

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ПРИВОДНОЙ РОЛИКОВОЙ ОДНОРЯДНОЙ ЦЕПИ

Хлопков В.П., Алексеев В.И., Фомин Н.А.

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Москва

Ключевые слова: нагруженность цепи, динамические нагрузки, тяговый расчет, роликовая цепь, испытательный стенд.

Аннотация. Для экспериментального исследования динамической нагруженности приводной роликовой однорядной цепи разработаны измерительный прибор и лабораторный испытательный стенд. Проведены экспериментальные исследования, по результатам которых получены графики тарирования измерительного прибора, зависимости динамической нагруженности цепи от нагрузки на цепь по всему контуру, а также таблица со сравнением максимальных значений динамических нагрузок, полученных при эксперименте с расчетными значениями. Результаты экспериментальных результатов показали, что текущие методики расчета цепной передачи не учитывают динамические нагрузки в контуре цепи. Полученная нагрузка отличается от расчетной в пределах от 6 до 592 %. Эксперимент показал возможность использования измерительного прибора для экспериментального определения динамической нагруженности приводной роликовой однорядной цепи на лабораторном испытательном стенде.

THE EXPERIMENTAL STUDY OF THE DYNAMIC LOADING OF A SINGLE-ROW DRIVE ROLLER CHAIN

Khlopkov V.P., Alekseev V.I., Fomin N.A.

Bauman Moscow State Technical University, Moscow

Keywords: load of the chain, dynamic loads, traction calculation, roller chain, test bench.

Abstract. A measuring device and a laboratory test bench have been developed for the experimental study of the dynamic loading of a single-row roller drive chain. Experimental studies have been carried out based on the results of which graphs of the calibration of the measuring device, the dependence of the dynamic load of the circuit on the load on the circuit along the entire circuit, as well as a table comparing the maximum values of dynamic loads obtained during the experiment with calculated values have been obtained. The results of the experimental results showed that the current methods of calculating the chain transmission do not take into account the dynamic loads in the circuit. The resulting load differs from the calculated load in the range from 6 to 592%. The experiment showed the possibility of using a measuring device to experimentally determine the dynamic loading of a single-row drive roller chain on a laboratory test bench.

Введение. В настоящее время роликовые однорядные цепи [1] широко применяются в машиностроении: в подъемно-транспортных и дорожных машинах, станках, буровых установках, сельскохозяйственной технике. В приводных цепях при различных режимах работы в условиях эксплуатации возникают сложные процессы, зависящие от параметров и характеристик цепей, звездочек, скорости движения, вида рабочей машины и других факторов [2, 3]. Поэтому для проведения экспериментальных исследований динамической нагруженности приводной роликовой цепи в процессе ее работы необходимо разработать и испытать измерительный прибор на лабораторном стенде.

Цель работы – разработка лабораторного испытательного стенда и проведение экспериментального исследования динамической нагруженности приводной роликовой однорядной цепи, а также проверка работоспособности разработанного измерительного прибора.

Экспериментальное оборудование

Для экспериментального исследования динамической нагруженности приводной роликовой однорядной цепи и проведения испытаний прибора разработан и изготовлен лабораторный испытательный стенд [4]. На рисунках 1 и 2 представлены схема стенда и его общий вид соответственно.

