

References

1. Dolotov A.M., Ogar P.M., Chegodaev D.E. The theory basics and design of aircraft hydropneumatic valve sealings. M.: Izd-vo MAI, 2000. 296 s.
2. Dolotov A.M., Belogolov Yu.I. The stress-strain state of a thin-walled valve seat of a lower stiffness // *Sovremennye tekhnologii. Sistemny analiz. Modelirovaniye*. 2011. № 4 (32). S. 62 - 65.
3. Dolotov A.M., Gozbenko V.E., Belogolov Yu.I. Sealing connections using thin-walled elements. Irkutsk, 2011. 72 s. Dep. V VINITI-22.11. 2011, № 508-V2011.
4. Dolotov A.M. Development of the calculation methods and design of the seals with shell elements for aircrafts: dis. ... dok. tekhn. nauk. Samara, 1995. 280 s.
5. Dolotov A.M., Belogolov Yu.I. The determination of stiffness characteristics of the shell-plate valve seat // *Truboprovodny transport: teoriya i praktika: sb. st. M.*, 2013 № 3 (37). S. 32-37.
6. Dolotov A.M., Belogolov Yu.I. The stiffness model of a shell-plate seat // *Sovremennye tekhnologii. Sistemny analiz. Modelirovaniye*. 2013. № 2 (38). S. 107 - 110.
7. Makarov E.A. Engineering calculations in Mathcad 14. SPb.: Piter, 2007. 592 s.
8. Dolotov A.M. A sealing joint: pat. 2129681Ros. Federatsiya. № 97101302/06; zayavl. 30.01.1997; opubl. 27.04.1999. Byul. № 32. 4 s.
9. Savin L.A., Dolotov A.M., Solomin O.V., Ustinov D.E. Aircraft gas-turbine engine: pat. 2162957 Ros. Federatsiya. № 98100457/06; zayavl. 06.01.1998, opubl. 10.02.2001. 2 s.
10. Dolotov A.M., Kotylev J.E., Semenyuk S.N., Ushakov L.S. A valve trim: pat. 2186276 Ros. Federatsiya. № 2000114115/06; zayavl. 02.06.2000, opubl. 27.07.2002. Byul. № 8. 4 s.

УДК 65.011.56:004.9

Анализ смещения груза при движении вагона по прямолинейному участку пути

В.А. Оленцевич^а, В.Е. Гозбенко^б

Иркутский государственный университет путей сообщения, ул. Чернышевского 15, Иркутск, Россия

^аolencevich_va@irgups.ru, ^бvgozbenko@yandex.ru

Статья получена 4.05.2013, принята 8.08.2013

Обеспечение безопасности движения в условиях реформирования железнодорожного транспорта остается одной из важнейших задач ОАО «РЖД», решение которой определено в качестве безусловного приоритета в стратегии развития железнодорожного транспорта до 2030 года. В связи с этим в статье отражается актуальность вопросов усовершенствования существующей методики расчета крепления грузов, перевозимых на открытом подвижном составе, что послужит основой для повышения безопасности функционирования железнодорожной транспортной системы. Производится оценка безопасности движения по критерию сдвига груза, оборудованного грузовыми тентами, относительно вагона путем построения динамической и математической моделей креплений размещенного груза как вдоль, так и поперек вагона. Рассмотрен общий случай, когда произойдет сдвиг груза по направлению действия результирующей пространственной системы сил, определен угол, характеризующий сдвиг груза в плоскости пола вагона. Расчеты проводились в пакете PTC MathCAD. Исходные массоинерционные геометрические характеристики взяты для стандартной платформы и груза. Построены графические зависимости величины сдвига груза по направлению действия результирующей силы, а также полученные при этом сдвиги как вдоль, так и поперек вагона в зависимости от угла наклона силы относительно продольной оси. По результатам расчета выявлено, что характер изменения сдвига груза является нелинейным. При заданных исходных данных и принятой технологии крепления груза в вагоне возникает вероятность разрыва определенных креплений. В связи с этим возникает необходимость внесения изменений в геометрию креплений груза.

