

6-1-2020

## ABOUT FASTENING CARGO ON THE WAGON UNDER THE INFLUENCE OF TRANSVERSE FORCES

Yadgor Ozodovich Ruzmetov

*Tashkent Institute of Railway Engineers, Tashkent, 100167, Uzbekistan, yadgor.ruzmetov@yandex.ru*

Jamol Shihnazarov

*Tashkent Institute of Railway Engineers, Tashkent, 100167, Uzbekistan*

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/tashiit>



Part of the [Transportation Engineering Commons](#)

---

### Recommended Citation

Ruzmetov, Yadgor Ozodovich and Shihnazarov, Jamol (2020) "ABOUT FASTENING CARGO ON THE WAGON UNDER THE INFLUENCE OF TRANSVERSE FORCES," *Journal of Tashkent Institute of Railway Engineers*: Vol. 16 : Iss. 2 , Article 5.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/tashiit/vol16/iss2/5>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Journal of Tashkent Institute of Railway Engineers by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact [sh.erkinov@edu.uz](mailto:sh.erkinov@edu.uz).

УДК (UDC) 656.21.001.2

## ABOUT FASTENING CARGO ON THE WAGON UNDER THE INFLUENCE OF TRANSVERSE FORCES

Рузметов Я.О.<sup>1</sup>, Шихназаров Ж.А.<sup>1</sup>  
Ruzmetov Ya.O.<sup>1</sup>, Shihnazarov J.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> – Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта  
(Ташкент, Узбекистан)

<sup>1</sup> – Tashkent Institute of Railway Engineers (Tashkent, Uzbekistan)

**Abstract:** The content of the article is devoted to the incorrectness of the existing methodology for calculating freight fastening. Based on the conducted research, the article proved that the strength of freight fasteners subjected to transverse forces is not provided. The existing methodology for calculating freight fastenings, firstly, does not take into account the force of preliminary twists of the fastening wire, which increase the adhesion force of the freight to the car floor, and secondly, it does not take into account freight shifts that occur during transportation. The force in all wire fasteners subjected to transverse forces, depending on the geometry of the fasteners, have the same value, which does not correspond to the reality and is one of the main disadvantages of the existing method of calculating freight fasteners.

**Key words:** railroad, wagon, wire fasteners, lateral forces, efforts in wire fasteners, incorrectness of the existing calculation procedure.

## О КРЕПЛЕНИИ ГРУЗА НА ВАГОНЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ

**Аннотация:** Содержание статьи посвящено о некорректности существующей методики расчета крепления груза. В статье на основе проведенных исследований доказано, что прочность креплений груза при воздействии поперечных сил не обеспечена. Существующая методика расчета креплений груза, во-первых, не учитывает усилие предварительных скруток проволоки крепления, увеличивающее силу сцепления груза с полом вагона, во-вторых, не учитывает сдвиги груза, происходящие в процессе перевозки. Усилия во всех проволочных креплениях при воздействии поперечных сил в зависимости от геометрии крепления, имеют одно и то же значение, что не соответствует действительности и является одним из основных недостатков существующей методики расчета креплений груза.

**Ключевые слова:** железная дорога, вагон, проволочные крепления, поперечные силы, усилия в проволочных креплениях, некорректности существующей методики расчета.

**Введение.** Проблемы крепления грузов на железнодорожном транспорте общеизвестны [1 – 22]. Некорректность формул в нормативно-техническом документе [19], по которым проводят расчёт гибких элементов крепления груза, изложены в [12 – 17, 20, 22]. Так, например, в [19] вовсе отсутствуют понятия сдвига поперёк вагона (т. е.  $\Delta u \neq 0$ ), усилия предварительных скруток проволоки ( $R_{0i} \neq 0$ ) и усилия в проволочных креплениях различного расположения ( $R_i \neq 0$ ).

Для исключения случаев появления потенциально опасных ситуаций, создающих угрозу безопасности движения грузовых поездов, и обеспечивающих сохранность перевозимых на

открытом подвижном составе различного рода грузов, важным является корректность имеющихся методик расчета крепления грузов.