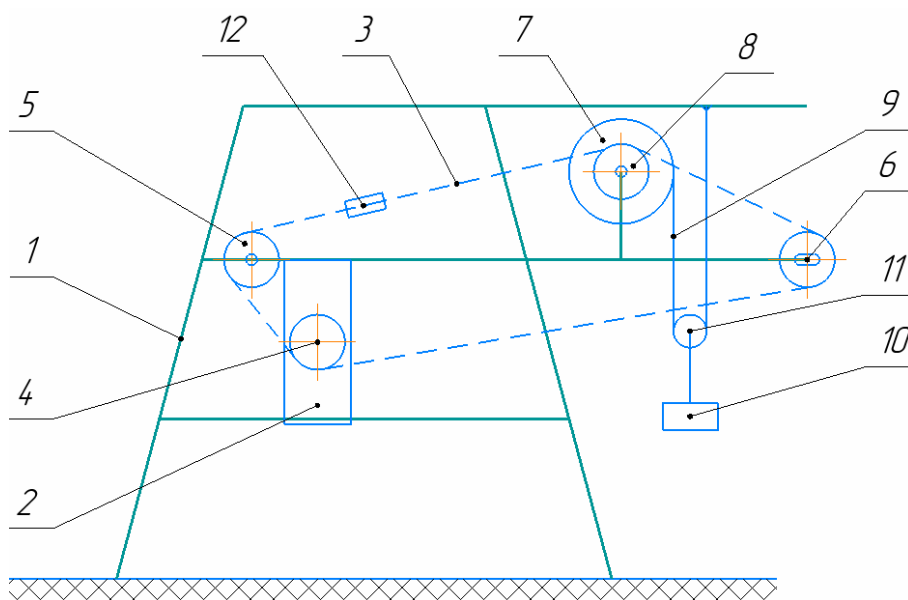


Рис. 1. Схема разработанного испытательного стенда



Рис. 2. Общий вид испытательного стенда для измерения деформаций цепи

Стенд предназначен для испытания цепных передач приводных роликовых конвейеров для штучных грузов и состоит из рамы 1, приводного мотор-редуктора 2, исследуемой цепи 3 с установленным на ней измерительным прибором 12, ведущей звездочки 4, обводной звездочки 5, натяжной звездочки 6, приводного ролика 7 с ведомой звездочкой 8.

Механическое устройство для имитации нагрузки цепи состоит из приводного ролика 7 с закрепленной (приваренной) на его обечайке ведомой звездочки 8, передающей приводной крутящий момент от цепи 3 на приводной ролик 7 и каната 9, который навивается на приводной ролик 7. На свободном конце каната 9 через полиспадную систему 10 закрепляются контрольные грузы 11.

Механическое устройство позволяет на приводном ролике 7 создавать момент сопротивления и проводить испытания цепи при подъеме контрольного груза 10. При этом момент сопротивления регулируется изменением массы контрольных грузов и кратностью полиспаста.

Измерительный прибор 12 [5], установленный на одном из звеньев цепи, осуществляет подсчет и запись растягивающей и сжимающей нагрузки при прохождении звеном цепи всего контура запасовки цепи.

Проведение эксперимента и результаты

На первом этапе была проведена серия испытаний для тарирования измерительного прибора. Для этого на канат 9 без использования полиспастной системы 10 последовательно подвешивались контрольные груза 11 массой 10, 20, 30, 40 и 50 кг. Нагрузка от контрольных грузов через приводной ролик 7 передавалась на цепь. На основе проведенных нагружений был построен график результатов тарирования измерительного прибора на лабораторном испытательном стенде (рис 3). Из графика видно, что при увеличении нагрузки на цепь показания прибора увеличиваются линейно, что совпадает с выводами, полученными ранее при статических испытаниях [5]. По полученным результатам можно определить функцию $y(x)$, которая позволяет переводить значения показания прибора в значения усилия в цепи в Ньютонах [6].

