

УДК 656.212.2.073

О влиянии геометрических параметров положения растяжек на их несущую способность при закреплении колесной техники на железнодорожной платформе

В. А. Болотин, Н. Г. Янковская

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Болотин В. А., Янковская Н. Г. О влиянии геометрических параметров положения растяжек на их несущую способность при закреплении колесной техники на железнодорожной платформе // Бюллетень результатов научных исследований. — 2023. — Вып. 3. — С. 18–31. DOI: 10.20295/2223-9987-2023-3-18-31

Аннотация

Цель: Рассмотрены вопросы крепления колесной техники на универсальной железнодорожной платформе. На практике наиболее распространено крепление растяжек за оси колесной техники. Проведено исследование с целью определения оптимальных параметров проволочных растяжек в зависимости от мест их расположения на грузе. Проведенный вычислительный эксперимент позволил выявить, что применяемое место крепления растяжек не является оптимальным. Также исследовано влияние различных факторов на количество гвоздей для крепления упорных брусьев, закрепляющих колесную технику. **Методы:** Применены теория планирования многофакторного эксперимента, методы регрессионного анализа. **Результаты:** Установлено влияние геометрических параметров размещения растяжек на их несущую способность при условии закрепления колесной техники от перекатывания. **Практическая значимость:** Полученные результаты исследований позволяют выбирать наиболее рациональные точки крепления растяжек на раме колесной техники и платформе. Предложенная методика прошла апробацию при перевозках колесной техники со станций Октябрьской железной дороги филиала ОАО «РЖД».

Ключевые слова: Железнодорожный транспорт, открытый подвижной состав, колесная техника, крепление, расчетная схема, многофакторный эксперимент, латинский квадрат, геометрические параметры положения растяжек.

Введение

При перевозке на открытом подвижном составе (чаще на платформе) колесная техника должна быть должным образом закреплена. Для этого используются предусмотренные Техническими условиями (далее — ТУ) [1] и Приложением 3 к СМГС [2] элементы крепления: упорные брусья и проволочные растяжки. Крепление должно обеспечить безопасность перевозки и сохранность груза [3], для чего техника закрепляется от сдвига и перекатывания через упорные брусья. Данной проблеме посвящен ряд научных трудов [4–8], однако ни в одном из них не исследовано влияние геометрических параметров положения растяжек при закреплении колесной техники на их несущую способность.

Состояние вопроса

Место установки растяжек для каждой единицы колесной техники определяется в зависимости от ее конструктивных особенностей и расположения ее на вагоне. Чаще всего крепление растяжками производится за оси техники. Место установки растяжки определяет такие важные геометрические параметры, как углы наклона растяжки к полу вагона и углы между ее проекцией на горизонтальную плоскость и продольной и поперечной осям вагона. От угла наклона зависит величина усилия, воспринимаемая растяжками, а следовательно, способность растяжки удерживать груз от перекатывания через упорный брус, подклинивающий колеса техники при перевозке.

Это подтверждено исследованиями [9], результаты которых использованы и развиты в данной статье. Кроме того, рассматривается влияние на несущую способность растяжек основных параметров колесного груза (масса, диаметр колеса) и геометрических параметров размещения растяжек (места закрепления растяжек на грузе и на боковых увязочных скобах платформы).

Исследование влияния геометрических параметров положения растяжек на их несущую способность

Для исследования принята обобщенная расчетная модель закрепления колесной техники от продольных смещений на платформе (рис. 1).

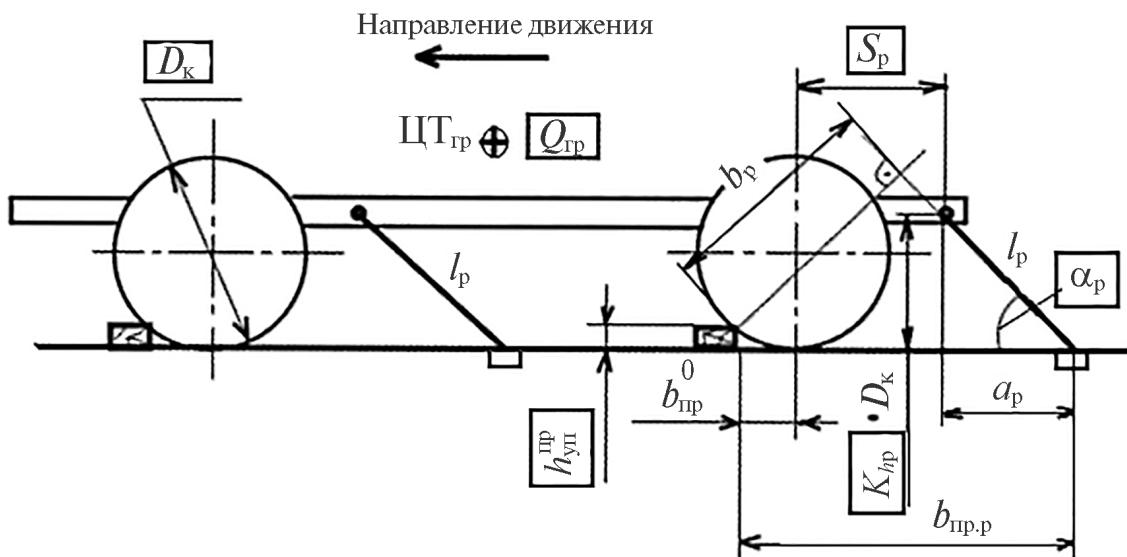


Рис. 1. Обобщенная расчетная модель закрепления колесной техники от продольных смещений на платформе