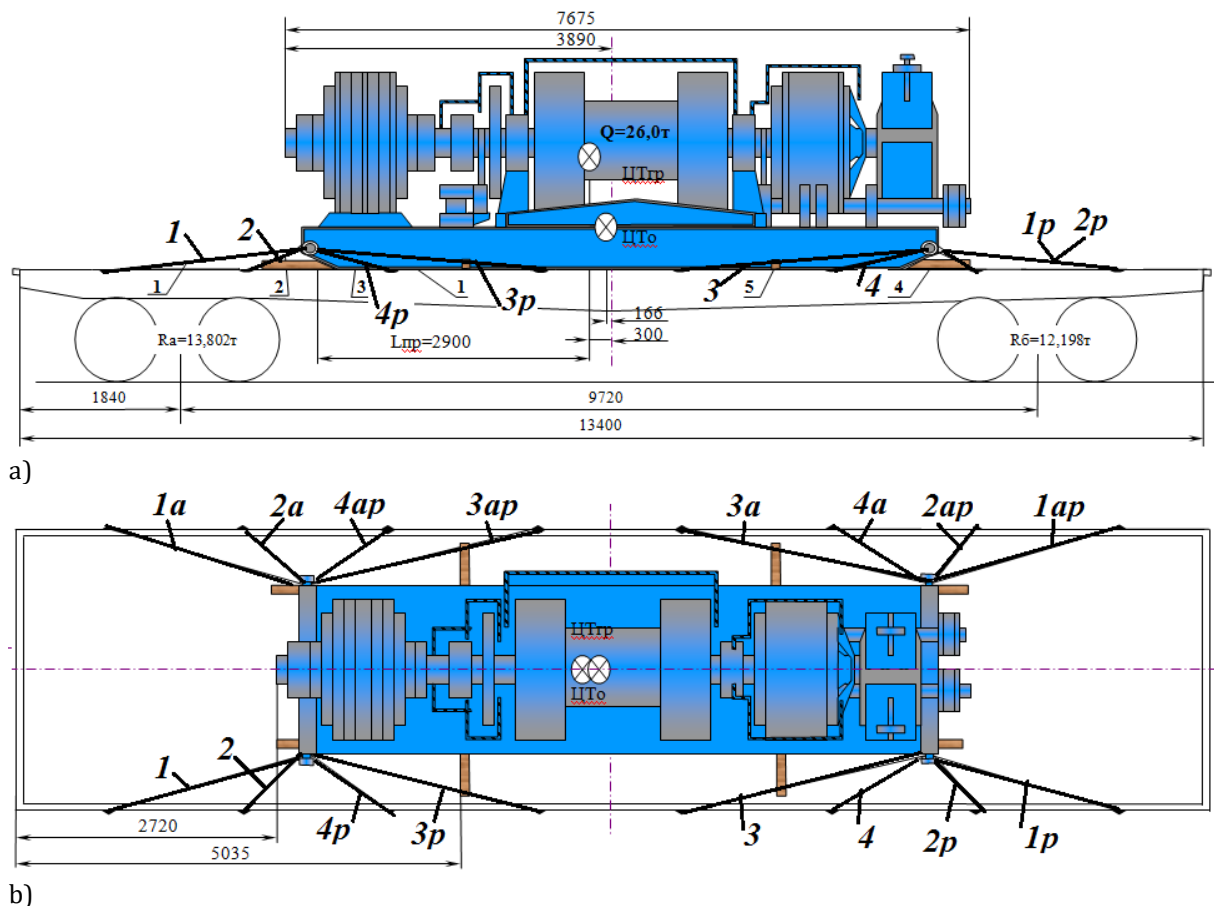
В настоящей статье приведем пример решения технической проблемы расчета крепления конкретного груза, перевозимого на железнодорожной платформе. Данный пример, на наш взгляд, представляет практически интерес для транспортной науки.

**Цель.** Обосновать, что при расчетах проволочных креплений груза на вагоне в существующих нормативно-технических документах отсутствует учет влияние предварительных усилий этих креплений (которыми подвергаются каждое из них в процессе подготовки груза к отправке), учет сдвига груза в процессе перевозки и, как следствие этого, удлинения в проволочных креплениях. В связи с этим, отметить необходимость применения новой методики расчета по размещению и креплению грузов на вагоне [14 – 18, 22].

**Формулировка задачи.** На конкретных примерах привести результаты расчётов усилий в проволочных креплениях груза на вагоне.

**Методика исследований.** Исследования опирается на основной закон динамики при относительном движении классической механики [6, 14 – 18].

Для примера покажем результаты расчетов усилий в гибких элементах крепления лебёдки буровой ЛБУ-1200 на железнодорожной платформе (рис. 1).



**Рисунок 1. Схема размещения и крепления груза на платформе**

а) – главный вид; б) – вид сверху

На рис. 1 цифрами 1 – 4, 1а – 4а; 1р – 4р, 1ар – 4ар – обозначены номера упругих элементов крепления как одного, так и другого направления.

Погрузка запроектирована на 4-хосную универсальную железнодорожную платформу с деревянным или деревометаллическим полом с шириной полосы не более 1100 мм. Груз установлен на пол платформы со смещением центра тяжести от поперечной оси платформы.

Продольные и поперечные силы, приходящиеся на груз в процессе транспортировки, воспринимаются:

- в продольном направлении четырьмя парами проволочными креплениями  $R_1 - R_4$  (по 2 пары растяжек из проволоки диаметром 6 мм в 8 нитей в каждом направлении) и брусками позиции;

- в поперечном направлении четырьмя проволочными креплениями  $R_1 - R_4$  и  $R_{1p} - R_{4p}$  в каждом из направлений и упорными брусками, прибитыми к полу платформы.

**Математическое описание решения задачи.** Вычисление сил, воспринимаемых упругими и упорными элементами крепления, по формулам, приведенным в [14, 15], применяя систему Mathcad [23], изложим в следующей последовательности.

1) Расчёт переносных сил инерции, воспринимаемых упругими элементами крепления груза.

Переносная сила инерции  $I_{ey}$ , действующая на элементы крепления, поперек вагона [14, 15], кН:

$$I_{ey} = k_{д.у} G, \quad (1)$$

где  $k_{д.у} = a_{ey} / g$  - коэффициент поперечной динамики вагона в долях от g;  $a_{ey}$  - переносное ускорение вагона поперек вагона (0.46 ÷ 0.55), м/с<sup>2</sup>;  $G$  - сила тяжести груза, кН.

При принятых значениях:  $a_{ey} = 0.52g$ ,  $k_{д.у} = a_{ey} / g = 0.52$  и  $G = 260$ , кН:

$$I_{ey} = k_{д.у} G = 0.52 \cdot 260 = 135.2$$

2) Вертикальная переносная сила инерции  $I_{ez}$ , воспринимаемая упругими элементами крепления, [14, 15], кН:

$$I_{ez} = k_{д.з} G, \quad (2)$$

где  $k_{д.з} = a_{ez} / g$  - коэффициент вертикальной динамики вагона в долях от g;  $a_{ez} = 0.62g$  - переносное ускорение вагона по вертикали (0.46 ÷ 0.66), м/с<sup>2</sup>.

