисторы фольговые константановые одиночные компании Сибтензоприбор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sibtenzo.com>.

**Сведения об авторах:**

*Алексеев Вадим Игоревич* – магистрант;

*Хлопков Владимир Петрович* – аспирант.