Колесная техника, предъявляемая к перевозке, разнообразна по конструктивным особенностям, количеству осей, что проблематично учесть в одном исследовании, поэтому в расчетной модели принят ряд допущений и ограничений. Принято для исследования, что колесная техника двухосная, погруженная на универсальную платформу, каждое из четырех колес подклинено одним упорным брусом в одном направлении, каждый упорный брус закрепляется на полу вагона равным количеством гвоздей; кузов колесной техники закрепляется четырьмя однотипными растяжками, имеющими одинаковую длину, углы наклона к полу вагона и к продольной оси вагона; точки закрепления растяжек на кузове техники имеют одинаковые координаты по длине и высоте относительно осей колес. Данное крепление удерживает груз при движении в одну сторону.

Принятое для исследования параметрическое описание груза и элементов крепления включает шесть параметров:

- массу груза $Q_{гр}$;
- диаметр колеса D_k ;
- высоту упорного бруса $h_{уп}^{пр}$;
- продольную координату точки закрепления растяжки на корпусе груза относительно оси колеса S_p ;
- вертикальную координату точки закрепления растяжки на корпусе груза относительно пола вагона, привязанную к диаметру колеса коэффициентом K_{hp} ;
- угол наклона проекции растяжки на вертикальную продольную плоскость вагона к полу вагона α_p .

Ряд параметров не меняется в ходе исследования. К ним отнесены:

- общее количество упорных брусьев, закрепляющих колеса груза от перекачивания, $n_{бр} = 4$;
- общее количество растяжек, закрепляющих груз от сдвига в продольном направлении при движении в одну сторону, $n_p = 4$;
- угол между растяжкой и ее проекцией на вертикальную продольную плоскость вагона, град. Учитывает расположение растяжек под углом к продольной оси вагона, принят равным $\gamma_p = 30^\circ$;
- коэффициент трения между упорным брусом и опорной поверхностью (полом вагона), для пары дерево по дереву $\mu_{бр} = 0,45$;
- нормируемая нагрузка на один гвоздь диаметром 6 мм, которыми прибиваются брусья к полу вагона, $R_{гв} = 108$ кг.

Математические связи рассматриваемых параметров :

- расчетная длина растяжки:

$$l_p = K_{hp} D_k \frac{1}{\sin \alpha_p};$$

– расстояние от точки перекатывания колес до проекции растяжки на вертикальную плоскость, в которой расположены растяжки:

$$b_p = K_{hp} D_k \frac{b_{пр.р}}{l_p};$$

– расстояние от точки перекатывания колес до точки закрепления растяжки на платформе:

$$b_{пр.р} = b_{пр}^0 + S_p + K_{hp} D_k \operatorname{ctg} \alpha_p;$$

– проекция растяжки на продольную ось вагона:

$$a_p = K_{hp} D_k \operatorname{ctg} \alpha_p.$$

Расчет величины продольной инерционной силы $F_{пр}$, действующей на груз, и количество гвоздей для закрепления упорного бруса под колесом производится согласно методике главы 1 ТУ [1].

Последовательность расчетов, соответствующая методике главы 1 ТУ, представлена на рис. 2

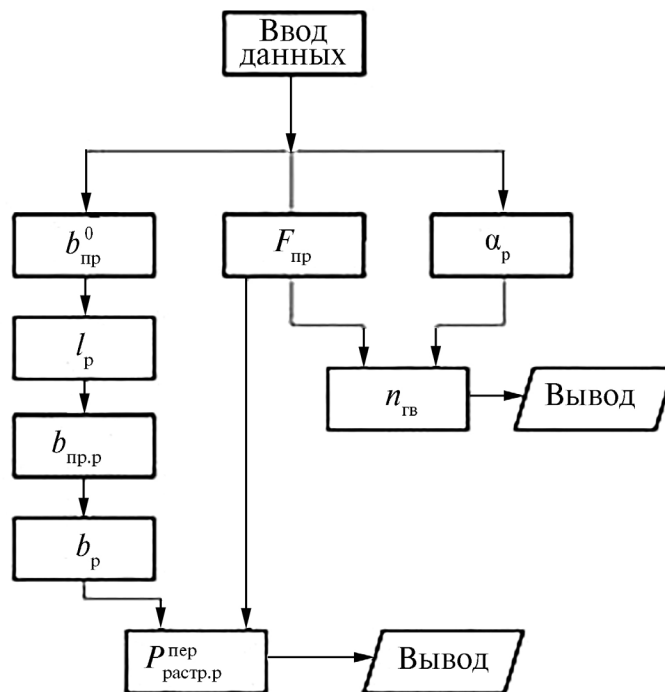


Рис. 2. Блок-схема последовательности расчета параметров элементов крепления колесного груза на платформе

ТАБЛИЦА 1. Принятые значения варьируемых параметров

Обозначение параметра	Размерность параметра	Значение параметра на уровнях				
		1	2	3	4	5
$Q_{гр}$	т	10	20	30	40	50
D_k	м	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6
$h_{уп}^{пр}$	м	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18
S_p	м	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
K_{hp}	—	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70
α_p	град	35	40	45	50	55

С целью сокращения объема вычислений и полного охвата пространства изменения исследуемых параметров расчетной модели крепления колесной техники на платформе использовалась теория планирования многофакторного эксперимента, разработанная в [10] и подтвержденная исследованием других инженерных задач [11, 12]. На основании этой теории предложен и подтвержден результатами исследований метод разработки регрессионных моделей исследуемых процессов вида: $y_j = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, которые удобны в использовании на практике.