При исходных данных:  $a_{ez} = 0.62g$ ,  $k_{д.з} = a_{ez} / g = 0.62$  и  $G = 260$ , кН:

$$I_{ez} = k_{д.з} G = 0.62 \cdot 260 = 161.2$$

3) Определение ветровой нагрузки [6, 12, 14, 15, 19]:

$$F_{в.0} = 0.5 A_{нав} \cdot \quad (3)$$

Здесь 0.5 - коэффициент, учитывающий наветренную поверхности груза, кН/м<sup>2</sup>;  $A_{нав}$  - площадь наветренной поверхности груза, м<sup>2</sup>, которая определяется по формуле:

$$A_{нав} = k_c 10^6 \cdot 2 \cdot H \cdot 2 \cdot L, \quad (4)$$

где  $k_c$  - коэффициент, учитывающий сплошность наветренной поверхности груза, м<sup>2</sup>;  $2 \cdot L$  - длина груза, м;  $2 \cdot H$  - высота груза, м;  $c$  - коэффициент, учитывающий форму наветренной поверхности груза;  $\rho_v$  - плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $v_v$  - скорость ветра, м/с.

Принимая  $k_c = 0.75$ ;  $2 \cdot L = 7.674 \times 10^3$ ;  $2 \cdot H = 2.42 \times 10^3$ ;  $c = 0.96$ ;  $\rho_v = 1.29$ ;  $v_v = 28.4$ , и подставляя в (3) и (4), получим:

$$A_{\text{нав}} = k_c 10^6 \cdot 2 \cdot H \cdot 2 \cdot L = 0.75 \cdot 10^{-6} \cdot 2.42 \times 10^3 \cdot 7.674 \times 10^3 = 13.928 \text{ м}^2;$$

$$F_{\text{в}} = 0.5 A_{\text{нав}} = 0.5 \cdot 13.928 = 6.964 \text{ (формула (11) в [18]), кН.}$$

4) Сила трения при сцеплении груза с полом вагона и при скольжении груза относительно пола вагона (см. формулу (3.10) в [14]), кН:

$$F_{\text{тр.сц.у}} = f_{\text{сц}} G (1 - k_{\text{д.з}}); \quad (5)$$

Здесь  $f_{\text{сц}}$  – коэффициент трения при сцепления (металл по дереву  $f_{\text{сц}} = 0.4$ );  $f$  – коэффициент трения при скольжении (обычно  $f = 0.7 f_{\text{сц}}$ ).

При исходных данных  $f = 0.7 \cdot 0.4 = 0.28$ ,  $k_{\text{д.з}} = 0.62$  и  $G = 260$ , кН:

$$F_{\text{тр.сц.у}} = 0.4 \cdot 260 \cdot (1 - 0.62) = 39.52$$

5) Нахождение «сдвигающей» силы поперек вагона [14, 15], кН:

$$F_{\text{сд.у}} = k_{\text{б}} (I_{\text{еу}} + F_{\text{в}}), \quad (6)$$

где  $k_{\text{б}}$  – коэффициент безопасности (или устойчивости от опрокидывания, обычно в технике  $k_{\text{б}} = 1.25$  [24, С. 81]).

При заданных исходных данных  $k_{\text{б}} = 1.25$ ,  $I_{\text{еу}} = 135.2$  и  $F_{\text{в}} = 6.956$  кН:

$$F_{\text{сд.у}} = F_{\text{у}} = 1.25 (135.2 + 6.956) = 177.695$$

6) Определение «сдвигающей» силы, воспринимаемой упругими элементами крепления груза поперек вагона, при учёте силы трения сцепления и скольжения (см. формулу (3.19) в [14]), кН:

$$\Delta F_{\text{сц.у}} = F_{\text{сд.у}} - F_{\text{тр.сц.у}} \quad (7)$$

Подставляя исходные данные в виде:  $F_{\text{сд.у}} = 177.695$ ,  $F_{\text{тр.сц.у}} = 39.52$  и  $F_{\text{тр.у}} = 27.664$  кН в последние формулы, будем иметь, кН:

$$\Delta F_{\text{сц.у}} = F_{\text{сд.у}} - F_{\text{тр.сц.у}} = 177.695 - 39.52 = 138.185$$

7) Реакции упорных брусков можно найти по формулам (см. (47) Приложение 3 к СМГС [19]):

$$R_{\text{бр.у}} = k_1 n_{\text{кр.у}} n_{\text{бр.у}} [R_{\text{кр}}], \quad (8)$$

где  $k_1 = 0.6$  – коэффициент прочности крепления упорных брусков (обычно принимают  $0.5 \div 0.8$ ), шт.;  $n_{\text{кр.у}} = 5$  и  $n_{\text{бр.у}} = 2$  – соответственно количество крепежных изделий (гвоздя) и упорных брусков, принятые согласно схеме размещения и крепления груза на вагоне, шт. (см. рис. 1), шт.;

$[R_{\text{кр}}] = 1.08$  – допускаемое значение силы, воспринимаемое одним крепёжным изделием (см. табл. 32 Приложение 3 к СМГС [19]), кН.

Подставляя исходные данные в формулу (8), получим значения реакции упорных брусков с принятым количеством крепежных изделий (гвоздя), кН:

$$R_{\text{бр.у}} = k_1 n_{\text{кр.у}} n_{\text{бр.у}} [R_{\text{кр}}] = 0.6 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 1.08 = 6.28.$$

8) Определение поперечной силы,  $\Delta F_{\text{бр.сц.у}}$  воспринимаемой средствами крепления груза без учета упругих сил и сил трения от предварительных скруток проволоки, но с учётом реакции упорных брусков  $R_{\text{бр.у}}$  только одного направления, согласно формуле [14, 15]:

$$\Delta F_{\text{бр.ц.у}} = \Delta F_{\text{ц.у}} - R_{\text{бр.у}} \quad (9)$$

Подставляя исходных данные, рассчитанные по формулам (7), в (9), получим, кН:

$$\Delta F_{\text{бр.ц.у}} = 138.185 - 6.48 = 131.695$$

Как видно, здесь явно произойдет поперечный сдвиг груза. В этом случае упорные бруски потеряют связь с деревянным полом вагона.