Ключевые слова: величина сдвига груза, безопасность движения, динамическая и математическая модели, реакция растяжек, крепление груза в вагоне.

Analysis of cargo shifting in the process of car's moving along the straight track section

V.A. Olentsevich^а, V.E. Gozbenko^б

Irkutsk State University of Railway Engineering, 15 Chernyshevsky st., Irkutsk, Russia

^аolencevich_va@irgups.ru, ^бvgozbenko@yandex.ru

Received 4.05.2013, accepted 8.08.2013

Ensuring safe operation under the railroad transport reform remains one of the most important strategic tasks of JSC "Russian Railways" and its solution has been defined as the absolute priority in the development strategy of railroad transport through to 2030. In this regard, the paper reflects the urgency of improving the existing calculation procedure of securing cargo transported on an open

rolling-stock that will provide the basis to improve the railroad transport system safety. Traffic safety is assessed by the criterion of shifting the cargo equipped with freight loops about the carriage by constructing the mathematical and dynamic models for securing cargo placed both along and across the car. The general case when the cargo shift occurs along the resultant spatial system of forces has been considered, the angle characterizing the cargo shift in the deck plane has been calculated. The calculations were carried out in the PTC MathCAD batch. The initial baricentric geometric parameters are taken for a standard platform and cargo. The curve characterizing the cargo shift along the resultant force has been constructed and the shifts obtained in doing so both longitudinally and transversely depending on the force inclination angle relative to the longitudinal axis have been produced as well. The calculation results have revealed that the behavior of the cargo shift is nonlinear. Under the given initial data and the adopted technology of securing cargo in the car, there is a certain probability of breaking some fixtures. In this regard, there is a need to introduce some changes in the geometry of securing cargo.

Keywords: cargo shift, traffic safety, dynamic and mathematical models, stretch marks response, securing of cargo in the car.

Введение. Обеспечение безопасности движения в условиях реформирования железнодорожного транспорта [1] остается одной из важнейших задач ОАО «РЖД», решение которой определено в качестве безусловного приоритета и в Стратегии развития железнодорожного транспорта до 2030 года.

Управление безопасностью перевозок пассажиров и грузов заключается в выборе эффективных методов и средств достижения заданных показателей. На сегодняшний день ОАО «РЖД» обеспечивает весьма высокий уровень безопасности перевозок, тем не менее, к настоящему времени уже исчерпаны практически все возможности минимизации возможных рисков. В связи с этим требуются новые принципы, методы и средства для достижения значительных результатов в повышении эффективности управления безопасностью [2]. К такого рода методам, на наш взгляд, можно отнести реализацию политики по совершенствованию существующих нормативных документов, инструкций и методик.

Безопасность движения поездов и сохранность перевозимых грузов напрямую зависят от способа размещения и крепления грузов, поэтому совершенствование методики расчета крепления грузов является актуальной прикладной задачей, имеющей существенное значение для транспортной науки и отрасли железнодорожного транспорта [3].

В [4] даются следующие рекомендации в целях повышения безопасности работы железнодорожной транспортной системы (ЖДТС): в нормативных документах необходимо четко разграничить требования, права и обязанности участников перевозочного процесса, указанные в Правилах технической эксплуатации; усилить ответственность за безопасную эксплуатацию подвижного состава; разработчикам нормативных документов – откорректировать соответствующие правила, инструкции и методики, внести изменения и дополнения.

Анализируя данные литературных источников, отметим, что имеется большое разнообразие способов крепления грузов на вагоне, в то время как существующие методы расчета не учитывают некоторые реальные факторы, оказывающие существенное влияние на крепление грузов при их транспортировке. Поэтому возникает необходимость усовершенствования существующей методики, в некоторой степени устраняющей

выявленные недостатки и способствующей улучшению технологии крепления грузов, перевозимых на открытом подвижном составе, что послужит основой к повышению безопасности функционирования ЖДТС.

Согласно отчетным данным департамента управления перевозками, являющегося центральным органом управления в ОАО «РЖД», за последние три года объемы перевозок непрерывно росли, что оказывает положительное влияние на экономические показатели отрасли. При этом, наряду с ростом общих объемов перевозок грузов, увеличилось и количество коммерческих браков [5].

