

УДК 656.2

## К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАТЯЖЕНИЯ ПРОВОЛОЧНЫХ СРЕДСТВ КРЕПЛЕНИЯ

### TO A QUESTION OF DEFINITION OF A PRE-TENSIONING WIRE FASTENERS

#### **Упырь Роман Юрьевич**

кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой  
«Управление эксплуатационной работой»,  
Иркутский Государственный Университет  
Путей Сообщения  
Тел.: +7(3952) 99-96-26  
upyr.roman@gmail.com

#### **Кузнецова Александра Игоревна**

аспирант кафедры «Управление  
эксплуатационной работой»,  
Иркутский Государственный Университет  
Путей Сообщения  
Тел.: +7(9021) 72-59-54  
kuznetcova.aleks@gmail.com

#### **Кожевников Вадим Александрович**

аспирант кафедры «Управление  
эксплуатационной работой»,  
Иркутский Государственный Университет  
Путей Сообщения  
Тел.: +7(9025) 10-11-96  
i227@yandex.ru

**Аннотация.** В работе рассматриваются возможности измерения предварительного натяжения проволочных элементов крепления. Предложен теоретический и практический подход для определения предварительных усилий на примере проволочной растяжки в зависимости от геометрических характеристик самого крепежного элемента.

**Ключевые слова:** проволочная растяжка, угол раскручивания, растяжение, датчик натяжения.

#### **Upyr Roman Yurevitch**

Ph.D., Associate Professor,  
Head of the Department  
«Management of operation work»,  
Irkutsk state university of  
railway engineers  
Ph.: +7(3952) 99-96-26  
upyr.roman@gmail.com

#### **Kuznetcova Aleksandra Igorevna**

Graduate student of the Department  
«Management of operation work»,  
Irkutsk state university of  
railway engineers  
Ph.: +7(9021) 72-59-54  
kuznetcova.aleks@gmail.com

#### **Kozhevnikov Vadim Alexandrovich**

Graduate student of the Department  
«Management of operation work»,  
Irkutsk state university of  
railway engineers  
Ph.: +7(9025) 10-11-96  
i227@yandex.ru

**Annotation.** In this paper we consider the possibility of measuring the pre-tensioning the wire fasteners. The theoretical and practical approach for determining the preliminary work on the wire-stretching example depending on the geometric characteristics of the fastener.

**Keywords:** wire stretching, unwinding angle, tension, tension sensor.

**Введение.** Существующая методика оценки эффективности перевозки грузов при участии железнодорожного транспорта учитывает в своем составе затраты на устранение коммерческих браков, возникающих в процессе транспортировки. Возникновение коммерческого брака — случай несохранных перевозок. Несохранными называют перевозки, в результате которых происходят потери или ухудшение качества грузов при транспортировке, в т. ч. во время ожидания погрузки, собственно погрузки, перевозки, выгрузки и доставки к месту потребления. В свою очередь, случаи несохранной перевозки могут быть подразделены на три основные группы: порча или повреждение груза; недостача по числу мест или по массе, но без признаков хищения; хищение груза. Отдельную группу составляют случаи коммерческого брака, когда грузу не причинен ущерб, но возникли дополнительные непроизводительные расходы перевозчика [1], в частности, при ослаблении натяжения крепежных элементов (проволочных элементов крепления(растяжек) или их обрыв [1, 3, 4].

Можно выделить несколько факторов, являющихся причиной ослабления (или обрыва) проволочных растяжек в пути следования:

- неправильная погрузка груза и изготовление проволочных растяжек;
- нарушение режима ведения поезда или возникновение ударных динамических усилий;
- неправильный расчет необходимого числа элементов крепления, что приводит к возникновению усилий в растяжках, превышающих нормативное значение;
- недостаточное или избыточное предварительное усилие в проволочных растяжках.