**Результаты расчётов усилий в креплениях груза по формулам приложение 3 [19]**

Усилия (т.е. внутренние силы) в креплениях груза как *одного*, так и *другого* направления при воздействии поперечных сил определим по формулам (см. формулу (40) в [19]), которые для удобства расчета нами представлены в виде:

$$R_{ky} = \frac{\Delta F_{\text{бр.ц.у}}}{c} \quad (k = 1,2; \quad c \in \{d1, d2\}), \quad (10)$$

где  $\Delta F_{\text{бр.ц.у}}$  – поперечная сила, воспринимаемая упругими и упорными элементами крепления (см. формулу (9), где  $\Delta F_{\text{бр.ц.у}} = 131.695$  кН);

$d1$  и  $d2$  – безразмерные постоянные числа, которые определяются через заданные значения физико-геометрических параметров проволочных креплений в виде:

$$d1 = f_{\text{ц}} \times \frac{h_i}{l_i} + \frac{b_i}{l_i} + f_{\text{ц}} \times \frac{h_{ip}}{l_{ip}} + \frac{b_{ip}}{l_{ip}}; \quad (i = 1,4) \quad (11)$$

$$d2 = f_{\text{ц}} \times \frac{h_{ia}}{l_{ia}} + \frac{b_{ia}}{l_{ia}} + f_{\text{ц}} \times \frac{h_{iap}}{l_{iap}} + \frac{b_{iap}}{l_{iap}} \quad (12)$$

Здесь  $h_i, b_i$  и  $l_i$ ;  $h_{ip}, b_{ip}$  и  $l_{ip}$ ;  $h_{ia}, b_{ia}$  и  $l_{ia}$ ;  $h_{iap}, b_{iap}$  и  $l_{iap}$  – рассчитанные по данным чертежа значения проекции упругих элементов крепления как *одного*, так и *другого* направления, соответственно, на вертикальную и поперечную ось вагона и длина этих креплений, м.

Для рассматриваемого примера эти геометрические параметры креплений сведены в табл. 1.

**Таблица 1**

**Геометрические параметры креплений, м**

Обозначение элементов крепления	Направление крепления	Величины проекций элементов креплений и их длины (м)			
$h_i$	Одно направление	0.302	0.302	0.302	0.302
$b_i$		0.572	0.572	0.572	0.572
$l_i$		2.059	0.854	2.143	1.044
$h_{ia}$		0.302	0.302	0.302	0.302
$b_{ip}$		0.572	0.572	0.572	0.572
$l_{ia}$		2.059	0.854	2.143	1.044
$h_{ip}$	Другое направление	0.302	0.302	0.302	0.302
$b_{ia}$		0.572	0.572	0.572	0.572
$l_{ip}$		2.059	0.799	2.31	0.977
$h_{iap}$		0.302	0.302	0.302	0.302
$b_{iap}$		0.572	0.572	0.572	0.572
$l_{iap}$		1.977	0.799	2.31	0.977

Также заметим, что здесь диаметр проволоки крепления и количество нитей в них приняты, соответственно, равными  $d = 6$  мм и  $n = 8$  шт.

Здесь оговоримся, что вывод формулы (40) в [19] общеизвестен [12, С. 133-134].

Подставляя данные табл. 1, в формулы (11) и (12) с учетом того, что коэффициент трения сцепления  $f_{\text{сц.}} = 0.45$ , будем иметь:

$$d1 = 0.4 \times \frac{0.302}{2.059} + \frac{0.572}{2.059} + 0.4 \times \frac{0.302}{0.854} + \frac{0.572}{0.854} + 0.4 \times \frac{0.302}{2.143} + \frac{0.572}{2.143} +$$

$$+ 0.4 \times \frac{0.302}{1.044} + \frac{0.572}{1.044} + 0.4 \times \frac{0.302}{2.059} + \frac{0.572}{2.059} + 0.4 \times \frac{0.302}{0.799} + \frac{0.572}{0.799} + = 4.348;$$

$$+ 0.4 \times \frac{0.302}{2.31} + \frac{0.572}{2.31} + 0.4 \times \frac{0.302}{0.977} + \frac{0.572}{0.977}$$

$$d2 = 0.4 \times \frac{0.302}{2.059} + \frac{0.572}{2.059} + 0.4 \times \frac{0.302}{0.854} + \frac{0.572}{0.854} + 0.4 \times \frac{0.302}{2.143} + \frac{0.572}{2.143} +$$

$$+ 0.4 \times \frac{0.302}{1.044} + \frac{0.572}{1.044} + 0.4 \times \frac{0.302}{1.977} + \frac{0.572}{1.977} + 0.4 \times \frac{0.302}{0.799} + \frac{0.572}{0.799} + = 4.362;$$

$$+ 0.4 \times \frac{0.302}{2.31} + \frac{0.572}{2.31} + 0.4 \times \frac{0.302}{0.977} + \frac{0.572}{0.977}$$

Подставляя полученные значения безразмерных постоянных чисел  $d1$  и  $d2$  в формулу (10) и учитывая несимметричность расположения элементов крепления относительно поперечной оси как *одного*, так и *другого* направления, получим, кН:

$$R_{1y} = \frac{\Delta F_{\text{брсц.у}}}{d1} = \frac{131.695}{4.348} = 30.288; \quad R_{2y} = \frac{\Delta F_{\text{брсц.у}}}{d2} = \frac{131.695}{4.362} = 30.19.$$

Как видно, усилия во всех гибких упругих элементах крепления груза как *одного*, так и *другого* направления при воздействии поперечных сил, *независимо* от различных значений геометрических параметров крепления (см. табл.1), *имеют одно и то же значение*, что не соответствует действительности. Это подтверждает бессмысленность методики расчета крепления груза по формулам Приложение 3 в [19] к оценке безопасности перевозочного процесса, поскольку в ней расчёты проводятся без учета усилий предварительных скруток проволочных креплений, которым подвергаются эти крепления в процессе подготовки груза к отправке. Помимо того, по существующей методике расчёта прочность упругих элементов крепления с диаметром  $d = 6$  мм и количеством нитей  $n = 8$  шт. не обеспечена, поскольку усилия в креплениях больше, чем допустимое ( $R_{\text{доп}8} = 24.8$  кН).