Построение динамической модели

Оценим безопасность движения по критерию сдвига груза, оборудованного грузовыми петлями, относительно вагона путем построения динамической и математической моделей креплений размещенного груза как вдоль, так и поперек вагона. Вертикальная динамика и обоснование расчетных схем приведены в [6 – 8]. В основу математической модели положим, что воздействие пространственной системы сил воспринимают вагон и дополнительные связи (гибкие упругие и упорные деревянные средства креплений).

Рассмотрим общий случай, когда груз весом \bar{G} размещен в вагоне, движущемся по прямому участку пути со скоростью v_e . Схема размещения и крепления груза в вагоне согласно техническим условиям размещения и крепления груза (ТУ) [9] приведена на рис. 1.

На рис. 1 показаны растяжки, удерживающие груз от сдвига. В связи с тем, что части растяжек, расположенные между точками $k-k_{n1}$ и $k-k_{n2}$, плотно прилегают к грузу в верхней его части и натяжения в них существенно больше, чем в боковых частях груза, при рассмотрении сил, действующих на груз, эти части растяжек учитываться не будут, т. е. считаем, что растяжки закреплены в точках k_{n1} и k_{n2} . Подобное допущение принято для всех растяжек. На рис. 1 приведены характерные расстояния C_i ($i = \overline{1,4}$) и их фактические значения для четырехосной железнодорожной платформы. Приведены геометрические параметры гибких упругих элементов креплений (далее – растяжек), а также показана система координат.