**Рисунок 1 — Размещение и крепление грузов (гусеничной техники) при помощи проволочных растяжек и упорных блоков на открытом подвижном составе**

Одним из наиболее часто используемых крепежных элементов, применяемых на железнодорожном транспорте, является проволочная растяжка. На рисунке 1 представлен пример закрепления груза проволочными растяжками на железнодорожной платформе.

Под проволочной растяжкой понимается средство крепления, закрепляемое одним концом за увязочное устройство на грузе, другим — за специально предназначенное для этого увязочное устройство на кузове вагона [1]. Проволочные растяжки, как правило, изготавливаются из стальной проволоки по ГОСТ 3282 в термообработанном (отжиг) состоянии круглого сечения ГОСТ (2590). Способ формирования растяжки заключается в следующем: растяжка, выполняется из одной непрерывной нити проволоки. Один конец проволоки обводят два раза вокруг увязочного устройства вагона (груза) и закручивают не менее двух раз вокруг нити. Другой конец проволоки пропускают через увязочные устройства последовательно на грузе и вагоне, формируя растяжку с необходимым числом нитей. Нити растяжки скручивают ломиком или другим приспособлением до натяжения. В нормативном документе [1] рекомендовано для изготовления растяжек проволока диаметром 4–7 мм в 2–8 нитей. Других рекомендаций о силе предварительного натяжения проволочных креплений в [1] не содержится.

Пределы начального натяжения проволочных растяжек и рекомендуемые значения точно не определены [1], хотя эти параметры должны являться определяющими при закреплении груза растяжками. В работе [8] указаны экспериментальные данные, показывающие, что при формировании растяжек предварительное натяжение может находиться в пределах 10–50 кН в зависимости от усилий, возникающих в растяжках. Однако, методика проведения эксперимента, описанная в работе [8] из условий определения усилий, действующих на элементы крепления, не достаточно корректна ввиду наличия «разрыва» в растяжке между точками закрепления для установки измерительного оборудования.

Как показали исследования, существует достаточно много рекомендаций по погрузке и размещению груза [4], [5], расчету усилий в элементах крепления груза, соблюдения допустимых скоростей движения и т.п. Однако, отсутствует способ и методика определения предварительного натяжения проволочных растяжек. Из чего можно сделать вывод о необходимости разработки методики измерения предварительного натяжения и практических рекомендаций, а также теоретического обоснования предлагаемых подходов.

### I. Возможности аналитического определения усилий в проволочных элементах крепления

По существу, если детально рассматривать структуру проволочной растяжки и способ ее изготовления, то можно представить ее в виде упругого пространственного криволинейного стержня (троса или каната) (рис. 2) [1–6].



Рисунок 2 — Модель проволочной растяжки общий вид

Существует несколько способов измерения усилия в проволочной растяжке (как тросовой модели): по растягивающему усилию в растяжке, когда в разрыв растяжки устанавливается тензометрический датчик; по растягивающему усилию, когда на растяжку прикладывается рессорный блок, который является упругим элементом, воспринимающим усилия [8]. При железнодорожных перевозках главным критерием при проведении экспериментальных исследований является обеспечение безопасности движения. Учитывая этот фактор, вышеперечисленные способы измерения усилий в проволочных растяжках не позволяют обеспечить целостность конструкции элементов крепления и нарушают их геометрию.

В работах [3–6,10–12] предложен метод для определения усилий элементах крепления канатной и тросовой структуры путем использования возникающих деформаций. Рассмотрим некоторые положения данного метода. В процессе эксплуатации проволочные растяжки под действием динамических нагрузок испытывают изменения геометрических и технологических свойств: удлинение, разрыв проволок, раскручивание (расслабление), внутренние напряжения. При изготовлении растяжки и последующем ее нагружении (предварительное натяжение) в ней возникают деформации растяжения и кручения. Вне зависимости от используемых подходов [3–6,10–12], связь между продольной силой  $T$ , крутящим моментом  $M_{кр}$ , продольной деформацией  $\varepsilon$ , и относительным углом закручивания  $\varphi$  имеет следующий аналитический вид:

$$\varphi = \frac{M_{кр} \cdot d_{11}}{d_{11} \cdot d_{22} - d_{12}^2} - \frac{T \cdot d_{12}}{d_{11} \cdot d_{22} - d_{12}^2}, \quad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{T \cdot d_{22}}{d_{11} \cdot d_{22} - d_{12}^2} - \frac{M_{кр} \cdot d_{12}}{d_{11} \cdot d_{22} - d_{12}^2}, \quad (2)$$