### Результаты расчётов усилий в креплениях груза по формулам приложение 8 [1, 19]

При этом учтем, что коэффициент трения сцепления  $f_{\text{сц}} = 0.4$ ,  $\Delta F_{\text{брсц.у}} = 131.695$  кН (см. формулу (9)). Здесь особо отметим, что замечания к выводу формулы Приложение 8 в [19] также общеизвестны [12, С. 147-148]. Помимо того, оговоримся, что формулы Приложение 8 в [19] является частным случаем, формул для расчета усилий в креплениях груза при воздействии поперечных сил, выведенных в [14, С. 204-215].

Усилия в проволочных креплениях при воздействии поперечных сил как *одного*, так и *другого* направления выполним по формуле (3) Приложение 8 в [19]:

$$R_{iy} = Z_{ky} \times \frac{n_i}{l_i} \times \frac{b_i}{l_i}; \quad R_{ipy} = Z_{ky} \times \frac{n_{ip}}{l_{ip}} \times \frac{b_{ip}}{l_{ip}}, \quad (13)$$

$$R_{iaiy} = Z_{ky} \times \frac{n_{ia}}{l_{ia}} \times \frac{b_{ia}}{l_{ia}}; \quad R_{iapuy} = Z_{ky} \times \frac{n_{iap}}{l_{iap}} \times \frac{b_{iap}}{l_{iap}} \quad (k = 1,2; i = 1,4), \quad (14)$$

где  $Z_{ky}$  – определяются по формуле (4) Приложение 3 в [19, 20]:

$$Z_{ky} = \frac{\Delta F_{\text{брсц.у}}}{C0_{ky}} \quad (k = 1,2; \quad C0_{ky} \in \{C0_{\text{сц.1у}}, C0_{\text{сц.2у}}\}). \quad (15)$$

Здесь  $\Delta F_{бр.ц.у}$  – поперечная сила, воздействующая на упругие и упорные элементы крепления (см. формулу (9));  $f_{ц.}$  – коэффициент трения сцепления (обычно 0.4);  $c0_{ц.1у}$  и  $c0_{ц.2у}$  – дополнительные параметры упругих элементов крепления, имеющие размерность 1/м.

Определение дополнительных параметров упругих элементов крепления  $c0_{ц.у}$  поперек вагона при коэффициенте трения сцепления по формулам, полученным авторами статьи из (4) Приложение 3 в [19]:

$$c0_{ц.1у} = \sum_{i=1}^{n_p} \frac{n_i}{l_i} \times f_{ц.} \times \frac{h_i}{l_i} + \frac{b_i}{l_i} \times \frac{b_i}{l_i} + \sum_{i=1}^{n_p} \frac{n_{ia}}{l_{ia}} \times f_{ц.} \times \frac{h_{ia}}{l_{ia}} + \frac{b_{ia}}{l_{ia}} \times \frac{b_{ia}}{l_{ia}}; \quad (16)$$

$$c0_{ц.2у} = \sum_{i=1}^{n_p} \frac{n_i}{l_i} \times f_{ц.} \times \frac{h_{ip}}{l_{ip}} + \frac{b_{ip}}{l_{ip}} \times \frac{b_{ip}}{l_{ip}} + \sum_{i=1}^{n_p} \frac{n_{ip}}{l_{ip}} \times f_{ц.} \times \frac{h_{iap}}{l_{iap}} + \frac{b_{iap}}{l_{iap}} \times \frac{b_{iap}}{l_{iap}}. \quad (17)$$

Отметим, что здесь геометрические параметры креплений имеют такие же значения, которые приведены в табл. 1.

Подставляя исходные данные из табл. 1 в последние формулы при  $f_{ц.} = 0.45$ ,  $d_i = 6$  мм,  $n_i = 8$  шт., будем иметь, 1/м:

$$c0_{ц.1у} = \begin{aligned} & \frac{8}{2.059} \cdot 0.4 \times \frac{0.302}{2.059} + \frac{0.572}{2.059} \cdot \frac{0.572}{2.059} + \frac{8}{0.854} \cdot 0.4 \times \frac{0.302}{0.854} + \frac{0.572}{0.854} \cdot \frac{0.572}{0.854} + \\ & + \frac{8}{2.143} \cdot 0.4 \times \frac{0.302}{2.143} + \frac{0.572}{2.143} \cdot \frac{0.572}{2.143} + \frac{8}{1.044} \cdot 0.4 \times \frac{0.302}{1.044} + \frac{0.572}{1.044} \cdot \frac{0.572}{1.044} + \\ & + \frac{8}{2.059} \cdot 0.4 \times \frac{0.302}{2.059} + \frac{0.572}{2.059} \cdot \frac{0.572}{2.059} + \frac{8}{0.799} \cdot 0.4 \times \frac{0.302}{0.799} + \frac{0.572}{0.799} \cdot \frac{0.572}{0.799} + \\ & + \frac{8}{2.31} \cdot 0.4 \times \frac{0.302}{2.31} + \frac{0.572}{2.31} \cdot \frac{0.572}{2.31} + \frac{8}{0.977} \cdot 0.4 \times \frac{0.302}{0.977} + \frac{0.572}{0.977} \cdot \frac{0.572}{0.977} + \\ & + \frac{8}{2.059} \cdot 0.4 \times \frac{0.302}{2.059} + \frac{0.572}{2.059} \cdot \frac{0.572}{2.059} + \frac{8}{0.854} \cdot 0.4 \times \frac{0.302}{0.854} + \frac{0.572}{0.854} \cdot \frac{0.572}{0.854} + \\ & + \frac{8}{2.143} \cdot 0.4 \times \frac{0.302}{2.143} + \frac{0.572}{2.143} \cdot \frac{0.572}{2.143} + \frac{8}{1.044} \cdot 0.4 \times \frac{0.302}{1.044} + \frac{0.572}{1.044} \cdot \frac{0.572}{1.044} + \\ c0_{ц.2у} = & + \frac{8}{1.977} \cdot 0.4 \times \frac{0.302}{1.977} + \frac{0.572}{1.977} \cdot \frac{0.572}{1.977} + \frac{8}{0.799} \cdot 0.4 \times \frac{0.302}{0.799} + \frac{0.572}{0.799} \cdot \frac{0.572}{0.799} + \\ & + \frac{8}{2.31} \cdot 0.4 \times \frac{0.302}{2.31} + \frac{0.572}{2.31} \cdot \frac{0.572}{2.31} + \frac{8}{0.977} \cdot 0.4 \times \frac{0.302}{0.977} + \frac{0.572}{0.977} \cdot \frac{0.572}{0.977} \end{aligned} = 18.803;$$

