

ЛИТЕРАТУРА

1. Красиков О.А., Цыценко Н.А., Головкина А.Б., Мачина Н.А. Проблемы ремонта мостов на дорогах Казахстана. Габариты и нагрузки //Вестник КазГАСА №2(8). Алматы, 2003.
2. Иосилевский Л.И. Практические методы управления надёжностью железобетонных мостов. – 3-е изд., перераб. и доп. М.: Науч.-изд. центр «Инженер», 2001. – 324с.
3. Чирков В.П. Методы расчёта сроков службы железобетонных конструкций. Уч. пос. – М.: МИИТ, 1996. – 60с.
4. Чирков В.П. Прикладные методы теории надёжности в расчётах строительных конструкций. Учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта. – М.: Маршрут, 2006. -620с.
5. Шестериков В.И. Методика расчётного прогнозирования срока службы железобетонных пролетных строений автодорожных мостов. Москва 2002.
6. Залесов А.С., Чистяковым Е.А., Ларичева И.Ю. Деформационная расчётная модель железобетонных элементов при действии изгибающих моментов и продольных сил. Бетон и железобетон, №5, 1996г.

---

***ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ***

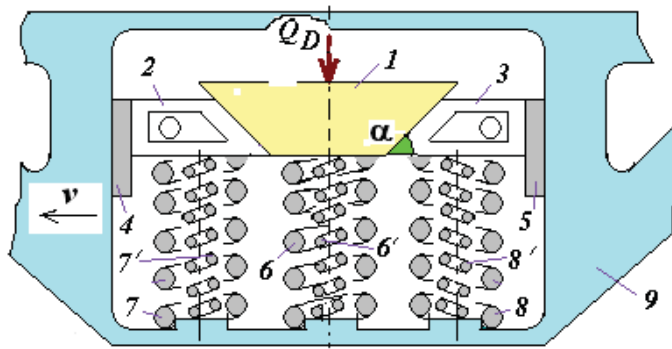
**УДК 629.46.027.3**

**Абдуллаев Сейдулла Сейдеметович – д.т.н., доцент (Алматы, КазАТК)  
Жандыбаев Болат Рымканович – инженер КарГТУ (Караганда, КарГТУ)**

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРУЖИННО-ФРИКЦИОННОГО  
КОМПЛЕКТА ТЕЛЕЖКИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА**

Рассматривая несимметричное размещение твердотельного груза относительно как продольной (в сторону передней тележки), так и поперечной (в сторону наружной рельсовой нити) оси симметрии вагона [1], следует получить аналитические формулы для определения реакции связей в парах трения «надрессорная балка – фрикционный клин» и «фрикционный клин – фрикционная планка» в зависимости от их геометрических параметров (углов наклонов контактируемых поверхностей).

Конструктивно пружинно-фрикционный комплект тележки грузового вагона, как физический объект, с точки зрения теоретической механики, и как клиновой механизм, с точки зрения теории механизмов и машин, выполнен так, что его фрикционные клинья контактируются только тремя твердотельными элементами – надрессорной балкой 1, фрикционной планкой 4 (или 5) и двойными пружинами 7 (или 8) [1] (рисунок 1).