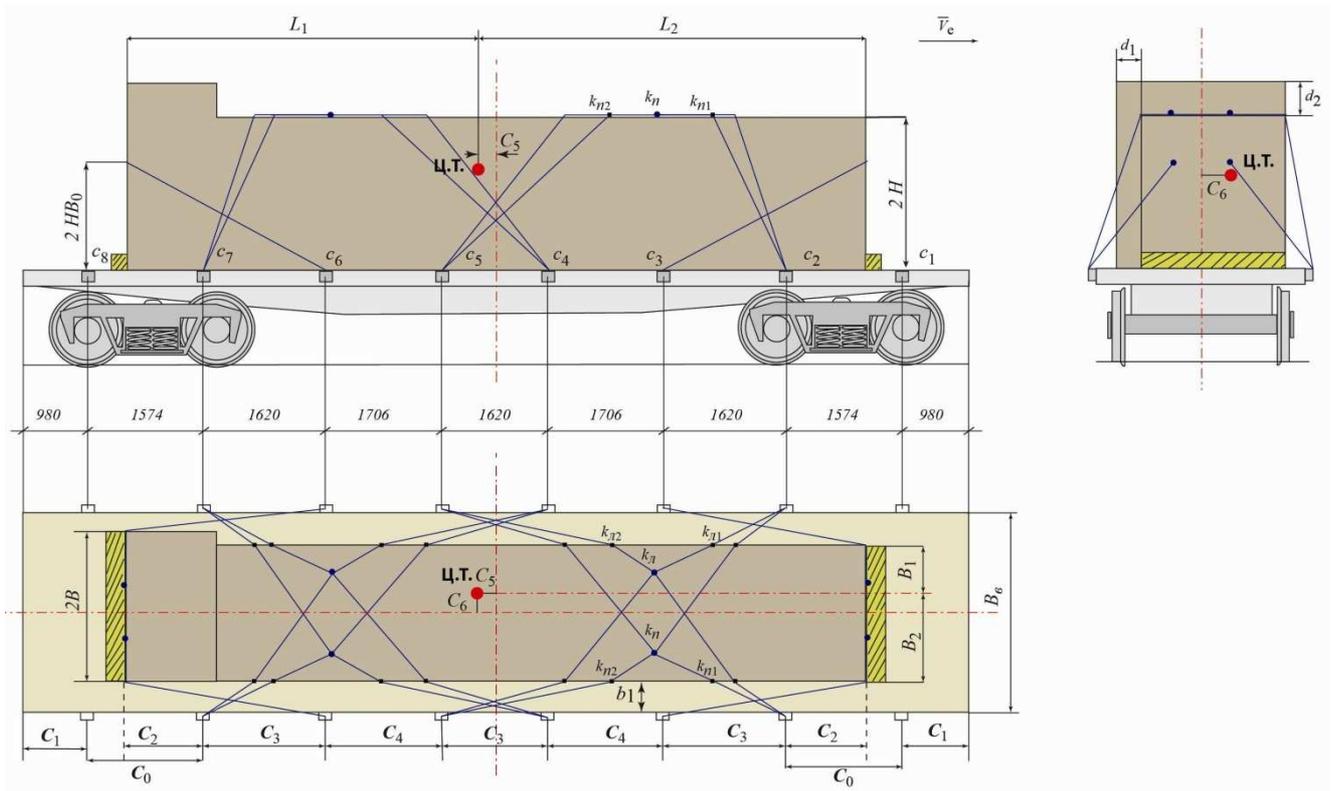


Рис. 1. Схема размещения и крепления груза на платформе в соответствии с ТУ

Приняты следующие обозначения: i и j – индексы, показывающие номера растяжек и стоечных скоб вагона ($i = 1, n_p$ – количество растяжек, $j = 1, n_c$ – число стоечных скоб); L_1 и L_2 , B_1 и B_2 , $2H$ – длина, ширина и высота груза, оснащенного грузовыми петлями соответственно относительно геометрического центра вагона; l_{pni} и l_{pli} – длина правых и левых растяжек; a_{pni} и a_{pli} – проекции правых и левых растяжек на продольную ось вагона x ; b_{pni} и b_{pli} – проекции правых и левых растяжек на поперечную ось вагона y ; h_{pni} и h_{pli} – проекции правых и левых растяжек на вертикальную ось вагона z ; h_{yni} и h_{yli} – проекции длины правых и левых растяжек на поперечную ось вагона y ; α_{pni} и α_{pli} – углы, которые образуют проекции правых и левых растяжек с плоскостью пола вагона и осью x ; β_{pni} и β_{pli} – углы, которые образуют проекции правых и левых растяжек на плоскость пола вагона с осью y . Груз с грузовыми петлями закреплен растяжками, обвязками к увязочным устройствам (стоечная скоба) вагона в точках c_{ni} и c_{li} , а к его монтажным (грузовым) петлям – в точках k_{ni} и k_{li} . Примем, что груз размещается на полу вагона и удерживается от сдвига средствами креплений.

Построение математической модели

Для составления математической модели движения груза используем метод кинестатики (принцип Даламбера).

$$\bar{F} + \bar{R} + \bar{J} = 0, \quad (1)$$

где \bar{F} – равнодействующая активных сил, приложенных к грузу; \bar{R} – равнодействующая реакции связей, наложенных на груз; \bar{J} – сила инерции груза, равная по модулю произведению массы груза на модуль его абсолютного ускорения.

$$\bar{J} = -m \cdot \bar{a}_a, \quad (2)$$

где m – масса груза; \bar{a}_a – абсолютное ускорение груза.

К активным силам (\bar{F}) относятся: вес груза (\bar{G}), приложенный в точке центра тяжести (Ц.Т.), силы аэродинамического сопротивления (\bar{F}_b). Реакции связей: реакции растяжек (обвязок), реакции вагона (\bar{R}_e) и сила трения (\bar{F}_{mrx} , \bar{F}_{mry}).

Поскольку груз совершает сложное движение, то абсолютное ускорение будет складываться из переносного и относительного ускорений. Предварительное натяжение растяжек R_{0i} считаем заданными $R_{0i} = R_0 = 20$ кН, R_0 (принято согласно [10]).