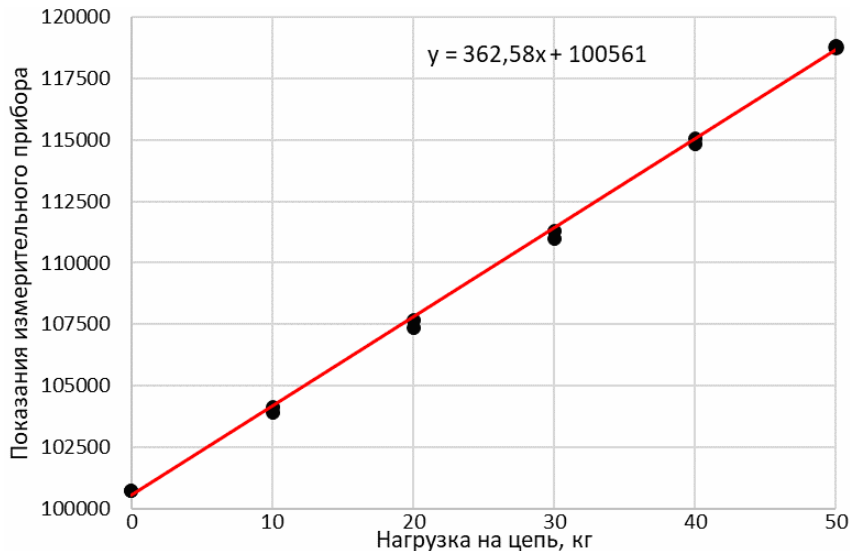


Рис. 3. График результатов тарирования измерительного прибора на лабораторном стенде

На втором этапе была проведена серия экспериментов, каждая из которых состояла из 5 оборотов измерительного прибора по контуру цепи с различной нагрузкой на ведомую звездочку (130 Н и 200 Н соответственно). Усилие предварительного натяжения цепи составляло 25 Н. Для оценки нагрузки на различных участках запасовки цепи была составлена схема контура (рис. 4), на которой указаны величины участков пройденного контура. Начало отчета было принято в месте сбегания цепи с приводной звездочки (точка «0»). Далее по направлению движения цепи (по часовой стрелке относительно контура) установлены точки в местах стыка цепи с другими звездочками. Таким образом, получено разбиение контура цепи на 8 частей: от точки «0» до точки «1»; от точки «1» до точки «2», ... от точки «6» до точки «0».

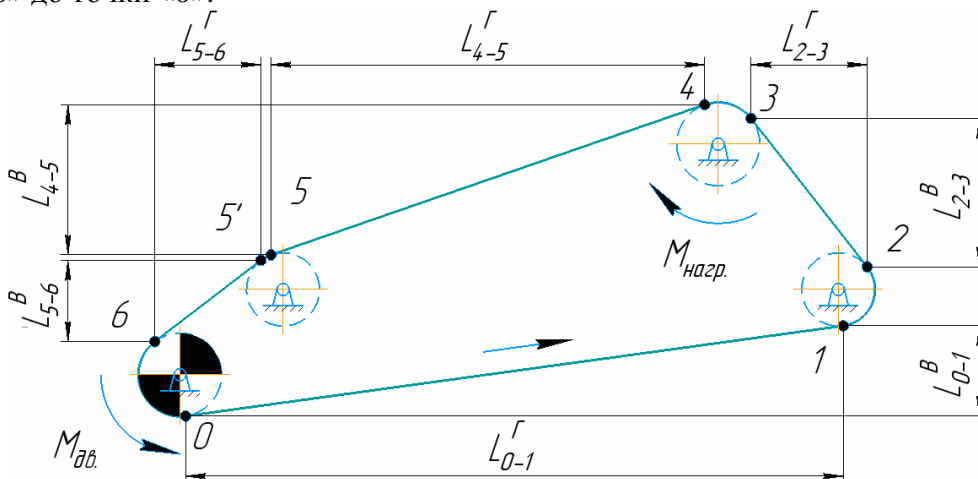


Рис. 4. Схема контура исследуемой цепи на испытательном лабораторном стенде: $M_{нагр}$ – нагружающий момент, Н·м; $M_{дв}$ – момент от двигателя, Н·м

Так по направлению движения цепи (по часовой стрелке относительно контура) были записаны значения усилия растяжения цепи (рис. 5).



Рис. 5. График нагруженности цепи по контуру цепи

Сравнение результатов с теоретическим тяговым расчетом

Для оценки полученных экспериментальных значений сравним их с тяговым расчетом контура цепи по методике, представленной в работе [7, 8]. Для осуществления расчета использовалась схема, приведенная на рисунке 4.