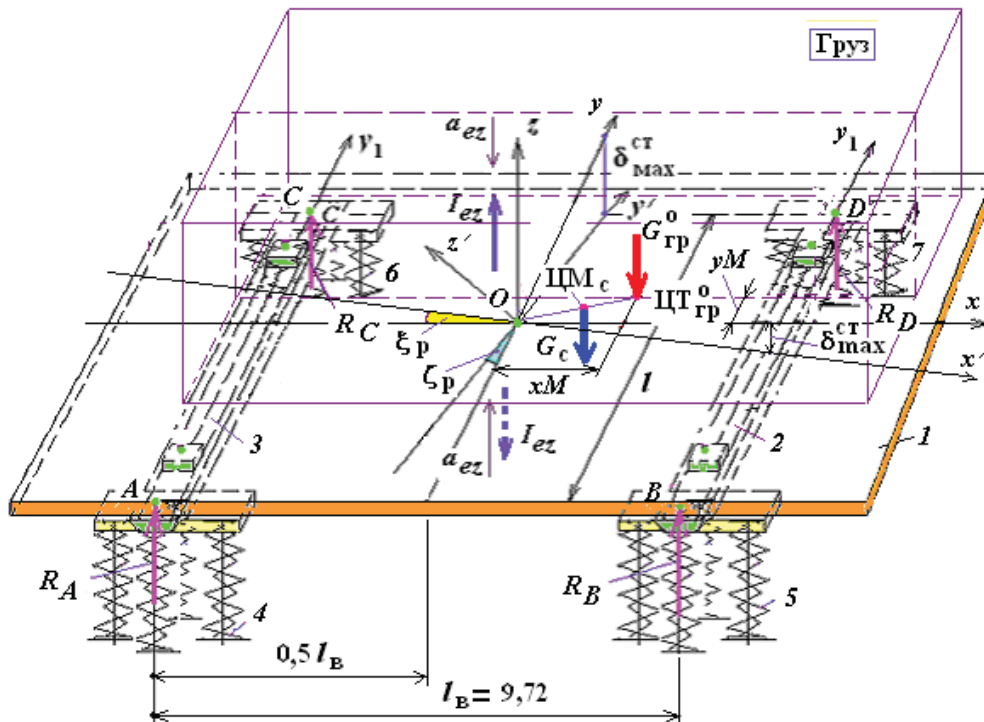
1 – хвостовая часть наддрессорной балки; 2 и 3 – фрикционные клинья;  
4 и 5 – фрикционная планка; 6 – комплекты пружин под наддрессорной балкой;  
7 и 8 – комплекты подклиновых пружин; 9 – боковая рама

Рисунок 1 – Пружинно-фрикционный комплект тележки, нагруженной силой давления кузова вагона с грузом

В работе [2] подробно описаны аналитические исследования, посвященные работе пружинно-фрикционного комплекта тележки грузового вагона, где приведены замечания к расчетным моделям и разработанной методике расчета реакции его связей, учитывающих возможный кромочный контакт трущихся тел отдельными гранями.

Для решения поставленной прикладной задачи воспользуемся важнейшими положениями теоретической механики – принципом освобождения от связей, условием равновесия сил статики, законом Кулона, аксиомой равенства действия и противодействия.

Рассмотрим несимметричное размещение штучных грузов относительно продольной и поперечной осей симметрии вагона, например, в сторону опор  $B$  и  $D$ , на величины  $+xM$  и  $+yM$  (рисунок 2).



1 – рама вагона, 2 и 3 – наддрессорные балки, 4 – 7 – комплекты пружин

Рисунок 2 – Размещение груза со смещением общего центра масс

Расположение общего центра масс груза  $ЦМ_{cp}^o$  относительно поперечной  $xM$  и продольной  $yM$  оси симметрии вагона принимают в зависимости от веса груза и высоты общего центра масс вагона с грузом над УГР по табл. 9 и 10 Приложения 14 к СМГС [3].

При этом рама вагона и надрессорные балки передней и задней тележки из-за смещения центра масс  $ЦМ_{cp}^o$  механической системы «груз – рама вагона» будут наклонены в сторону этой опоры на углы  $\xi_p$  и  $\zeta_p$ , перегружая комплекты пружин опоры  $A$  и  $B$  (или  $C$  и  $D$ ) и разгружая такие же пружины опоры  $B$  и  $D$  (или  $A$  и  $C$ ). В таком наклонном положении рамы вагона с грузом и надрессорных балок будет находиться вагон с грузом в составе поезда (рисунок 2).

Далее сила давления надрессорной балки в виде  $\bar{Q}_D$  (или  $\bar{Q}_C$ ) будут действовать на комплекты пружин тележек грузового вагона. При этом каждый комплект пружин состоит из сдвоенного ряда пружин, один из которых с меньшим средним диаметром  $D_{ia}$  размещен внутри другого с большим средним диаметром  $D_i$ , причём  $D_{ia} < D_i$  ( $i = 6,7,8$ ). Такую конструкцию комплектов пружин применяют тогда, когда наибольшее касательное напряжение пружины  $\tau_{max}$  с большим средним диаметром  $D_i$  порядка на 50 % превышает величину допускаемого напряжения  $[\tau]$  [3]. Поэтому для разгрузки наружной пружины введена дополнительно вторая пружина с меньшим средним диаметром  $D_{ia}$ .