Для составления плана проведения вычислительных экспериментов использованы ортогональные латинские квадраты, рекомендованные в [10].

Для каждого из выбранных варьируемых факторов были приняты пять фиксированных уровней значений, приведенных в табл. 1, по которым составлены латинские ортогональные квадраты.

Для сокращения объема вариационных расчетов разработан план проведения многофакторного эксперимента на основе шести (по числу варьируемых факторов) ортогональных квадратов. Разработанный план вариационных расчетов приведен в табл. 2. Из плана проведения вычислительного эксперимента видно, что в каждом варианте расчета принимается новое неповторяющееся сочетание уровней параметров.

Принятая методика планирования эксперимента позволяет путем усреднения результатов оценить влияние на исследуемый процесс любого из принятых параметров. При этом остальные варьируемые параметры оказываются фиксированными на среднем уровне.

Результаты исследования влияния параметров колесного груза и схемы его крепления на платформе, полученные вариационными расчетами с использованием плана проведения вычислительного эксперимента, приведены в табл. 2.

На основании результатов вариационных расчетов потребности гвоздей для крепления упорных брусьев, подкрепляющих колеса техники, и усилий в растяжках при различных комбинациях независимых параметров груза и схемы крепления проделана выборка значений результатов, полученных при значениях каждой из переменных на разных уровнях. По этим усредненным данным построены

графики зависимостей потребности гвоздей и усилий в растяжках от каждого варьируемого параметра (рис. 3 и 4).

Количество гвоздей согласно формуле, приведенной в [9], зависит от массы груза, диаметра колеса и высоты упорных брусьев.

$$n_{\text{ГВ}} = \frac{F_{\text{пр}} (1 - \mu_{\text{бпр}} \operatorname{tg} \alpha_{\text{бпр}})}{n_{\text{бпр}} R_{\text{ГВ}}}$$

ТАБЛИЦА 2. План вариационных расчетов параметров крепления колесного груза на платформе и результаты расчета параметров крепления груза

Вариант расчета	Уровни варьируемых параметров						Результаты расчета	
	$Q_{\text{гр}}$	$D_{\text{к}}$	$h_{\text{уп}}^{\text{пр}}$	$S_{\text{р}}$	$K_{\text{пр}}$	$\alpha_{\text{р}}$	$n_{\text{ГВ}}$	$P_{\text{раст.р}}^{\text{пер}}$
	т	м	м	м	—	град	шт	кг
1	10	0,8	0,10	0,6	0,50	35	6	1500
2	10	1,0	0,12	1,0	0,65	55	6	1066
3	10	1,2	0,14	1,4	0,55	50	6	1050
4	10	1,4	0,16	0,8	0,70	45	6	1388
5	10	1,6	0,18	1,2	0,60	40	6	1373
6	20	0,8	0,12	0,8	0,55	40	15	2229
7	20	1,0	0,14	1,2	0,70	35	14	2013
8	20	1,2	0,16	0,6	0,60	55	13	2853
9	20	1,4	0,18	1,0	0,50	50	13	2644
10	20	1,6	0,10	1,4	0,65	45	5	2588
11	30	0,8	0,14	1,0	0,60	45	23	2529
12	30	1,0	0,16	1,4	0,50	40	22	2711
13	30	1,2	0,18	0,8	0,65	35	21	3754
14	30	1,4	0,10	1,2	0,55	55	9	3747
15	30	1,6	0,12	0,6	0,70	50	10	4782
16	40	0,8	0,16	1,2	0,65	50	33	2586
17	40	1,0	0,18	0,6	0,55	45	31	4767
18	40	1,2	0,10	1,0	0,70	40	16	4819
19	40	1,4	0,12	1,4	0,60	35	16	4929
20	40	1,6	0,14	0,8	0,50	55	17	6177
21	50	0,8	0,18	1,4	0,70	55	42	2506
22	50	1,0	0,10	0,8	0,60	50	24	5758
23	50	1,2	0,12	1,2	0,50	45	24	5596
24	50	1,4	0,14	0,6	0,65	40	24	7290
25	50	1,6	0,16	1,0	0,55	35	24	7238