где  $d_{11}$  и  $d_{22}$  — обобщенные коэффициенты жесткости при растяжении и кручении;  $d_{12}$  — некоторый обобщенный коэффициент влияния.

Из выражений (1), (2) следует, что в общем случае продольная сила, помимо деформаций, порождает кручение, а крутящий момент, помимо кручения — продольную деформацию. Если нагрузить растяжку (в предположении, что один конец ее закреплен, а другой может свободно вращаться), то она под действием внутреннего крутящего момента будет раскручиваться. При этом внешний момент можно положить равным нулю. С учетом преобразований, получим:

$$\varphi = -\frac{T \cdot d_{12}}{d_{11} \cdot d_{22} - d_{12}^2}, \quad (3)$$

$$\varepsilon = \frac{T \cdot d_{22}}{d_{11} \cdot d_{22} - d_{12}^2}. \quad (4)$$

Используя подходы, представленные в работах [3–6, 10–12] к расчету обобщенных жесткостей и коэффициентов влияния, можно получить следующие выражения:

$$d_{11} = \pi \cdot k_1 \cdot a^2 \cdot E_1 \cdot \left[ 1 - \left( 1 + \frac{\nu}{2} \right) \sin^2 \alpha \right], \quad (5)$$

$$d_{12} = \pi \cdot k_1 \cdot a^3 \cdot E_1 \cdot \tan \alpha \frac{\left[ 1 - \left( \frac{4}{3} + \nu \right) \sin^2 \alpha \right]}{2}, \quad (6)$$

$$d_{22} = \pi \cdot k_1 \cdot a^4 \cdot E_1 \cdot \tan^2 \alpha \frac{\left[ 1 - \left( \frac{3}{2} + \frac{3\nu}{4} \right) \sin^2 \alpha \right]}{3}. \quad (7)$$

В выражениях (5)–(7) приняты следующие обозначения:  $k_1$  — параметр, который равен отношению суммарной площади поперечных сечений волокон к площади поперечного сечения троса как кругового цилиндра;  $a$  — радиус троса как кругового цилиндра;  $E_1$  — модуль упругости материала волокон;  $\alpha$  — угол наклона внешнего волокна к оси троса;  $\nu$  — коэффициент Пуассона волокон.

Подставляя выражения (5)–(7) в (3) – (4) получим:

$$\varphi = -\frac{T \cdot 6 \cdot \tan \alpha \left[ 1 - \left( \frac{4}{3} + \nu \right) \sin^2 \alpha \right]}{\pi \cdot k_1 \cdot a^3 \cdot E_1 \cdot \left[ 4 \cdot \left[ 1 - \left( 1 + \frac{\nu}{2} \right) \sin^2 \alpha \right] \cdot \tan^2 \alpha \left[ 1 - \left( \frac{3}{2} + \frac{3\nu}{4} \right) \sin^2 \alpha \right] - \left\{ \tan \alpha \left[ 1 - \left( \frac{4}{3} + \nu \right) \sin^2 \alpha \right] \right\}^2 \right]}, \quad (8)$$

$$\varepsilon = \frac{T \cdot 4 \cdot \tan^2 \alpha \left[ 1 - \left( \frac{3}{2} + \frac{3\nu}{4} \right) \sin^2 \alpha \right]}{\pi \cdot k_1 \cdot a^2 \cdot E_1 \cdot \left[ 4 \cdot \left[ 1 - \left( 1 + \frac{\nu}{2} \right) \sin^2 \alpha \right] \cdot \tan^2 \alpha \left[ 1 - \left( \frac{3}{2} + \frac{3\nu}{4} \right) \sin^2 \alpha \right] - \left\{ \tan \alpha \left[ 1 - \left( \frac{4}{3} + \nu \right) \sin^2 \alpha \right] \right\}^2 \right]}. \quad (9)$$