Рассмотрим случаи, если рама вагона с грузом полностью контактируется с поверхностями упруго-катковых скользунов с полимерным демпфером, чему соответствует приложение внешней нагрузки  $\bar{Q}_D$  (или  $\bar{Q}_C$ ) в точке  $D_0$ , т.е. симметричному приложению внешней нагрузки относительно продольной оси симметрии надрессорной балки (рисунок 1 и 2)..

Будем иметь в виду, что силы упругости комплектов подклиновых пружин также оказывают давление на надрессорную балку и фрикционные клинья, через которые и на боковые рамы тележек вагона. Причем реакции (силы упругости)  $F_6$  комплектов пружин под надрессорными планками (5 шт.)  $6$  будет оказывать сопротивление перемещению вниз надрессорной балки  $1$ , а реакции (силы упругости)  $F_7$  и  $F_8$  комплектов подклиновых пружин  $7$  и  $8$  окажут сопротивление перемещению вниз фрикционным клиньям  $2$  и  $3$  (рисунок 1).

Силы упругости комплектов пружин  $F_6$ ,  $F_7$  и  $F_8$  определяются умножением коэффициента жесткости  $c_i$  на их вертикальное перемещение (осадка)  $\Delta z_i = \delta_i$ , которые определяются по силовым характеристикам пружин в виде:

$$F_i = |c_i \delta_i|. \quad (1)$$

Для тележек грузовых вагонов модели 18–100 статически прогиб  $\delta_{ст}$  под весом брутто равен 46 – 50 мм. Прогиб пружин должен быть меньше статического, т.е.  $\delta_i < \delta_{ст}$ .

Фрикционные планки  $4$  и  $5$  (рисунок 1) должны обязательно иметь непараллельность в вертикальной плоскости (углы наклонов относительно горизонтали  $\beta_1 = 89^\circ - 1^\circ$  и  $\beta_2 = 89^\circ + 1^\circ$ ), при этом расстояние между фрикционными планками внизу должно быть на 4 – 10 мм больше, чем сверху. Непараллельность фрикционных планок по горизонтали – не более 3 мм (углы наклонов поверхностей контактов фрикционных клиньев  $2$  и  $3$  с фрикционными планками  $4$  и  $5$  относительно поперечной оси проема боковой рамы вагона соответственно равны  $\gamma_1 = 88^\circ - 1^\circ$  и  $\gamma_2 = 92^\circ + 1^\circ$ ).

Согласно принципу освобожденности от связей, расчетные модели наддресорной балки 1 и фрикционных клиньев 2 и 3 грузовой тележки 18-100 представим так, как показаны на рисунке 3.

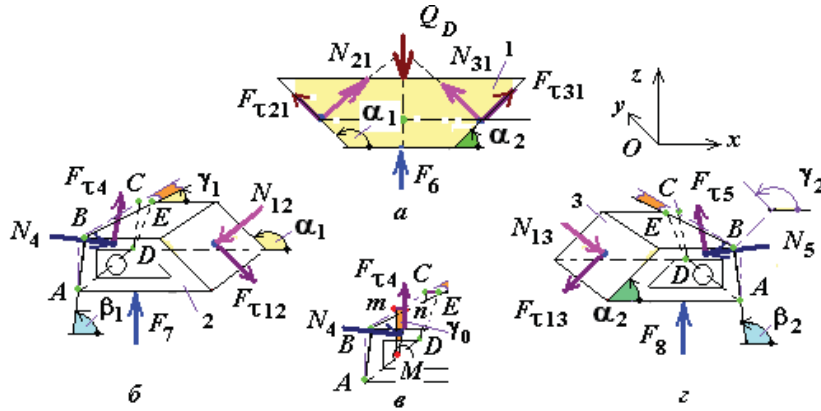


Рисунок 3 – Расчетные модели наддресорной балки 1 и фрикционных клиньев 2 и 3

Рассматривая равновесие наддресорной балки 1 (рисунок 3, а) убеждаемся, что на наддресорную балку 1 действуют: реакции  $\bar{R}_{21}$  и  $\bar{R}_{31}$  фрикционных клиньев 2 и 3, которые раскладываются на нормальные и касательные составляющие –  $N_{21}$ ,  $N_{31}$  и  $F_{\tau 21}$ ,  $F_{\tau 31}$ ; активная сила  $\bar{Q}_D$  (или  $\bar{Q}_C$ ), равная половине реакции шарнирно-подвижной опоры, и реактивные силы в виде равнодействующих реакции комплектов пружин б  $\bar{F}_6$ . При этом считаем, что наклонные поверхности наддресорной балки выполнены с погрешностями, т.е.  $\alpha_1 \neq \alpha_2$ , где  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – углы наклона поверхностей наддресорной балки к горизонту, рад. ( $\alpha_1 \approx 134^\circ 30' + 1^\circ$ ,  $\alpha_2 \approx 45^\circ 30' + 1^\circ$ ).