Окончательно получим:  $c0_{ц.1у} = 18.803$  и  $c0_{ц.2у} = 18.85$  1/м.

Подставляя полученные значения в формулу (15), получим, кН·м:

$$Z_{y1} = \frac{\Delta F_{бр.ц.у}}{C0_{ц.у1}} = \frac{131.695}{18.803} = 7.004; \quad Z_{y2} = \frac{\Delta F_{бр.ц.у}}{C0_{ц.у2}} = \frac{131.695}{18.85} = 6.986.$$

Результаты вычислений усилий в элементах креплений груза по формулам (13) и (14) с учетом расчетных данных, полученных по формулам (9), (15) – (17), сведены в табл. 2, кН.



**Таблица 2**  
**Результаты вычисления усилий в элементах креплений груза как одного, так и**  
**другого направления, кН**

Обозначения усилий в креплениях	Направление крепления	Усилия в креплениях, кН			
		$\frac{R_{1y}}{R_{1yp}}$	$\frac{R_{2y}}{R_{2yp}}$	$\frac{R_{3y}}{R_{3yp}}$	$\frac{R_{4y}}{R_{4yp}}$
$\frac{R_{iy}}{R_{iyp}}$	Одно направление	$\frac{R_{1y}}{R_{1yp}}$	$\frac{R_{2y}}{R_{2yp}}$	$\frac{R_{3y}}{R_{3yp}}$	$\frac{R_{4y}}{R_{4yp}}$
		7.55	43.985	6.98	29.418
		7.55	50.16	6.006	33.599
$\frac{R_{iay}}{R_{iapy}}$	Другое направление	$\frac{R_{1ay}}{R_{1apy}}$	$\frac{R_{2ay}}{R_{2apy}}$	$\frac{R_{3ay}}{R_{3apy}}$	$\frac{R_{4ay}}{R_{4apy}}$
		7.536	43.874	6.963	29.344
		8.181	50.034	5.991	33.514

Отсюда ясно, что при воздействии поперечных сил прочность первой и второй пары упругих элементов крепления, как одного, так и другого направления, по методике Приложение 8 в [19] не обеспечены – усилия в креплениях больше, чем допустимое (24.8 кН). И, особенно, во второй паре крепления одного направления усилия превышает допустимое в 1.77 раза ( $44/24.8 \approx 1.7$ ), а другого направления – в 2 раза ( $50/24.8 \approx 2.0$ ), в результате чего можно ожидать их разрушения в процессе перевозки груза. В остальных проволочных креплениях усилия оказались меньше, чем допустимое (24.8 кН). Прочность таких креплений обеспечена.

**Выводы.** 1. Приведена последовательность расчета поперечных сил, воспринимаемых проволочными креплениями груза, которые позволили найти усилия в проволочных креплениях груза (на примере лебёдки ЛП-152) по методике расчета крепления груза по Приложениям 3 и 8 [1, 19].

2. Приведенные результаты расчетов усилий в проволочных креплениях по методике расчета по Приложению 3 в [19]. показали, что прочность некоторых элементов крепления с диаметром  $d = 6$  мм и количеством нитей  $n = 8$  шт. не обеспечена – превышает допустимое более, чем в 2 раза ( $50/24.8 \approx 2.0$ ). Это объясняется тем, что существующая методика расчета креплений груза по Приложению 3 в [19], *во-первых*, не учитывает усилие предварительных скруток проволоки крепления  $R_0$ , увеличивающие силу сцепления груза с полом вагона (оцениваемой коэффициентом трения сцепления), *во-вторых*, не учитывает то, что в процессе перевозки происходят сдвиги груза (оцениваемой коэффициентом трения скольжения). Как видно, усилие во всех проволочных креплениях при воздействии поперечных сил не зависимо от геометрии крепления, имеют одно и то же значение (см. результаты расчета усилий по формуле (11)), что не соответствует действительности и является одним из основных недостатков существующей методики расчета креплений груза по Приложению 3 в [19].

3. Результаты расчетов усилий во всех проволочных креплениях при воздействии поперечных сил в зависимости от геометрии крепления, выполненных по формулам Приложения 8 ТУ [1, 19] (см. табл. 2), имеют различные значения, что соответствует действительности и является одним из основных достоинств этой методики. Однако и этот метод расчёта упругих элементов крепления не учитывает усилие предварительных скруток проволоки крепления. По данной методике также не представляется возможным прогнозировать сдвиг груза поперёк вагона  $\Delta u$  и невозможно прогнозировать удлинения каждого упругого элемента крепления  $\Delta l$  в соответствии с их геометрией.