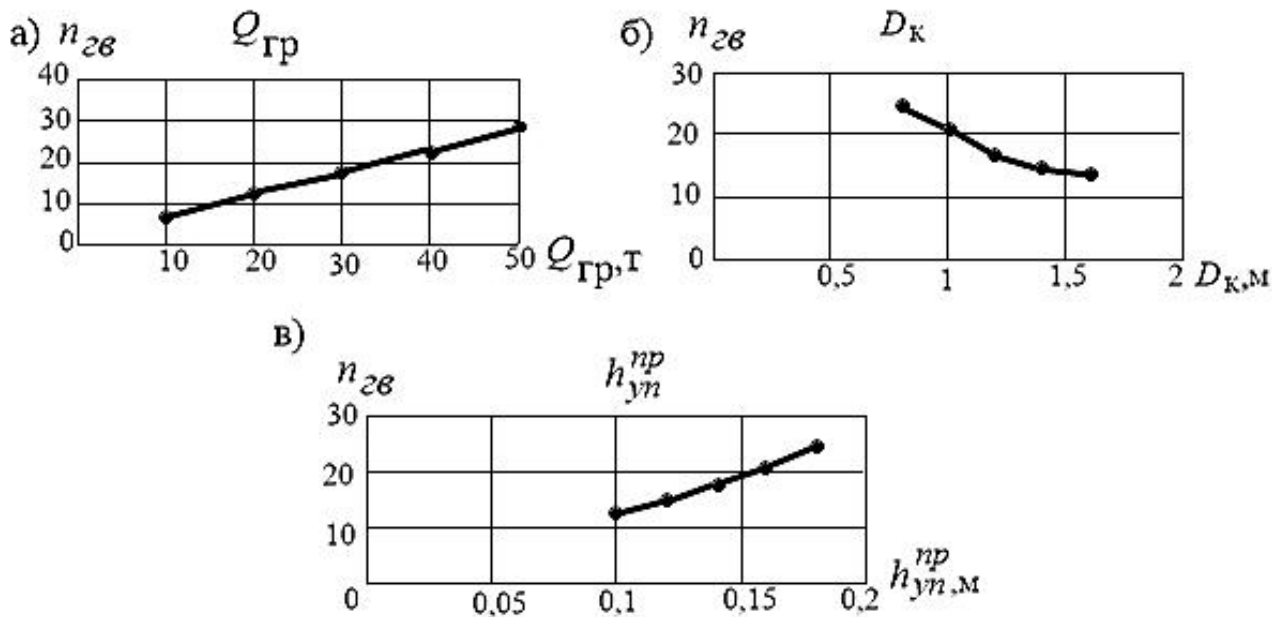


Рис. 3. Графики зависимостей потребности гвоздей для закрепления упорного бруса от параметров груза и высоты упорного бруса:
a — массы груза; *б* — диаметра колеса; *в* — высоты упорного бруса

Анализ результатов исследований (см. рис. 3) показывает, что рост потребности гвоздей при увеличении массы груза и высоты упорного бруса носит линейный характер. Так, при увеличении массы груза с 10 до 50 тонн потребность гвоздей возрастает примерно в 5 раз, с 7 до 29 штук. Увеличение высоты упорного бруса также приводит к увеличению потребности гвоздей вследствие уменьшения величины вертикальной составляющей силы давления колеса на упорный брус. С увеличением высоты упорного бруса со 100 до 180 мм потребность в гвоздях, которыми прибивается упорный брус к полу вагона, возрастает с 13 до 25, т. е. примерно в 2 раза.

Диаметр колеса оказывает иное воздействие. С увеличением диаметра колеса увеличивается величина вертикальной составляющей силы давления колеса на упорный брус. Зависимость носит нелинейный характер. При возрастании диаметра колеса с 800 до 1600 мм потребность в гвоздевом креплении снижается с 25 до 14 штук, т. е. в 1,7 раза.

Усилие в растяжке, удерживающее колесную технику от перекатывания колес, рассчитывается по формуле [1]:

$$P_{\text{раст.р}}^{\text{пер}} = \frac{1,25 F_{\text{пр}} \left(\frac{D_{\text{к}}}{2} - h_{\text{уп}}^{\text{пр}} \right) - Q_{\text{гр}} b_{\text{пр}}^0}{n_{\text{р}} b_{\text{р}} n \cos \gamma_{\text{р}}}$$

Анализ результатов исследований (см. рис. 4) показывает, что изменение расчетного усилия в растяжках носит линейный и слабовыраженный нелинейный характер. Наибольшее влияние на усилие в растяжках оказывают масса груза, диаметр колеса и расстояние точки закрепления растяжки на корпусе груза от оси колеса. Так, при увеличении массы груза с 10 до 50 тонн усилие в растяжках возрастает более чем в 4 раза, с 1275 до 5677 кг.

Увеличение диаметра колеса приводит к возрастанию момента перекатывания, и, как следствие, с увеличением диаметра колеса с 800 до 1600 мм усилие в растяжках возрастает с 2282 до 4431 кг, т. е. в 2 раза.

Увеличение высоты упорного бруса, высоты точки закрепления растяжки на корпусе груза относительно пола вагона и угла наклона растяжки к полу вагона приводит к снижению усилий в растяжках не более 20 %.