Будем учитывать, что максимальные нормативные значения продольных переносных ускорений $\bar{a}_{ex}^{\max} = \bar{a}_{ex}$ равны $0,3g$ – на прямом участке пути, $a_{ex} = (0,7-1,2)g$ – при служебном торможении и $a_{ex} = (1,2-2)g$ – при соударениях вагонов на подгорочном парке. Вертикальное переносное ускорение $\bar{a}_{ez}^{\max} = \bar{a}_{ez}$, появляющееся из-за отклонения норм содержания пути – $a_{ez} = (0,46-0,66)g$. В соответствии с этим можно принять $I_{ex} = 0,3G$ – на прямом участке

пути, $I_{ex} = (1,2-2)G$ – при соударениях вагонов на подгорочном парке и $I_{ez} = (0,4-0,66)G$ [10]. Вагон движется поступательно, со скоростью \bar{v}_e . Т. к. переносное движение поступательное, то $\bar{\omega}_e = 0$.

Растяжки испытывают продольные $\bar{I}_{ex} = \bar{I}_x$ и вертикальные $\bar{I}_{ez} = \bar{I}_z$ относительные силы инерции. Учитываем, что рама вагона – связь односторонняя, т. к. она препятствует опусканию груза вниз от плоскости вагона, не препятствуя его движению вверх. Реакцию R_e , которая обусловлена шероховатостью поверхностей, разложим на нормальную \bar{N} и касательную \bar{F}_τ составляющие, т. е. $\bar{R} = \bar{N} + \bar{F}_\tau$. Касательную составляющую \bar{F}_τ , направленную в противоположную сторону относительно движения груза, определяемую согласно закону Кулона. Точка приложения силы трения F_{mp} определяется проекцией центра тяжести груза на плоскость пола вагона.

Реакции растяжек направлены вдоль них к точкам их закрепления. Эти связи не препятствуют приближению грузовых петель к точкам закрепления этих элементов, т. е. к их провисанию.

Считаем, что действующие продольные и вертикальные силы воспринимаются парными растяжками, расположенными противоположно действию продольных сил, а элементы креплений противоположно-го направления провисают.

Точки приложения силы аэродинамического сопротивления (\bar{F}_B) y_{FB}, z_{FB} известны: они находятся в геометрическом центре площади торцевой поверхности груза. Вагон с грузом движется поступательно, со скоростью \bar{v}_e , поэтому ускорение Кориолиса равно нулю – $\bar{a}_C = 0$.

$\bar{R}_i = R_{xi}\bar{i} + R_{yi}\bar{j} + R_{zi}\bar{k}$ – натяжения в i -х растяжках груза с заданными координатами точек приложения x_i, y_i и z_i , причем R_{xi}, R_{yi}, R_{zi} – проекции натяжений \bar{R}_i на координатные оси x, y и z ; \bar{R}_{0i} – натяжения предварительных скруток в i -х растяжках, причем $R_{0xi}, R_{0yi}, R_{0zi}$ – проекции натяжений \bar{R}_{0i} на координатные оси x_i, y_i и z_i ; $i = \overline{1, n_p}$.

Запишем условие равновесия груза в относительном равновесии (уравнение (1)):

$$\sum_{k=1}^n F_{kx} = 0: \quad I_{ex} + (G_x - F_{B,x}) - F_{xi} - F_{\tau x} = 0; \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^n F_{ky} = 0: \quad I_{ey} + F_{B,y} - F_{yi} - F_{\tau y} = 0; \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^n F_{kz} = 0: \quad -(G_z - I_{ez}) - F_{zi} + N = 0, \quad (5)$$

где $\bar{I}_{ex}, \bar{I}_{ey}, \bar{I}_{ez}$ – проекции момента на оси x_i, y_i и z_i ; \bar{N} и \bar{F}_τ – нормальная и касательная составляющие реакции связи, а $\bar{F}^{(i)}$ – силы упругости растяжек.

Рассмотрим общий случай, когда произойдет сдвиг груза (Δs) по направлению действия результирующей пространственной системы сил $\Delta \bar{F}^{(i)}$. ξ – угол, характеризующий сдвиг груза в плоскости пола вагона.