4. В перспективе для расчетов крепления груза должна быть применена новая методика расчета по размещению и креплению грузов на вагоне [13, 14].

### Литература

1. Зылев В.Б. Вычислительные методы в нелинейной механике конструкций: монография / В.Б. Зылев. – М.: НИЦ «Инженер», 1999. – 145 с.
2. Nils Anderson, Peter Anderson, Robert Bylander, Sven Sokjer, Petersen and Bob Zether: Equipment for Rational Securing of Cargo on railway Wagons / VINNOVA Report/Rapport VR 2004:05 // <http://www.vinnova.se/upload/EPiStorePDF/vr-04-05.pdf>
3. Marten Johanson, Peter Andersson. Equipment for Efficient Cargo Securing and Ferry Fastening of Vehicles/NVF-rapporter/Vä gverket, 2004.  
<http://www.nvfnorden.org/lisalib/getfile.aspx?itemid=1593>
4. Driver's Handbook Cargo Securement. A Guide to the North American Cargo Securement Standard. [http://www.highwaystarmagazine.com/images/Driver\\_Handbook.pdf](http://www.highwaystarmagazine.com/images/Driver_Handbook.pdf)
5. European Best Practice Guidelines on Cargo Securing for Road Transport. 208 p. [http://ec.europa.eu/transport/roadsafety/vehicles/best\\_practice\\_guidelines\\_en.htm](http://ec.europa.eu/transport/roadsafety/vehicles/best_practice_guidelines_en.htm)
6. Комаров К.Л. Теоретическая механика в задачах железнодорожного транспорта: монография / К.Л. Комаров, А.Ф. Яшин. – Новосибирск: Наука, 2004. – 296 с.
7. Priddy, J.D. and Jones, R.A. "Experimental Determination of the Effect of Cargo Variations on Roll Stability," SAE Technical Paper No. 2005-01-3516, November 2005.
8. Billing, J.R. "Industry Practices for Loading and Securing Cargo in Vans and other Closed Trucks," Ontario Trucking Association, Spring, 2006.
9. Hildebrand, E., Balsom, M. and Wilson, F.R. "Impact of Wind Forces on Heavy Truck Stability," Transportation Research Board Annual Meeting 2006, Paper #06-1232.
10. Load Securement for Palletized Freight in Closed Trucks – From an Enforcement Perspective. dPE, Inc. "The Science of Preventing Freight Damage". January 2007. 50 p.
11. Vertical cylinder handling and transportation AIGA 038/06. 24 p. <http://www.asiaiga.org>.
12. Туранов Х.Т. Крепление грузов в вагонах: Учебн. пособие для вузов ж.-д. транспорта / Х.Т. Туранов, Бондаренко, Н.В. Власова. – Екатеринбург.: Издательство «УрГУПС», 2006. – 286 с.
13. Timukhina, E.N.: Mathematical modelling of fastening with cargoes displacement transverse wagon. Transport Problems. 2008. Vol. 3. Issue 3. pp. 65-68.
14. Туранов Х.Т. Теоретическая механика в задачах грузовых перевозок: монография / Х.Т. Туранов. – Новосибирск: Наука, 2009. – 376 с.
15. Туранов Х.Т. Взаимодействие открытого подвижного состава и твердотельного груза: учебн. пособие / Х.Т. Туранов. – М.: ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. – 374 с.
16. Khabibulla Turanov: Analytical investigation of cargo motion lengthwise the wagon under the action of plane force system. Global Journal of Research in Engineering (GJRE-A). Volume 13, Issue X. Version 1.0. New York, 2013. – pp. 7-16.
17. Khabibulla Turanov: Mathematical modeling of cargo motion crosswise the wagon under the action of plane force system. Science and Technology. Vol. 5, No. 1, 2015, pp. 5-14. p-ISSN: 2163-2669. doi: 10.5923/j.scit.2015 0501.02) (ID: 104000126).
18. Туранов, Х.Т. Расчёт продольного сдвига груза цилиндрической формы и усилия в элементах крепления при вариации количество крепёжных элементов / Х.Т. Туранов, Е.Д. Псеровская // Транспорт Урала. 2013. № 3. – С. 16-23.
19. Приложение 3 к СМГС «Технические условия размещения и крепления грузов» [Электронный ресурс]. – URL: <http://osjd.org/doco/public/ru>.
20. Гордиенко А. Технологические аспекты перевозок автотехники в вагонах / А. Гордиенко, Е. Тимухина. Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Palmarium Academic Publishing, 2017. – 168 с.
21. Туранов Х.Т., Рузметов Я.О., Якушев А.В. О деформируемом состоянии механической системы «груз-вагон-крепление» // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2019. Т. 16. №3. С. 455–468. DOI: 10.20295/1815-588X-2019-1-455-468.
22. Turanov Kh., Ruzmetov Y., Vlasova N. Calculating Cargo Securing Elements on a Railway Platform Under the Impact of a Spatial Force System. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913502006>  
E3S Web of Conferences Volume 135 (2019). Don State Technical University. 2019. P. 02006.
23. Кирьянов Д.В. Самоучитель MathCAD 13. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 528 с.

24. Яблонский А.А. Никифорова В.М. Курс теоретической механики. Учебник для техн. вузов. – СПб.: Издательство «Лань», 1998. 768 с.