Используя выражения для значений продольной деформации (9) и относительного угла закручивания (8) для проволочных растяжек можно определить необходимые условия для обеспечения предварительного натяжения проволочных элементов крепления.

## II. Возможности экспериментального определения усилий в проволочных элементах крепления

Ввиду того, что проволочная растяжка представляет собой упругий пространственный криволинейный стрержень, можно использовать для определения предварительного натяжения датчик натяжения троса, общий вид которого представлен на рисунке 3 [9].

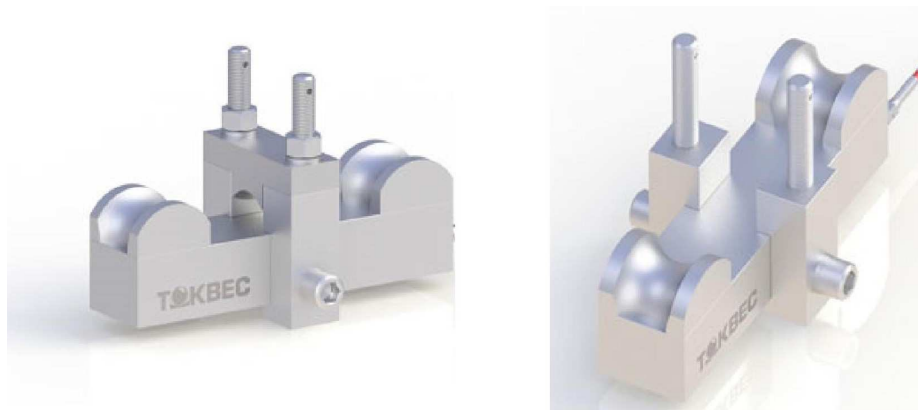


Рисунок 3 — Общий вид датчика измерения предварительных усилий в растяжке

Как было отмечено выше, проволочная растяжка изготавливается из проволоки, с количеством нитей, указанным в [1]. В таблице 1 приведены допускаемые растягивающие усилия на проволочные элементы крепления в зависимости от диаметра проволоки и числа нитей (кгс).

Таблица 1.

Число нитей в растяжке (обвязке)	Диаметр проволоки, мм									
	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,3	6,5	7,0	7,5	8,0
2	270	350	430	530	620	680	730	850	970	1100
	440	560	680	840	980	1080	1150	1350	1550	1750
3	405	525	645	795	930	1020	1095	1275	1455	1650
	660	840	1020	1260	1460	1620	1725	2025	2325	2625
4	540	700	860	1060	1240	1360	1460	1700	1940	2200
	880	1120	1360	1680	1960	2160	2300	2700	3100	3500
5	675	875	1075	1325	1550	1700	1825	2125	2425	2750
	1100	1400	1700	2100	2450	2700	2875	3375	3875	4375
6	810	1050	1290	1590	1860	2040	2190	2550	2910	3300
	1320	1680	2040	2520	2940	3240	3450	4050	4650	5250
7	945	1225	1505	1855	2170	2480	2555	2975	3395	3850
	1540	1960	2380	2940	3430	3780	4025	4725	5425	6125
8	1080	1400	1720	2120	2480	2720	2920	3400	3880	4400
	1760	2240	2720	3360	3920	4320	4600	5400	6200	7000

Исходя из того, что диаметры проволочных растяжек и допускаемые усилия различны и зависят от количества и диаметра нитей, можно использовать датчики различных модификаций, в зависимости от толщины тросовой части проволочной растяжки (рис. 4) [4].