Расчет конвейеров с цепным приводом начинают с точки минимального натяжения цепи S_{\min} . У горизонтальных конвейеров точка S_{\min} расположена в месте сбегания с приводной звездочки. Поэтому в точке «0» набегания цепи на приводную звездочку будем иметь максимальное натяжения цепи S_{\max} .

$$S_{\max} = \sum_{i=1}^z W_i^{\text{прям}} + \sum_{i=1}^z W_i^{\text{огиб}} + S_{\min}, \quad (0)$$

где $\sum_{i=1}^z W_i^{\text{прям}}$ – сумма всех сил сопротивлений, испытывающая цепь на прямолинейных участках контура запасовки, Н; z – число расчетных прямолинейных участков трассы; $\sum_{i=1}^z W_i^{\text{огиб}}$ – сумма всех сил сопротивлений, испытывающая цепь при огибании звездочек, Н; t – число расчетных участков огибания звездочек цепью.

$$W_i^{\text{прям}} = q \cdot g \cdot (w \cdot L_{i-(i+1)}^{\Gamma} + L_{i-(i+1)}^B), \quad (2)$$

где q – распределенная нагрузка от массы цепи, кг/м; g – ускорение свободного падения, м/с²; w – коэффициент сопротивления при движении цепи по элементам цепного контура [9]; $L_{i-(i+1)}^{\Gamma} + L_{i-(i+1)}^B$ – длина горизонтальной и вертикальной проекции участка цепи между точками i и $i+1$ соответственно.

$$w = \frac{\mu \cdot d}{D_{\text{звезд}}} + \frac{\mu' \cdot d'}{h_{\text{цепи}}}, \quad (3)$$

где μ , μ' – коэффициент сопротивления при вращении звездочки звена цепи соответственно; d , d' – диаметр цапфы звёздочки и ролика цепи соответственно, мм; $D_{\text{звезд}}$, $h_{\text{цепи}}$ – делительный диаметр звездочки и шаг цепи соответственно, мм.

$$W_i^{\text{огиб}} = k \cdot S_{i-1}, \quad (4)$$

где k – коэффициент сопротивления цепи при огибании звездочки, $k = 1,04 \dots 1,1$; S_{i-1} – нагрузка на цепь в точке $i-1$.

Согласно уравнениям (1)-(4) составим систему уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} S_0 = S_{\min}, \\ S_1 = S_0 + W_{0-1} = S_0 + q \cdot g \cdot (w \cdot L_{0-1}^{\Gamma} + L_{0-1}^B), \\ S_2 = k \cdot S_1, \\ S_3 = S_2 + W_{2-3} = S_2 + q \cdot g \cdot (w \cdot L_{2-3}^{\Gamma} + L_{2-3}^B), \\ S_4 = k \cdot S_3 + \frac{2M_{нагр}}{D_{звезд}} = k \cdot S_3 + \frac{P_{нагр} \cdot D_{рол}}{D_{звезд}}, \\ S_5 = S_4 + W_{4-5} = S_4 + q \cdot g \cdot (w \cdot L_{4-5}^{\Gamma} - L_{4-5}^B), \\ S_5' = k' \cdot S_5 \approx S_5, \\ S_6 = S_{\max} = S_5 + W_{5-6} = S_5 + q \cdot g \cdot (w \cdot L_{5-6}^{\Gamma} - L_{5-6}^B). \end{array} \right. \quad (5)$$

В таблице 1 представлены исходные данные для проведения тягового расчета цепного привода лабораторного испытательного стенда. В качестве минимального натяжения цепи примем нагрузку $S_{\min} = 20$ Н.

С учётом полученной системы уравнений (5) и исходных данных (табл. 1) определяем расчетные значения нагрузки на цепь в характерных точках контура цепи (табл. 2).

Табл. 1 Исходные данные для тягового расчета цепного привода лабораторного испытательного стенда

Величина	Значение	Единица измерения	Величина	Значение	Единица измерения
μ	0,03	-	L_{0-1}^{Γ}	657,32	мм
μ'	0,02	-	L_{0-1}^B	89,96	мм
d	28	мм	L_{2-3}^{Γ}	116,06	мм
d'	5,08	мм	L_{2-3}^B	148,09	мм
$D_{звезд}$	76,36	мм	L_{4-5}^{Γ}	433,36	мм
$D_{бар}$	89	мм	L_{4-5}^B	149,74	мм
$h_{цепи}$	15,875	мм	L_{5-6}^{Γ}	106,04	мм
k	1,1	-	L_{5-6}^B	81,02	мм
k'	1,01	-	$P_{нагр}$	130 200	Н
q	0,953	кг/м	S_{\min}	20	Н