### References

1. Nils Anderson, Peter Anderson, Robert Bylander, Sven Sokjer, Petersen and Bob Zether: Equipment for Rational Securing of Cargo on railway Wagons / VINNOVA Report/Rapport VR 2004:05 // <http://www.vinnova.se/upload/EPIStorePDF/vr-04-05.pdf>.
2. Marten Johanson, Peter Andersson. Equipment for Efficient Cargo Securing and Ferry Fastening of Vehicles/NVF-rapporter/V å gverket, 2004. <http://www.nvfnorden.org/lisalib/getfile.aspx?itemid=1593>
3. Driver's Handbook Cargo Securement. A Guide to the North American Cargo Securement Standard. [http://www.highwaystarmagazine.com/images/Driver\\_Handbook.pdf](http://www.highwaystarmagazine.com/images/Driver_Handbook.pdf)
4. European Best Practice Guidelines on Cargo Securing for Road Transport. 208 p. [http://ec.europa.eu/transport/roadsafety/vehicles/best\\_practice\\_guidelines\\_en.htm](http://ec.europa.eu/transport/roadsafety/vehicles/best_practice_guidelines_en.htm)
5. Komarov, K.L., Yashin, A.F. (2004). *Teoreticheskaia makhnika v zadachakh gruzovykh perezovok*. Monographii [Theoretical mechanics in problems of railway transport. Monograph]. Novosibirsk: Nauka Publ. (in Russian)
6. Priddy, J.D. and Jones, R.A. "Experimental Determination of the Effect of Cargo Variations on Roll Stability," SAE Technical Paper No. 2005-01-3516, November 2005.
7. Billing, J.R. "Industry Practices for Loading and Securing Cargo in Vans and other Closed Trucks," Ontario Trucking Association, Spring, 2006.
8. Hildebrand, E., Balsom, M. and Wilson, F.R. "Impact of Wind Forces on Heavy Truck Stability," Transportation Research Board Annual Meeting 2006, Paper #06-1232.
9. Load Securement for Palletized Freight in Closed Trucks – From an Enforcement Perspective. dPE, Inc. "The Science of Preventing Freight Damage". January 2007. 50 p.
10. Vertical cylinder handling and transportation AIGA 038/06. 24 p. <http://www.asiaiga.org>.
11. SMGS "Technicheskie usloviia razmeshcheniia i krepleniia gruzov". Prilozheniie 3 [Agreement on International Goods Transport by rail "Technical conditions for allocation and fastening". Appendix 3]. Retrieved February 5, 2020, from <http://osjd.org/doco/public/ru>
12. Turanov, Kh., Timukhina, E.: (2008). Analytical Modelling Cargoes Displacement in Wagon and Tension in Fastening. *Transport Problems*, 3(3), 69-76. ISSN: 1896-0596
13. Turanov, Kh.: (2009). Analytical Basis of Technology Asymmetrical Allocation of Cargo Masses Common Centre t in Wagons. *Transport Problems*, 4(1), 77-86. ISSN: 1896-0596
14. Turanov, Kh.T. (2009). *Teoreticheskaia makhnika v zadachakh gruzovykh perezovok*. Monographii [Theoretical mechanics in cargo transportation problems. Monograph]. Novosibirsk: Nauka Publ. (in Russian)
15. Turanov, Kh., Olentsevich, V.: (2010). Analytical Investigation of Cargo Displacement During the Movement of Rolling Stock on Curved Section of a Track. *Transport Problems*, 5(1), 23-32. ISSN: 1896-0596
16. Turanov, Kh., Portnova, O.: (2010). Development of Dynamical Model of Wheel Machinery Allocated on a Flat-Car. *Transport Problems*, 5(2), 71-82. ISSN: 1896-0596
17. Turanov, Kh., Timukhina, E.: (2011). Working out of Generalized Dynamic Model of Cargo Fixation with Cargo Pads Jointly with Flexible and Thrust Elements under the Action Spatial Force System. *Transport Problems*, 6(2), 79-88. ISSN: 1896-0596
18. Turanov, Kh., Timukhina, E.: (2011). Generalized Mathematical Model of Fastening Technology of Cargo with Pads Jointly with Flexible and Thrust Elements under the Action Spatial Force System. *Transport Problems*, 6(3), 27-39. ISSN: 1896-0596
19. Turanov, Kh.: Analytical investigation of cargo motion lengthwise the wagon under the action of plane force system. *Global J. Res. Eng.: Mech. Mech. Eng.* 13(X), 7–16 (2013). Version 1.0, New York
20. Turanov, Kh.: Mathematical modeling of cargo motion crosswise the wagon under the action of plane force system. *Science and Technology*. 5(1), 5-14 (2015). doi: 10.5923/j.scit.2015 0501.02) (ID: 104000126).

21. Turanov Kh., Ruzmetov Y., Yakushev A.V.: *O deformiruemom sostoyanii mechanicheskoy systemy "gruz-wagon-crepleny"* [On deformable state of the "cargo-wagon-fastening" mechanical system]. *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2019, vol.16, iss.3. pp. 455-468. DOI: 10.20295/1815-588X-2019-1-455-468. (in Russian)

22. Turanov Kh., Ruzmetov Y., Vlasova N.: Calculating Cargo Securing Elements on a Railway Platform Under the Impact of a Spatial Force System. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913502006> E3S Web of Conferences Volume 135 (2019). Don State Technical University. 2019. P. 02006.

23. Kiryanov, D.V.: (2006). *Samouchitel Mathcad 13 [Self-instruction Mathcad 13]*. St. Petersburg: BKhV-Peterburg Publ. (in Russian)

**Сведения об авторах / Information about the authors**

**Рузметов Ядгор Озодович** – кандидат технических наук, доцент, проректор по международному сотрудничеству, Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта, *E-mail: [yadgor.ruzmetov@yandex.ru](mailto:yadgor.ruzmetov@yandex.ru)*

**Шихназаров Жамол Алишерович** – ассистент кафедры «Транспортная логистика и сервис», Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта.

**Ruzmetov Yadgor** - candidate of technical sciences, associate professor, vice rector for international cooperation, Tashkent Institute of railway engineers, *E-mail: [yadgor.ruzmetov@yandex.ru](mailto:yadgor.ruzmetov@yandex.ru)*

**Shihnazarov Jamol** - assistant of the department "Transport logistics and service", Tashkent Institute of railway engineers.