Расположение датчиков предварительного натяжения проволочных растяжек возможно на двух участках (рис. 5): выше места скрутки (рис. 5, а), ниже места скрутки (рис. 5, б). Выбор монтажного места осуществляется в зависимости от расположения проволочной растяжки и геометрии погрузки.

Можно предложить следующий порядок измерения предварительных натяжений [1, 4]:

*Вариант № 1.* На первом этапе один конец проволоки обводят два раза вокруг увязочного устройства вагона (груза) и закручивают не менее двух раз вокруг нити.

Другой конец проволоки пропускают через увязочные устройства последовательно на грузе и вагоне, формируя растяжку с необходимым числом нитей. Нити растяжки предварительно скручивают ломиком или другим приспособлением, формируя тросовую структуру. На втором этапе размещается датчик как показано на рис.5, и подключается к измерительной аппаратуре. На третьем этапе осуществляется «докручивание» растяжки до необходимого предварительного натяжения. После достижения необходимого усилия датчик снимается.

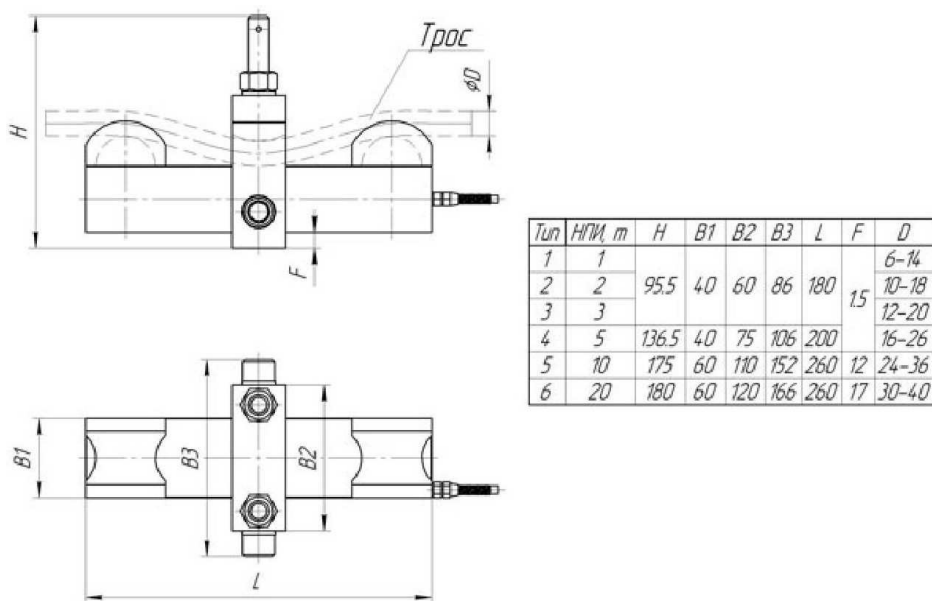


Рисунок 4 — Спецификация датчиков в зависимости от диаметра проволочных растяжек

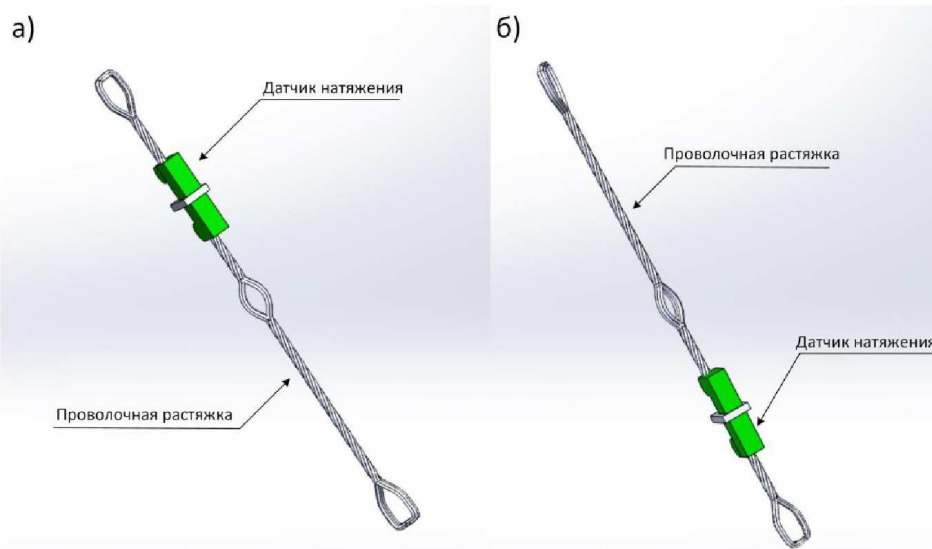


Рисунок 5 — Размещение датчиков предварительного натяжения на проволочных растяжках:  
а — выше места скрутки; б — ниже места скрутки

**Вариант № 2.** На первом этапе растяжку формируют из одной непрерывной нити проволоки. Нить пропускают через увязочное устройство вагона (груза) и перегибают на нем, образуя прядь из двух равных по длине нитей. Далее прядь заводят в увязочные устройства последовательно груза и вагона, формируя растяжку с необходимым числом нитей. Конец пряди обводят два раза вокруг увязочного устройства вагона (груза), затем концы