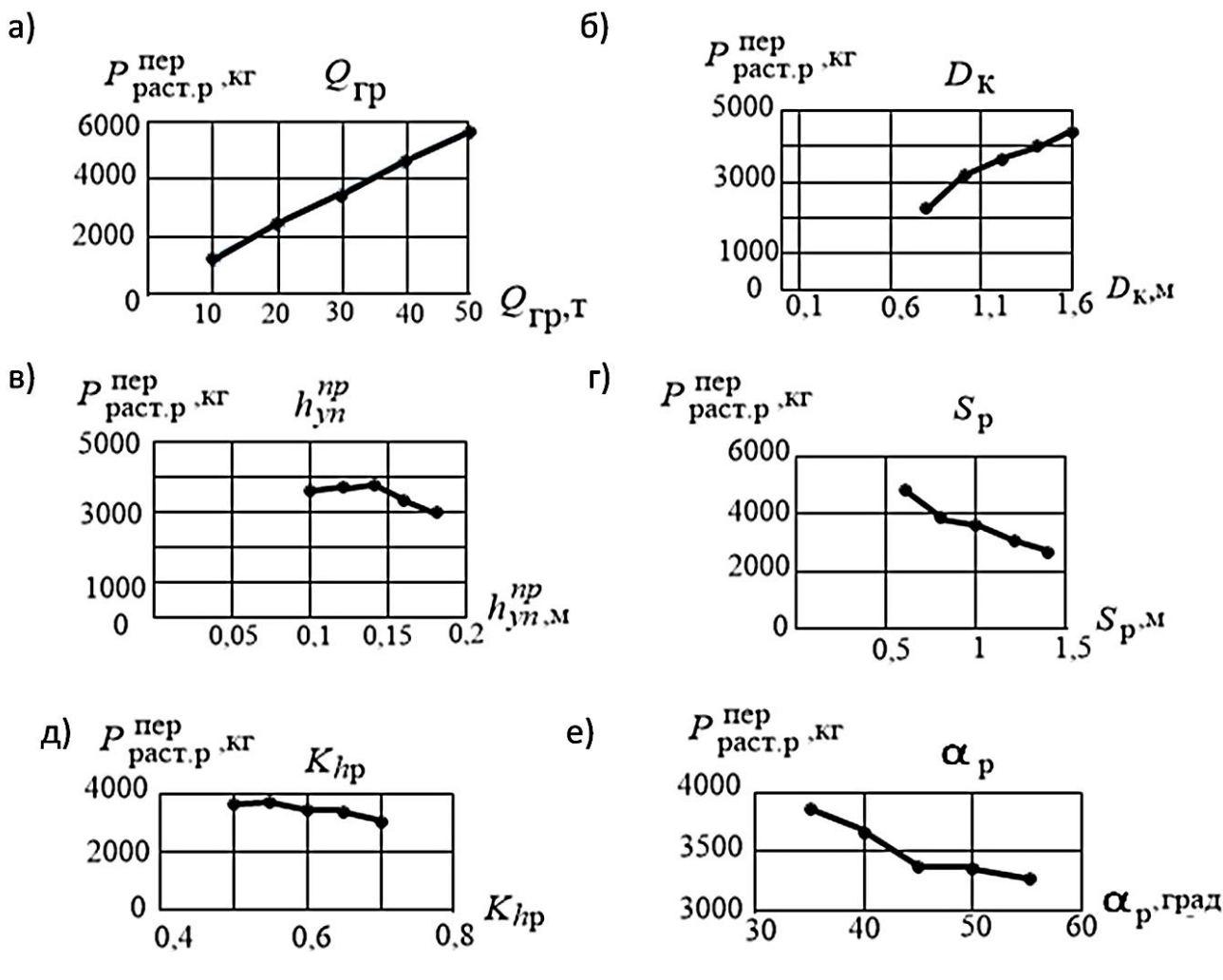


Рис. 4. Графики зависимостей усилий в растяжках, закрепляющих груз, от параметров груза и геометрических параметров расположения растяжек:
 а — массы груза; б — диаметра колеса; в — высоты упорного бруса;
 г — горизонтальной координаты закрепления растяжки на корпусе груза;
 д — вертикальной координаты закрепления растяжки на корпусе груза;
 е — угла наклона растяжки к полу вагона

На базе аппроксимации полученных зависимостей нелинейными и линейными функциями φ_i согласно теории планирования многофакторного эксперимента [10] можно разработать регрессионную модель в виде:

$$\tau = \sum_1^n \varphi_i - (n-1)(\bar{\varphi}),$$

где $\bar{\varphi}$ — глобальное среднее арифметическое из значений искомого параметра τ , рассчитанного по всем реализациям плана выполнения вариационных вычислений функции φ_i ;

n — количество варьируемых переменных.

Аппроксимацией вариационных вычислений значений количества гвоздей, которыми прибиваются упорные брусья к полу платформы, методом наименьших квадратов получены следующие эмпирические формулы по каждому параметру:

$$\varphi_1 = f(Q_{\text{гр}}) = 0,54 Q_{\text{гр}} + 1,8,$$

$$\varphi_2 = f(D_{\text{к}}) = 14,3 D_{\text{к}}^2 - 48,2 D_{\text{к}} + 54,6,$$

$$\varphi_3 = f(h_{\text{уп}}^{\text{пп}}) = 150 h_{\text{уп}}^{\text{пп}} - 2,6.$$

После подстановки приведенных формул в обобщенную формулу регрессионной модели, приведенную выше, с учетом глобального среднего количества гвоздей (18 шт.) получена эмпирическая зависимость для определения количества гвоздей, которыми требуется прибивать к полу платформы упорные брусья:

$$n_{\text{гв}} = 0,54 Q_{\text{гр}} + 14,3 D_{\text{к}}^2 - 48,2 D_{\text{к}} + 150 h_{\text{уп}}^{\text{пп}} + 17,8.$$