При аналитическом исследовании предположим, что углы наклонов поверхностей ( $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ ) наддресорной балки 1, фрикционных клиньев 2, 3 и фрикционных планок 4, 5 ( $\beta_1$ ,  $\beta_2$  и  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$ ) имеют различные значения ( $\alpha_1 \neq \alpha_2$ ,  $\beta_1 \neq \beta_2$  и  $\gamma_1 \neq \gamma_2$ ), что соответствуют либо их изготовлению с погрешностями, либо учитывают неравномерный износ их поверхностей. Также примем, что коэффициенты трения скольжения  $f$  между контактируемыми поверхностями наддресорной балки ( $f_1$  и  $f_2$ ), фрикционных клиньев и планок ( $f_3$  и  $f_4$ ) имеют различные значения.

Составим уравнения равновесия наддресорной балки 1, относительно оси  $x$  и  $z$ :

$$\sum_{k=1}^n F_{kx} = 0: N_{21} \cos(\alpha_1 - \frac{\pi}{2}) + F_{\tau 21} \cos(\alpha_1) + N_{31} \cos(\alpha_2 + \frac{\pi}{2}) + F_{\tau 31} \cos(\alpha_2) = 0; \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^n F_{kz} = 0: N_{21} \sin(\alpha_1 - \frac{\pi}{2}) + F_{\tau 21} \sin(\alpha_1) + N_{31} \sin(\alpha_2 + \frac{\pi}{2}) + F_{\tau 31} \sin(\alpha_2) - Q_C + F_6 = 0. \quad (3)$$

Здесь независимых уравнений равновесия два, а неизвестных четыре:  $N_{21}$ ,  $N_{31}$  и  $F_{\tau 21}$ ,  $F_{\tau 31}$ . Такую задачу можно условно отнести к разряду задач статически неопределенных. Для решения статической неопределенной задачи достаточно к уравнениям (2) и (3) добавить уравнение, вытекающее из закона Кулона

$$F_{\tau} \leq fN, \quad (4)$$

где  $f$  – коэффициент трения скольжения между контактирующими поверхностями надрессорной балки 1 и фрикционных клиньев 2, 3, а также между фрикционными клиньями 2, 3 и фрикционными планками 4, 5.

Подставляя равенства (4) в (2) и (3), и после преобразования получим систему уравнения двумя неизвестными, для их решения используя правило Крамера [4], находим нормальные составляющие реакции связей (фрикционных клиньев 2 и 3) при исполнении наклонных поверхностей надрессорной балки 1 с погрешностями:

$$N_{21} = \frac{-(Q_C - F_6)}{ad - bc} \left( \cos(\alpha_2 + \frac{\pi}{2}) + f_2 \cos(\alpha_2) \right); \quad (5)$$

$$N_{31} = \frac{(Q_C - F_6)}{ad - bc} \left( \cos(\alpha_1 - \frac{\pi}{2}) + f_1 \cos(\alpha_1) \right). \quad (6)$$

С учетом последнего выражения соотношения (5) и (6) примет вид:

$$N_{21} = \frac{-(Q_C - F_6)}{\sin(\alpha_1) \cos(\alpha_2) + \sin(\alpha_2) f_2 \sin(\alpha_1) + f_1 \cos(\alpha_1) \cos(\alpha_2) + f_1 \cos(\alpha_1) f_2 \sin(\alpha_2) + \sin(\alpha_2) \cos(\alpha_1)(-1) + \sin(\alpha_2) f_1 \sin(\alpha_1) + f_2 \cos(\alpha_1) \cos(\alpha_2) - f_2 \cos(\alpha_2) f_1 \sin(\alpha_1)} \cdot \left( \cos(\alpha_2 + \frac{\pi}{2}) + f_2 \cos(\alpha_2) \right); \quad (7)$$

$$N_{31} = \frac{(Q_C - F_6)}{\sin(\alpha_1) \cos(\alpha_2) + \sin(\alpha_2) f_2 \sin(\alpha_1) + f_1 \cos(\alpha_1) \cos(\alpha_2) + f_1 \cos(\alpha_1) f_2 \sin(\alpha_2) + \sin(\alpha_2) \cos(\alpha_1)(-1) + \sin(\alpha_2) f_1 \sin(\alpha_1) + f_2 \cos(\alpha_1) \cos(\alpha_2) - f_2 \cos(\alpha_2) f_1 \sin(\alpha_1)} \cdot \left( \cos(\alpha_1 - \frac{\pi}{2}) + f_1 \cos(\alpha_1) \right); \quad (8)$$