проволоки по отдельности вокруг половинного количества нитей растяжки. Нити растяжки предварительно скручивают ломиком или другим при-

способлением, формируя тросовую структуру. На втором этапе размещается датчик как показано на рисунке 5, и подключается к измерительной аппаратуре. На третьем этапе осуществляется «докручивание» растяжки до необходимого предварительного натяжения. После достижения необходимого усилия датчик снимается.

*Вариант № 3.* На первом этапе растяжку формируют из пряди, состоящей из двух непрерывных нитей проволоки. Прядь пропускают через увязочное устройство вагона (груза) и перегибают, оставляя концы для заделки длиной не менее 500 мм, один из которых закручивают не менее двух раз вокруг пряди. Нити растяжки предварительно скручивают ломиком или другим приспособлением, формируя тросовую структуру. На втором этапе размещается датчик как показано на рисунке 5, и подключается к измерительной аппаратуре. На третьем этапе осуществляется «докручивание» растяжки до необходимого предварительного натяжения. После достижения необходимого усилия датчик снимается.

В заключение рассмотрения возможностей определения усилий предварительного натяжения проволочных элементов крепления, можно сделать некоторые выводы:

1. Рассмотрен способ измерения предварительных усилий в проволочной растяжке, основанный на измерении деформации упругого пространственного криволинейного стресса, позволяющий обеспечить измерение усилий без возникновения угрозы нарушения безопасности движения поездов (без нарушения геометрии погрузки).

2. Предложен теоретический подход для определения предварительных усилий как зависимость угла раскручивания и растяжения проволочной растяжки от геометрических характеристик самого крепежного элемента.