Аналогичным методом выведена эмпирическая формула для определения величины усилия в растяжках, используемых для закрепления колесного груза на платформе от перекатывания:

$$\varphi_1 = f(Q_{\text{гр}}) = 109,94 Q_{\text{гр}} + 217.$$

$$\varphi_2 = f(D_{\text{к}}) = -1900 D_{\text{к}}^2 + 7077 Q_{\text{гр}} - 2086,6.$$

$$\varphi_3 = f(K_{\text{hp}}) = -3200 K_{\text{hp}} + 5435.$$

$$\varphi_4 = f(\alpha_{\text{p}}) = -31,08 \alpha_{\text{p}} + 4913.$$

$$\varphi_5 = f(h_{\text{уп}}^{\text{пр}}) = -238\,035,71(h_{\text{уп}}^{\text{пр}})^2 + 58\,005h_{\text{уп}}^{\text{пр}} + 248,82.$$

$$\varphi_6 = f(P_{\text{раст.р}}^{\text{пер}}) = -2444,5 \cdot S_p + 6090.$$

$$P_{\text{раст.р}}^{\text{пер}} = 110Q_{\text{гр}} - 1900cD_{\text{к}}^2 + 7077D_{\text{к}} - 3200nK_{\text{hp}} - \\ - 10^3 \left(238(h_{\text{уп}}^{\text{пр}})^2 + 58h_{\text{уп}}^{\text{пр}} \right) - 2444S_p - 31\alpha_p - 2768.$$

В приведенных формулах для переменных приняты размерности, приведенные в табл. 1.

Расчеты, выполненные по предложенным регрессионным моделям, показывают относительную ошибку не более 5 % с данными эксперимента.

В существующей практике расчетов крепления колесной техники на платформе колесный груз принимается в виде груза с плоской опорой.

Суммарное количество гвоздей, которыми закрепляются упорные брусья под колесами техники, рассчитываются исходя из отсутствия сдвига брусьев при перекачивании колес. Расчет параметров растяжек производится исходя из отсутствия сдвига груза. При этом величина коэффициента трения резиновых колес по деревянному полу вагона принимается на уровне 0,5. Условием такого допущения является надежное затормаживание колес от возможного вращения. Если техника не оборудована стояночными тормозами (прицепы, фургоны и т. п.) принимаемая в расчетах величина коэффициента трения снижается до 0,1.

В табл. 3 приведены сравнительные результаты расчетов усилий в растяжках для исследуемой обобщенной схемы крепления колесного груза на платформе, полученные традиционным расчетом с коэффициентом трения колес по полу вагона 0,1 и полученные по предлагаемой методике расчета с учетом перекачивания колес. Анализ этих данных показывает, что усилия в растяжках, рассчитанные по предлагаемой методике, меньше в среднем на 35 %. Эта разница увеличивается значительно до 50–60 % при больших массах груза 40–50 т.

Заключение

Из приведенных данных следует, что точки закрепления растяжек на корпусе колесной техники надо выбирать наиболее удаленными от вертикальной плоскости, в которой находятся оси колес. Следовательно, широко используемое крепление колесной техники за элементы осей не является рациональным и ведет к снижению несущей способности растяжек, компенсирующих избыточную продольную силу. Это может стать причиной как несохранной перевозки, так и нарушения безопасности движения.

ТАБЛИЦА 3. Сравнительные результаты расчета параметров крепления колесного груза на платформе

Вариант расчета	Уровни варьируемых параметров						$n_{гв}$, шт.	$P_{раст.р}^{пер}$, кг		
	$Q_{гр}$, Т	D_k , М	$h_{уп}^{пр}$, М	S_p , М	$K_{лр}$	α_p , град		Методика расчета		% различия
								предлагаемая	существующая	
1	10	0,8	0,10	0,6	0,50	35	6	1500	1398	-7
2	10	1,0	0,12	1,0	0,65	55	6	1066	1743	+66
3	10	1,2	0,14	1,4	0,55	50	6	1050	1623	+55
4	10	1,4	0,16	0,8	0,70	45	6	1388	1527	+18
5	10	1,6	0,18	1,2	0,60	40	6	1373	1454	+6
6	20	0,8	0,12	0,8	0,55	40	15	2229	2640	+18
7	20	1,0	0,14	1,2	0,70	35	14	2013	2613	+30
8	20	1,2	0,16	0,6	0,60	55	14	2853	3259	+14
9	20	1,4	0,18	1,0	0,50	50	13	2644	3032	+15
10	20	1,6	0,10	1,4	0,65	45	5	2588	4439	+71
11	30	0,8	0,14	1,0	0,60	45	24	2529	3113	+21
12	30	1,0	0,16	1,4	0,50	40	22	2711	3235	+19
13	30	1,2	0,18	0,8	0,65	35	22	3754	3371	-10
14	30	1,4	0,10	1,2	0,55	55	10	3747	8130	+112
15	30	1,6	0,12	0,6	0,70	50	11	4782	7261	+52
16	40	0,8	0,16	1,2	0,65	50	33	2586	4026	+51
17	40	1,0	0,18	0,6	0,55	45	31	4767	3791	-21
18	40	1,2	0,10	1,0	0,70	40	16	4819	7891	+62
19	40	1,4	0,12	1,4	0,60	35	17	4929	7269	+47
20	40	1,6	0,14	0,8	0,50	55	17	6177	9021	+47
21	50	0,8	0,18	1,4	0,70	55	42	2506	4063	+60
22	50	1,0	0,10	0,8	0,60	50	24	5758	9253	+61
23	50	1,2	0,12	1,2	0,50	45	24	5596	8714	+55
24	50	1,4	0,14	0,6	0,65	40	24	7290	8255	+14
25	50	1,6	0,16	1,0	0,55	35	24	7238	7938	+10

Из проведенных исследований также можно сделать вывод о необходимости оборудования корпусов колесной техники для крепления растяжек специальными кронштейнами, проушинами, петлями, место установки которых наиболее удалено от осей колес.