Опуская промежуточные математические преобразования, находим зависимость модуля результирующей пространственной системы сил $\Delta \bar{F}^{(i)}$, воспринимаемой растяжками, f – коэффициент трения между поверхностями пола вагона и груза.

$$\Delta F^{(i)} = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} R_i \sqrt{\left((f \sin \alpha_i + \cos \alpha_i \cos \beta_i) \cos \lambda^{(i)} \right)^2 + \left((f \sin \alpha_i + \cos \alpha_i \sin \beta_i) \sin \lambda^{(i)} \right)^2}}{\quad}, \quad (6)$$

или в проекциях гибких элементов креплений на координатные оси:

$$\Delta F^{(i)} = \sum_{i=1}^{n_p} R_i \sqrt{\left(\left(f \frac{h_i}{l_i} + \frac{a_i}{l_i} \right) \cos \lambda^{(i)} \right)^2 + \left(\left(f \frac{h_i}{l_i} + \frac{b_i}{l_i} \right) \sin \lambda^{(i)} \right)^2} \quad (7)$$

Зависимость удлинения растяжек от сдвига груза в плоскости пола вагона можно представить в виде:

$$\Delta l_i = \Delta s \left(\cos \alpha_i \cos \beta_{0i} \cos \lambda^{(i)} + \cos \alpha_i \sin \beta_{0i} \sin \lambda^{(i)} \right) \quad (8)$$

или через проекции гибких элементов креплений на оси координат:

$$\Delta l_{ik} = \Delta s \left(\frac{a_i}{l_i} \cos \lambda^{(i)} + \frac{b_i}{l_i} \sin \lambda^{(i)} \right), \quad (9)$$

где $k = 1$ – соответствует проекции на ось $x, k = 2$ – проекции на ось $y, k = 3$ – проекции на ось $z; a_i$ и b_i – проекций длины растяжки l_i вдоль и поперек вагона; $\lambda^{(i)}$ – угол, характеризующий направление пространственных систем сил относительно продольной оси вагона.

Удлинение растяжек происходит при сдвиге груза в плоскости пола вагона на величину Δs относительно точки первоначального закрепления.

В связи со сложностью аналитических выражений расчеты проводились в пакете PTC MathCAD. Исходные массоинерционные геометрические характеристики взяты для стандартной платформы и груза.

По результатам расчетов построены графические зависимости величины сдвига груза ΔS по направлению действия результирующей силы ΔF , а также полученные при этом сдвиги как вдоль Δx , так и поперек Δy вагона в зависимости от угла наклона λ силы ΔF относительно продольной оси x (рис. 2).

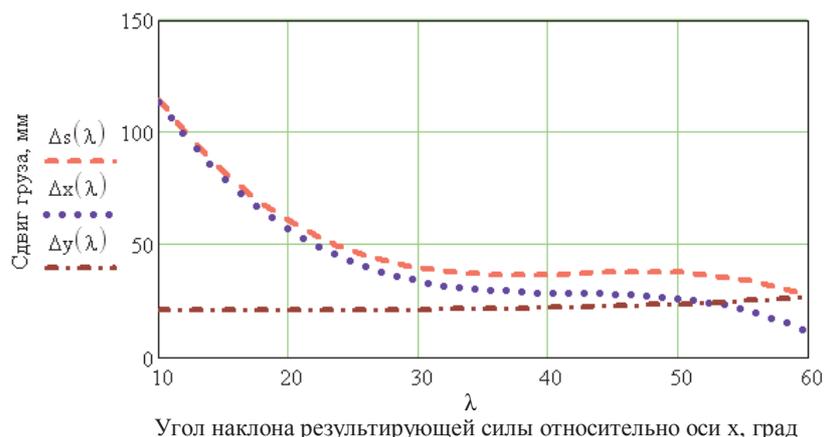


Рис. 2. Графические зависимости сдвига груза ($\Delta s = f(\lambda)$), $\Delta x = f(\lambda)$ и $\Delta y = f(\lambda)$

Выводы

1. Анализ полученных графических зависимостей позволяет отметить, что с увеличением угла наклона λ силы ΔF относительно продольной оси x сдвиг груза ΔS по направлению действия результирующей силы ΔF , а также полученные при этом сдвиги вдоль Δx , уменьшаются, а поперек Δy вагона – увеличиваются. При этом характер изменения сдвига груза является нелинейным.