#### **Литература:**

1. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах. – М. : Юридическая фирма «Юртранс», 2003. – 544 с.
2. Упырь Р.Ю. Динамический синтез механических колебательных систем. Особенности пространственных форм соединения элементарных звеньев. – Lambert Academic Publishing, 2011. – 248 с. ISBN 978-3-8465-9857-3.
3. Упырь Р.Ю., Кроль Н.В. Возможности определения основных параметров проволочной растяжки // Материалы пятой международной научно-практической конференции «Транспортная инфраструктура Сибирского региона», посвященной 40-летию начала строительства Байкало-Амурской магистрали, 31 марта – 4 апреля 2014 г. – Иркутск : В 2 т. – Иркутск : ИРГУПС, 2014. – С. 81–84.
4. Упырь Р.Ю., Тимофеева М.В., Родионов Е.Д. О натяжении проволочных растяжек // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 4. – С. 19–20.
5. Малиновский В.А. Стальные канаты. Часть 1. Некоторые вопросы технологии, расчета и проектирования. – Одесса : Астропринт, 2001. – 188 с. ISBN 966-549-571-2.
6. Глушко М.Ф. Стальные подъемные канаты. – Киев : Техника, 1966. – 327 с.
7. Упырь Р.Ю., Тимофеева М.В. Динамическое напряжение как форма оценки состояния механических колебательных систем // Перспективы науки. – Тамбов : ТМБпринт, 2013. – № 12(51). – С. 62–67.
8. Псеровская Е.Д. Результаты оценки реальных ударных нагрузок, действующих на элементы крепления груза // Наука и техника транспорта. – Москва : МИИТ, 2014. – № 1. – С. 64–71.
9. Винокуров Б.Б., Носаев М.А. Датчик нагрузки винтового каната // IV Научно-практическая конференция «Информационно-измерительная техника и технологии», 15–17 мая, 2013 г. – С. 175–177.
10. Калентьев Е.А., Тарасов В.В. Численный анализ напряженно-деформированного состояния пряди каната с линейным касанием при растяжении и кручении // Вычислительная механика сплошных сред. – 2010. – Т. 3. – № 4. – С. 16–28.
11. Гетман И.П., Устинов Ю.А. О методах расчетов канатов. Задача растяжения-кручения // Прикладная математика и механика. – М. : Издательство «Наука», 2008. – Т. 72. – № 1. – С. 81–90.
12. Красноруцкий Д.А. Динамика предварительно деформированных тонких упругих стрессней : Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2011. – 19 с.

**References:**

1. Specifications for stowing and securing cargo in wagons and containers. – M. : The Law Firm «Yurtrans», 2003. – 544 p.
2. Upyr R. Dynamic synthesis of mechanical vibration systems. Features of spatial forms of the compound of elementary units. – Lambert Academic Publishing, 2011. – 248 p. ISBN 978-3-8465-9857-3.
3. Upyr R., Krol N. The possibility of determining the main parameters of a wire stretching // Proceedings of the Fifth International Scientific and Practical Conference «Transport infrastructure in Siberia», devoted to the 40th anniversary of the start of construction of the Baikal-Amur Railway, 31 March – 4 April 2014. Irkutsk: 2 v. – Irkutsk: IrGUPS, 2014. – P. 81–84.
4. Upyr R., Timofeeva M., Rodionov E. About tension guy wires // Railway transport. – 2014. – № 4. – P. 19–20.
5. Malinovsky V. Steel ropes. Part 1. Some questions about technology, calculation and project. – Odessa : Astroprint, 2001. – 188 p. ISBN 966-549-571-2.
6. Glushko M. Steel hoisting ropes. – Kiev : Technology, 1966. – 327 p.
7. Upyr R., Timofeeva M. Dynamic tension as a form of assessment of mechanical oscillatory systems // Prospects of science. – Tambov : TMBprint. – 2013. – № 12 (51). – P. 62–67.
8. Pserovskaya E. The results of evaluation of the actual impact loads acting on cargo securing elements // Science and Technology of transport. – M. : MIIT, 2014. – № 1. – P. 64–71.
9. Vinokurov B., Nosaev M. Load sensor screw rope // IV Scientific and Practical Conference «Information Measuring Technique and Technology», May 15–17, 2013. – P. 175–177.
10. Kalentev E., Tarasov V. Numerical analysis of stress-strain condition strand rope with linear contact tensile and torsion // Computational Mechanics of solid. – 2010. – Vol. 3. – № 4. – P. 16–28.
11. Hetman I., Ustinov Y. The method of calculation of the ropes. The task of the stretching-torsion // Applied Mathematics and Mechanics. – M. : Publishing house «Science», 2008. – T. 72. – № 1. – P. 81–90.
12. Krasnorutskiy D. Dynamics of pre-deformed thin elastic rods : Ph.D. thesis. – Novosibirsk, 2011. – 19 p.