Предложенная методика прошла апробацию при перевозках колесной техники со станций Октябрьской железной дороги филиала ОАО «РЖД» в 2014–20 гг.: агрегат сварочный АС 81 (ТУП07.14-666 00.000 ПЗ), трактор-тягач К-700Т (ТУП07.15-696.00.000 ПЗ), экскаватор Zaxis 210W (ТУП07.15-274-00.000 ПЗ), автокран КС-45721 (ТУП07.17-710 00.000 ПЗ), мотовоз МПТ-6 (ТУП05.20-719 00.000 ПЗ).

Библиографический список

1. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах. — М.: Юртранс, 2003. — 544 с.
2. Приложение 3 к СМГС «Технические условия размещения и крепления грузов». — URL: <http://osjd.org/doco/public/ru>.
3. Нутович В. Е. Цифровое обеспечение и соблюдение технических условий размещения и крепления грузов / В. Е. Нутович // Мир транспорта. — 2018. — № 4. — С. 52–59.
4. Гордиенко А. А. Математическое моделирование взаимодействия шин колесной техники при ее перевозке и пола вагона / А. А. Гордиенко. // Труды международной научно-практической конференции «Транспорт-2013». — Ростов-на-Дону: РГУПС, 2013. — С. 283–285.
5. Гордиенко А. А. Разработка методики оценки амплитуд вертикальных колебаний колесной техники, перевозимой на открытом подвижном составе / А. А. Гордиенко // Транспорт: Наука, техника, управление. — 2013. — № 5. — С. 64–68.
6. Туранов Х. Т. Пример расчета по новой методике гибких элементов крепления колесной техники при воздействии продольных сил / Х. Т. Туранов, Е. Д. Псеровская, А. А. Гордиенко // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. — 2014. — № 4. — С. 50–57.
7. Ситников С. А. Определение устойчивости колесной техники, перевозимой на платформе при наличии гибких элементов крепления / С. А. Ситников // Бюллетень науки и практики. — 2021. — Т. 7. — № 8. — С. 253–263.
8. Туранов Х.Т., Рузметов Я.О., Шихназаров Ж.А. К расчету крепления твердотельного груза при воздействии продольных сил // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2020. Т.10. №1. С.32-42.
9. Болотин В. А. Совершенствование методики расчета крепления колесной техники на открытом железнодорожном подвижном составе / В. А. Болотин, К. Е. Ковалев, А. В. Новичихин // Бюллетень результатов научных исследований. — 2023. — № 1. — С. 183–196.
10. Протоdjяконов М. М. Методика рационального планирования экспериментов / М. М. Протоdjяконов, Р. И. Тедер. — М.: Наука, 1970. — 73 с.
11. Зубарев Ю. М. Применение методов теории планирования многофакторных экспериментов в технологии машиностроения / Ю. М. Зубарев, К. Н. Нечаев, В. И. Катенев и др. — СПб.: ПИМаш, 2000. — 130 с.
12. Зубарев Ю. М. Применение многофакторных экспериментов второго порядка в технологии машиностроения / Ю. М. Зубарев, К. Н. Нечаев, В. И. Катенев и др. — СПб.: ПИМаш, 2002. — 134 с.

Дата поступления: 04.06.2023

Решение о публикации: 12.07.2023

Контактная информация:

БОЛОТИН Валерий Алексеевич — канд. техн. наук; spb-vab@yandex.ru

ЯНКОВСКАЯ Наталья Григорьевна — канд. техн. наук; spbng@rambler.ru

The Influence of the Geometric Parameters of the Tie-Downs Placement on Their Bearing Capacity When Securing Wheeled Vehicles on a Railway Platform

V. A. Bolotin, N. G. Yankovskaya

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Bolotin V. A., Yankovskaya N. G. The Influence of the Geometric Parameters of Tie-Downs Placement on Their Bearing Capacity When Securing Wheeled Vehicles on a Railway Platform. *Bulletin of scientific research results*, 2023, iss. 3, pp. 18–31. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2023-3-18-31

Summary

Purpose: The issues of securing wheeled vehicles on a universal railway platform are considered. In practice, the most common method is securing tie-downs around the axles of the wheeled vehicles. A study has been conducted to determine the optimal parameters of wire tie-downs depending on their placement on the freight. The conducted computational experiment has revealed that the applied place of fixing the tie-downs is not optimal. The influence of various factors on the number of nails for fixing the bumping posts securing the wheeled equipment has also been investigated.

Methods: The theory of planning a multifactorial experiment, methods of regression analysis are applied. **Results:** The influence of the geometric parameters of the placement of tie-downs on their bearing capacity has been established, provided that the wheeled equipment is secured from rolling.