2. При заданных исходных данных и принятой технологии крепления груза в вагоне, если длина креплений l_i превышает 2,284 м при коэффициенте динамичности 1,2 и 2,397 м при коэффициенте динамичности 1,1, то возникает вероятность разрыва таких креплений. В связи с этим возникает необходимость внесения изменений в геометрию креплений груза.

Литература

1. Морозов В.Н. Безопасность движения – одна из главных задач в условиях реформирования структуры управления железными дорогами. // Материалы XII Научно-практической конференции «Безопасность движения поездов». М., 2011. С. 17-22.
2. Репина О.А. Механизмы развития специалистов железнодорожного транспорта в области безопасности перевозок // Там же. С. 10-16.
3. Егоров С.А., Гребенюк Л.А. Совершенствование методики расчета элементов крепления в статически неопределимых схемах закрепления единичного груза // Изв. Транссиба 2011. № 4. С. 87-94.
4. Францев А.Н. Нормативным документам – сегодняшние реалии // Вагоны и вагонное хозяйство 2012. № 2. С. 19.
5. Оленцевич В.А., Гозбенко В.Е. Анализ причин нарушения безопасности работы железнодорожной транспортной системы // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2013. № 1(37). С. 180–183.
6. Гозбенко В.Е. Методы управления динамикой механических систем на основе вибрационных полей и инерционных связей: моногр. М.: Машиностроение, 2004. 386 с.

7. Елисеев С.В., Банина Н.В., Ахмадеева А.А., Гозбенко В.Е. Математические модели и анализ динамических свойств механических систем. М., 2009. 205 с. Деп. ВИНТИ № 782-В2009 08.12.2009.
8. Хоменко А.П., Гозбенко В.Е. Изменение динамического состояния упругосвязанных систем. М., 2002. Деп. ВИНТИ. № 1379-В2002 12.07. 2002.
9. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах. М.: Юртранс, 2005. 543 с.
10. Нормы для расчёта и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). ГосНИИВ. М.: ВНИИЖТ, 1996. 319 с.

References

1. Morozov V.N. Traffic safety as one of the main challenges in reforming the railways structure management// Materialy XII nauch.-prakt. konf. "Bezopasnost' dvizheniya poezdov". М., 2011. S. 17-22.
2. Repina O.A. Mechanisms for the development of specialists in the field of railway transport safety. Tam zhe, S. 10-16.
3. Egorov S.A., Grebenyuk L.A. The improved methods of calculating the fastening elements in a statically undeterminable layouts for securing the unit load// Izv. Transsiba. 2011. № 4. S. 87-94.
4. Frantsev A.N. Let the normative documents correspond to the day-to-day realities// Vagony i vagonnoye khozyaistvo. 2012. № 2. S. 19.
5. Olentsevich V.A., Gozbenko V.E. The analysis of the causes for the security violations of the railway transport system operation // Sovremennye tekhnologii. Sistemny analiz. Modelirovaniye. 2013. № 1 (37). S. 180-183.
6. Gozbenko V.E. The methods to control the mechanical systems dynamics based on the vibratory fields and inertial links: monogr. M: Mashinostroeniye, 2004. 386 s.
7. Eliseev S.V., Banina N.V., Akhmadeeva A.A., Gozbenko V.E. The mathematical models and analysis of the mechanical systems dynamic properties // М., 2009. 205 s. Dep. v VINITI. № 782-V2009 08.12.2009.
8. Khomenko A.P., Gozbenko V.E. Changes in the dynamic state of the elastic coupled systems. М., 2002. Dep. v VINITI. № 1379-B2002 12.07.2002.
9. Specifications for cargo positioning and securing in wagons and containers. М.: Yurtrans, 2005. 543 s.
10. Norms to calculate and design new and upgraded railway wagons MPS for 1520 mm track (unpowered cars). GosNIIV. М.: VNIIZhT, 1996. 319 s.