Рассмотрим равновесие фрикционного клина 2 (рисунок 3, б).

На фрикционный клин 2 согласно аксиоме равенства действия и противодействия действуют: нормальная  $N_{12} = -N_{21}$  и касательная  $F_{\tau 12} = -F_{\tau 21}$  составляющие реакции надрессорной балки  $\bar{R}_{12} = -\bar{R}_{21}$ ; нормальная  $N_4$  и касательная  $F_{\tau 4}$  составляющие реакции фрикционной планки 4  $\bar{R}_4$ ; а также равнодействующая реакций комплектов пружин 7 –  $\bar{F}_7$ .

Составим уравнения равновесия для фрикционного клина 2:

$$\sum_{k=1}^n F_{kx} = 0: \quad N_{12} \cos(\alpha_1 + \frac{\pi}{2}) + F_{\tau 12} \cos(\alpha_1 + \pi) + N_4 \cos(\gamma_0) \times \times \cos(\beta_1 + \frac{3}{2} \pi) + F_{\tau 4} \cos(\gamma_0) \cos(\beta_1) = 0; \quad (9)$$

$$\sum_{k=1}^n F_{kz} = 0: \quad N_{12} \sin(\alpha_1 + \frac{\pi}{2}) + F_{\tau 12} \sin(\alpha_1 + \pi) + N_4 \cos(\gamma_0) \times \times \sin(\beta_1 + \frac{3}{2} \pi) + F_{\tau 4} \cos(\gamma_0) \sin(\beta_1) + F_7 = 0. \quad (10)$$

Из соотношения (9) с учетом формулы (4) найдем нормальную составляющую реакции фрикционного клина 4

$$N_4 = -N_{12} \frac{\left( \cos(\alpha_1 + \frac{\pi}{2}) + f_1 \cos(\alpha_1 + \pi) \right)}{\cos(\gamma_0) \left( \cos(\beta_1 + \frac{3}{2} \pi) + f_3 \cos(\beta_1) \right)}. \quad (11)$$

Из последнего выражения с учетом (7) и после небольших преобразований получим:

$$N_4 = \frac{-(Q_c - F_6) \cdot (\sin(\alpha_2) - f_2 \cos(\alpha_2))}{\sin(\alpha_1) \cos(\alpha_2) + \sin(\alpha_2) f_2 \sin(\alpha_1) + f_1 \cos(\alpha_1) \cos(\alpha_2) + f_1 \cos(\alpha_1) f_2 \sin(\alpha_2) + \sin(\alpha_2) \cos(\alpha_1) (-1) + \sin(\alpha_2) f_1 \sin(\alpha_1) + f_2 \cos(\alpha_1) \cos(\alpha_2) - f_2 \cos(\alpha_2) f_1 \sin(\alpha_1)} \cdot \frac{(\sin(\alpha_1) + f_1 \cos(\alpha_1))}{\cos(\gamma_0) (\sin(\beta_1) + f_3 \cos(\beta_1))}. \quad (12)$$

С другой стороны, из выражения (11) с учетом формулы (4) также найдем:

$$N_4 = \frac{N_{12} (\cos(\alpha_1) - f_1 \sin(\alpha_1)) + F_7}{\cos(\gamma_0) (\cos(\beta_1) - f_3 \sin(\beta_1))}. \quad (13)$$

Последнее выражение может быть использовано для контроля составленных аналитических соотношений.

Рассмотрим условия равновесия фрикционного клина 3 (рисунок 3, з).