Practical significance: The obtained research results allow us to choose the most rational points for fixing tie-downs on the frame of wheeled vehicles and the platform. The proposed method has been tested during the transportation of wheeled vehicles from the stations of the Oktyabrskaya Railway branch of JSC “Russian Railways”.

Keywords: Railway transport, open rolling stock, wheeled vehicles, securing, design scheme, multifactor experiment, Latin square, geometric parameters of the tie-downs placement.

References

1. *Tekhnicheskie usloviya razmeshcheniya i krepleniya gruzov v vagonakh i konteynerakh* [Technical conditions for the placement and securing of goods in wagons and containers]. Moscow: Yurtrans Publ., 2003, 544 p. (In Russian)

2. *Prilozhenie 3 k SMGS “Tekhnicheskie usloviya razmeshcheniya i krepleniya gruzov”* [Appendix 3 to the SMGS “Technical conditions for the placement and fastening of goods”]. Available at: <http://osjd.org/doco/public/ru>. (In Russian)

3. Nutovich V. E. Tsifrovoye obespechenie i soblyudeniye tekhnicheskikh usloviy razmeshcheniya i krepleniya gruzov [Digital provision and compliance with the technical conditions for the placement and securing of goods]. *Mir transporta* [World of Transport]. 2018, Iss. 4, pp. 52–59. (In Russian)

4. Gordienko A. A. *Matematicheskoe modelirovanie vzaimodeystviya shin kolesnoy tekhniki pri ee perezovozke i pola vagona. Trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Transport-2013"* [Mathematical modeling of the interaction of tires of wheeled vehicles during its transportation and the floor of the car. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Transport-2013"]. Rostov-on-Don: RSUPS Publ., 2013, pp. 283–285. (In Russian)

5. Gordienko A. A. *Razrabotka metodiki otsenki amplitud vertikal'nykh kolebaniy kolesnoy tekhniki, perezovozimoy na otkrytom podvizhnom sostave* [Development of a methodology for estimating the amplitudes of vertical vibrations of wheeled vehicles transported on open rolling stock]. *Transport: Nauka, tekhnika, upravlenie* [Transport: Science, Technology, management]. 2013, Iss. 5, pp. 64–68. (In Russian)

6. Turanov Kh. T., Pserovskaya E. D., Gordienko A. A. *Primer rascheta po novoy metodike gibkikh elementov krepleniya kolesnoy tekhniki pri vozdeystvii prodol'nykh si* [An example of calculation according to a new method of flexible fastening elements of wheeled vehicles under the influence of longitudinal forces]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Nauchnyy informatsionnyy sbornik* [Transport: science, technology, management. Scientific information collection]. 2014, Iss. 4, pp. 50–57. (In Russian)

7. Sitnikov S. A. *Opredelenie ustoychivosti kolesnoy tekhniki, perezovozimoy na platforme pri nalichii gibkikh elementov krepleniya* [Determination of the stability of wheeled vehicles transported on a platform in the presence of flexible fastening elements]. *Byulleten' nauki i praktiki* [Bulletin of Science and Practice]. 2021, vol. 7, Iss. 8, pp. 253–263. (In Russian)

8. Turanov H. T., Ruzmetov Ya. O., Shikhnazarov Zh. A. *K raschetu krepleniya tverdotel'nogo gruzha pri vozdeystvii prodol'nykh sil* [To the calculation of the fastening of solid-state cargo under the influence of longitudinal forces]. *Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii* [Modern problems of the transport complex of Russia]. 2020, vol. 10, Iss. 1, pp. 32–42. (In Russian)

9. Bolotin V. A., Kovalev K. E., Novichikhin A. V. et al. *Sovershenstvovanie metodiki rascheta krepleniya kolesnoy tekhniki na otkrytom zheleznodorozhnom podvizhnom sostave* [Improving the methodology for calculating the fastening of wheeled vehicles on open railway rolling stock]. *Byulleten' rezul'tatov nauchnykh issledovaniy* [Bulletin of scientific research results]. 2023, Iss. 1, pp. 183–196. (In Russian)

10. Protodiakonov M. M., Teder R. I. *Metodika ratsional'nogo planirovaniya eksperimentov* [Methods of rational planning of experiments]. Moscow: Nauka Publ., 1970, 73 p. (In Russian)

11. Zubarev Yu. M., Nechaev K. N., Katenev V. I. et al. *Primenenie metodov teorii planirovaniya mnogofaktornykh eksperimentov v tekhnologii mashinostroeniya* [Application of methods of the theory of planning multifactor experiments in mechanical engineering technology]. St. Petersburg: Pimash Publ., 2000, 130 p. (In Russian)

12. Zubarev Yu. M., Nechaev K. N., Katenev V. I. et al. *Primenenie mnogofaktornykh eksperimentov vtorogo poryadka v tekhnologii mashinostroenii* [Application of multifactorial experiments of the second order in mechanical engineering technology]. St. Petersburg: Pimash Publ., 2002, 134 p. (In Russian)

Received: June 04, 2023

Accepted: July 12, 2023

Author's information:

Valery A. BOLOTIN — PhD in Engineering; spb-vab@yandex.ru

Natalya G. YANKOVSKAYA — PhD in Engineering; spbng@rambler.ru