Табл. 2 Расчетные значения нагрузки на цепь в характерных точках контура цепи, Н

$P_{нагр}, Н$	Характерные точки контура								
	0	1	2	3	4	5	5'	6	0
130	20	20,922	23,014	24,413	178,373	177,027	177,027	176,283	20
200	20	20,922	23,013	24,413	259,960	177,027	177,027	257,869	20

Для сравнения на рисунках 6 и 7 в виде графиков представлены результаты тягового расчета и экспериментальных исследований по контуру цепи.

Как видно из графиков на рисунках 6 и 7 результаты тягового расчета количественно и качественно удовлетворительно согласуются с экспериментальными результатами, полученными при помощи измерительного прибора. При этом наблюдаются локальные пики нагрузки в местах прохождения измерительным звеном цепи всех звездочек контура, а также на участках до и после звездочек. Разница максимальных значений динамических нагрузок в цепи перед расчетными составляет при одном обороте цепи от 6 до 592 % (табл. 3).



Рис. 6. Результаты тягового расчета и экспериментальных исследований по контуру цепи при нагрузке 130 Н на приводной ролик



Рис. 7. Результаты тягового расчета и экспериментальных исследований по контуру цепи при нагрузке 200 Н на приводной ролик

Табл. 3. Сравнение максимальных значений динамических нагрузок полученных при эксперименте с расчетными значениями

Характерные точки контура (точка, участок)	$P_{нагр} = 130 \text{ Н}$		$P_{нагр} = 200 \text{ Н}$	
	Абсолютная разница, Н	Процентная разница, %	Абсолютная разница, Н	Процентная разница, %
0	-4,93	-24,65	-1,96	-9,80
0-1	78,50	382,74	121,36	591,71
1	22,24	105,96	37,92	180,66
1-2	22,03	103,57	11,98	52,85
2	16,51	71,75	7,47	32,46
2-3	35,64	147,09	53,75	222,75
3	7,62	31,22	19,26	78,90
3-4	-93,24	-66,66	-121,67	-60,51
4	-118,29	-66,32	-151,47	-58,27
4-5	107,82	60,83	157,68	60,92
5/5'	12,46	7,04	28,78	11,13
5'-6	-11,33	-6,40	-10,10	-3,91
6	-12,65	-7,18	-32,88	-12,75
6-0	53,53	33,32	49,76	21,26
0	-2,97	-14,85	14,36	71,80

Причина подобных значений может быть связана как с колебательными процессами цепной передачи [10], а также с ударными нагрузками при зацеплениях элементов цепи со звездочками. Таким образом используемая в настоящее время методика тягового расчета цепи не учитывает динамические нагрузки, возникающие в цепном контуре при работе.

Выводы

1. Для экспериментального исследования динамической нагруженности приводной роликовой однорядной цепи и проведения испытаний измерительного прибора создан лабораторный испытательный стенд.

2. Измерительный прибор, установленный на одном из звеньев цепи, показал свою работоспособность в условиях динамических испытаний и позволяет осуществлять подсчет и запись растягивающей и сжимающей нагрузки при прохождении звеном цепи всего контура запасовки приводной цепи на испытательном лабораторном стенде.

3. Результаты тягового расчета цепи при нагрузке 130 Н и 200 Н на приводной ролик количественно и качественно удовлетворительно согласуются с экспериментальными результатами, полученными при помощи измерительного прибора.

4. Используемая в настоящее время методика тягового расчета цепи не учитывает динамические нагрузки, возникающую в цепном контуре при работе. Разница максимальных значений динамических нагрузок в цепи перед расчетными составляет при одном обороте цепи от 6 до 592%.