На фрикционный клин 3 согласно аксиоме равенства действия и противодействия действуют: нормальная  $N_{13} = -N_3$  и касательная  $F_{\tau 13} = -F_{\tau 3}$  составляющие реакции наддресорной балки  $\bar{R}_{13} = -\bar{R}_3$ ; нормальная  $N_5$  и касательная  $F_{\tau 5}$  составляющие реакции фрикционной планки 5  $\bar{R}_5$ ; а также равнодействующая реакций комплектов пружин 8 –  $\bar{F}_8$ . Учтем, что на рисунке 3,з:  $\gamma_2 \geq \frac{\pi}{2}$  – угол наклона задней поверхности  $ABED$  фрикционного клина 3, контактируемой с фрикционной планкой 5, рад. ( $\gamma_2 = 92^\circ + 1^\circ$ ).

Составим уравнения равновесия для фрикционного клина 3 аналогично с фрикционным клином 2:

$$\sum_{k=1}^n F_{kx} = 0: \quad N_{13} \cos(\alpha_2 + \frac{3}{2} \pi) + F_{\tau 13} \cos(\alpha_2 + \pi) + N_5 \cos(\gamma_0) \times \cos(\beta_2 + \frac{\pi}{2}) + F_{\tau 5} \cos(\gamma_0) \cos(\beta_2) = 0; \quad (14)$$

$$\sum_{k=1}^n F_{ky} = 0: \quad N_{13} \sin(\alpha_2 + \frac{3}{2} \pi) + F_{\tau 13} \sin(\alpha_2 + \pi) + N_5 \cos(\gamma_0) \times \sin(\beta_2 + \frac{\pi}{2}) + F_{\tau 5} \cos(\gamma_0) \sin(\beta_2) + F_8 = 0. \quad (15)$$

Из соотношения (14) с учетом формул (4) и (7) и после преобразований найдем нормальную составляющую реакции фрикционного клина 4



$$N_5 = \frac{(Q_c - F_6) \cdot (\sin(\alpha_1) + f_1 \cos(\alpha_1))}{\sin(\alpha_1) \cos(\alpha_2) + \sin(\alpha_2) f_2 \sin(\alpha_1) + f_1 \cos(\alpha_1) \cos(\alpha_2) + f_1 \cos(\alpha_1) f_2 \sin(\alpha_2) + \sin(\alpha_2) \cos(\alpha_1) (-1) + \sin(\alpha_2) f_1 \sin(\alpha_1) + f_2 \cos(\alpha_1) \cos(\alpha_2) - f_2 \cos(\alpha_2) f_1 \sin(\alpha_1)} \times \frac{(\sin(\alpha_2) - f_2 \cos(\alpha_2))}{\cos(\gamma_0) (\sin(\beta_2) - f_4 \cos(\beta_2))}. \quad (16)$$

С другой стороны, из выражения (15) с учетом формул (4) после небольших преобразований найдем

$$N_5 = \frac{N_{13} (\cos(\alpha_2) + f_2 \sin(\alpha_2)) + F_8}{\cos(\gamma_0) (\cos(\beta_2) + f_4 \sin(\beta_2))}. \quad (17)$$

Выражение (17) может быть использовано для проверки составленных аналитических выражений.

**Выводы:**

На основе выполненных аналитических исследований пружинно-поглощающих аппаратов тележки модели 18-100 грузового вагона можно отметить следующее: разработана расчетная и построена математическая модель силового воздействия пар трения «наддресорная балка – фрикционный клин» и «фрикционный клин – фрикционная планка» пружинно-поглощающих аппаратов; получены аналитические формулы для определения реакции связей в зависимости от геометрических параметров (углов наклонов контактируемых поверхностей) пар трения, которые позволяют найти их рациональные значения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Туранов Х.Т., Тимухина Е.Н., Даусеитов Е.Б., Кравченко О.А. Аналитическое обоснование технологии несимметричного размещения общего центра масс грузов в вагонах / Транспорт: Наука, техника и управление, 2009, № 7, с. 11-15.
2. Даусеитов Е.Б., Абдуллаев С. С., Куттыбаев У.С., Б.Р. Жандыбаев. // М-лы междунар. науч.- техн. конф. «Совершенствование конструкций и системы эксплуатации транспортной техники». – Алматы: КазАТК, 2009, С.
3. Приложение 14 к СМГС «Правила размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах». – М.: Планета, 2005. – 191 с.
4. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М.: Наука, 1964. – 608 с.
5. Глушко М.И. и Антропов А.Н. Работа пружинно-фрикционного комплекта тележки грузового вагона // Вестник ВНИИЖТ, 2004. – №5. – С.41-44.