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. Мевша Н.В., Пунтус А.В. Оборудование для исследования динамики цепных передач // Приводы и компоненты машин. – 2019. – №1-2. – С. 17-19.
3. Мевша Н.В. Методы исследования и оценки технического состояния цепных передач: Дисс. ... канд. техн. наук. – Краснодар, 2005. – 213 с.
4. Патент №228270 РФ. Стенд для испытания цепных передач приводных роликовых конвейеров для штучных грузов / А.Л. Носко, Е.В. Сафронов, В.П. Хлопков, Н.А. Фомин, В.И. Алексеев, И.А. Шарифуллин, А.С. Гуськова, Е.А. Носко. – Заявка №2024111159 от 23.04.2024; опубл. 21.08.2024, Бюл. №24.
5. Алексеев В.И., Носко А.Л., Сафронов Е.В., Хлопков В.П. Результаты испытаний прибора для измерения нагруженности приводной роликовой цепи конвейеров для паллет // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2024. – № 24. – С. 52-59.
6. Тензометрический метод измерения деформаций: учебное пособие / Под ред. В.А. Мехеда. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2011. – 56 с.
7. Матвеев В.И., Смоляр А.П. Машины непрерывного транспорта: учебно-методическое пособие. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2021. – 368 с.
8. Мерданов Ш.М., Смолин Н.И., Иванов А.А., Шефер В.В. Машины непрерывного транспорта: учебное пособие / под общ. ред. Ш.М. Мерданова. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2010. – 208 с.
9. Ивановский К.Е., Раковщик А.Н., Цоглин А.Н. Роликовые и дисковые конвейеры и устройства. – М.: Машиностроение, 1973. – 216 с.
10. Палочкин С.В., Рудовский П.Н. Экспериментальное определение динамических нагрузок в приводной цепи при ее поперечных колебаниях как струны с закрепленными концами // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2020. – № 5(722). – С. 3-10.

References

1. GOST 13568-97 (ISO 606-94) Roller and bushing drive chains. General technical conditions. – Mn.: Publ. house of Standards, 2000. – 22 p.
2. Mevsha N.V., Puntus A.V. Equipment for studying the dynamics of chain gears // Drives and components of machines. 2019, no. 1-2, pp. 17-19.
3. Mevsha N.V. Methods of research and evaluation of the technical condition of chain gears: Diss. ... cand. of tech. sc. – Krasnodar, 2005. – 213 p.
4. Patent No. 228270 RU. Test bench for chain drives of drive roller conveyors for piece loads / A.L. Nosko, E.V. Safronov, V.P. Khlopikov, N.A. Fomin, V.I. Alekseev, I.A. Sharifullin, A.S. Guskova, E.A. Noskova. – Appl. No.2024111159 from 23.04.2024; publ. 21.08.2024, Bul. No. 24.

5. Alekseev V.I., Nosko A.L., Safronov E.V., Khlopkov V.P. Test results of the device for measuring the loading of the drive roller chain of pallet conveyors // Transport, mining and construction engineering: science and production. 2024, no. 24, pp. 52-59.
6. Strain gauge method for measuring deformations: textbook / Edited by V.A. Mehed. – Samara: Publ. house of Samara State Aerospace, 2011. – 56 p.
7. Matveenko V.I., Smolyar A.P. Machines of continuous transport: an educational and methodical manual. – Mogilev: Belorusus-Rus. univ., 2021. – 368 p.
8. Merdanov Sh.M., Smolin N.I., Ivanov A.A., Schaefer V.V. Machines of continuous transmission: textbook / Edited by Sh.M. Merdanov. – Tyumen: TSOGU, 2010. – 208 p.
9. Ivanovsky K.E., Rakovshchik A.N., Tsoglin A.N. Roller and disc conveyors and devices. – M.: Mechanical Engineering, 1973. – 216 p.
10. Palochkin S.V., Rudovsky P.N. Experimental determination of dynamic loads in a drive chain with its transverse vibrations as strings with fixed ends // News of higher educational institutions. Mechanical engineering. 2020, no. 5(722), P. 3-10.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Хлопков Владимир Петрович – аспирант	Khlopkov Vladimir Petrovich – postgraduate student
Алексеев Вадим Игоревич – аспирант	Alekseev Vadim Igorevich – postgraduate student
Фомин Никита Алексеевич – аспирант	Fomin Nikita Alekseevich – postgraduate student
v.p.khlopkov@mail.ru	

Получена 24.09.2024