

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

Райимжонов Искандар Баходир угли
Бойтураев Жохонгир Рустамович
Саидов Адхам Кучкор угли
Дусназаров Мехрожиддин Сирожиддин угли
Комилжонова Зилола Зоҳидбек кизи
Республика Узбекистан г. Ташкент

Аннотация. 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, фрикционной планкой и двойными пружинами [3, 4].

Ключевые слова: железная дорога, вагон, тележка, путь, фрикционная планка, пружина

**ANALYTICAL RESEARCH
SPRING-FRICTION SET OF A FREIGHT CAR TROLLEY**

Rayimjonov Iskandar Bahodir ugli
Boituraev Zhakhongir Rustamovich
Saidov Adham Kuchkor ugli
Dusnazarov Mehrozhiddin Sirozhiddin ugli
Komilzhonova Zilola Zohidbek kizi

Abstract. Structurally, the spring-friction set of a freight wagon trolley, as a physical object from the point of view of theoretical mechanics and as a wedge mechanism from the point of view of the theory of mechanisms and machines, is designed so that its friction wedges are in contact with only three solid-state elements - a spring beam, a friction bar and double springs [3, 4].

Keywords: railway, wagon, trolley, track, friction bar, spring

В связи с этим, при создании расчетной модели фрикционного клина, как объекта исследования, следовало бы поверхности его контакта со стороны надрессорной балки и фрикционной планки, как внешних связей, заменить только двумя реакциями связей в виде \bar{R}_1 , заменяющей надрессорную балку, и \bar{R}_2 , заменяющей фрикционную планку.

При этом рама вагона и надрессорные балки передней и задней тележки от смещения центра масс (тяжести) ЦМ_с механической системы «груз – рама вагона» будут наклонены в сторону этой опоры на угол ζ , *перегружая* комплекты пружин тележки *C* (или *D*) и *разгружая* такие же пружины *A* (или *B*). В таком наклоненном положении рамы вагона с грузом и

наддресорных балок будет находиться вагон с грузом в составе поезда (рис. 1).

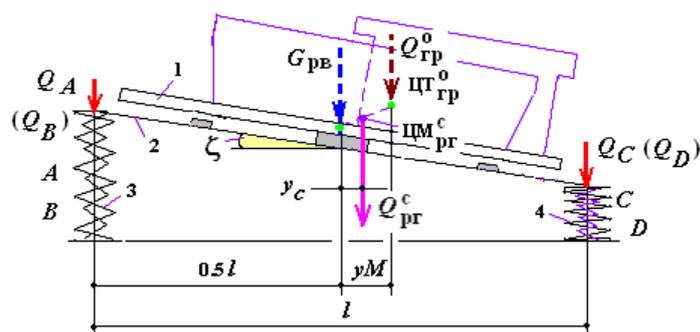


Рис. 1. Распределение силы давления рамы вагона на комплекты пружин тележки:

1 – рама вагона, 2 – наддресорная балка, 3 и 4 – комплекты пружин

Через пятник рамы вагона на подпятник наддресорной балки на расстоянии y_c от его вертикальной оси будет передаваться силы давления со стороны рамы вагона с грузом. Сила давления наддресорной балки в виде \bar{Q}_c (или \bar{Q}_d) будут действовать на комплекты пружин тележек грузового вагона. Силы упругости комплектов пружин оказывают давление на наддресорную балку и фрикционные клинья, через которые и на боковые рамы тележек вагона.

Принятые допущения. Фрикционные планки должны обязательно иметь непараллельность в вертикальной плоскости (углы наклонов относительно горизонтали $\beta_1 = 89^\circ - 1'$ и $\beta_2 = 91^\circ + 1'$), при этом расстояние между фрикционными планками внизу должно быть на 4 – 10 мм больше, чем вверху. 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 $\gamma_1 = 88^\circ - 1'$ и $\gamma_2 = 92^\circ + 1'$).

Рассмотрим равновесие наддресорной балки 1 (см. рис. 2 а). 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}_c (или \bar{Q}_d), равная половине реакции шарнирно-подвижной опоры, и реактивная сила в виде равнодействующей реакции комплектов пружин 6 \bar{F}_6 . При этом считаем, что наклонные поверхности наддресорной балки выполнены с погрешностями, т.е. $\alpha_1 \neq \alpha_2$, где α_1 и α_2 – углы наклона поверхностей наддресорной балки к горизонту, рад. ($\alpha_1 \approx 134^\circ 30' + 1'$, $\alpha_2 \approx 45^\circ 30' + 1'$).

При аналитическом исследовании предположим, что углы наклонов поверхностей (α_1 и α_2) наддресорной балки 1, фрикционных клиньев 2, 3 и фрикционных планок (β_1 , β_2 и γ_1 , γ_2) имеют различные значения ($\alpha_1 \neq \alpha_2$, $\beta_1 \neq \beta_2$ и $\gamma_1 \neq \gamma_2$), что соответствует либо их изготовлению с погрешностями, либо учитывают неравномерный износ их поверхностей. Также примем, что

коэффициенты трения скольжения f между контактируемыми поверхностями наддрессорной балки (f_1 и f_2), фрикционных клиньев и планок (f_3 и f_4) имеют различные значения.

Решения.

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

$$N_{21} \sin(\alpha_1 - \frac{\pi}{2}) + F_{\tau 21} \sin(\alpha_1) + N_{31} \sin(\alpha_2 + \frac{\pi}{2}) + F_{\tau 31} \sin(\alpha_2) - Q_c + F_6 = 0. \quad (2)$$

Здесь независимых уравнений равновесия два, а неизвестных четыре: N_{21} , N_{31} и $F_{\tau 21}$, $F_{\tau 31}$. Для решения статической неопределенной задачи достаточно к уравнениям (1) и (2) добавить уравнение, вытекающее из закона Кулона

$$F_{\tau} \leq fN, \quad (3)$$

где f – коэффициент трения скольжения между контактирующими поверхностями над рессорной балки 1 и фрикционных клиньев 2, 3, а также между фрикционными клиньями 2, 3 и фрикционными планками.

Подставляя равенства (3) в (1) и (2), получаем

$$N_{21} \left(\cos(\alpha_1 - \frac{\pi}{2}) + f_1 \cos(\alpha_1) \right) + N_{31} \left(\cos(\alpha_2 + \frac{\pi}{2}) + f_2 \cos(\alpha_2) \right) = 0;$$

$$N_{21} \left(\sin(\alpha_1 - \frac{\pi}{2}) + f_1 \sin(\alpha_1) \right) + N_{31} \left(\sin(\alpha_2 + \frac{\pi}{2}) + f_2 \sin(\alpha_2) \right) - Q_c + F_6 = 0,$$

или

$$aN_{21} + bN_{31} = 0;$$

$$cN_{21} + dN_{31} = Q_c - F_6, \quad (4)$$

где a , b , c и d – постоянные коэффициенты:

$$a = \cos(\alpha_1 - \frac{\pi}{2}) + f_1 \cos(\alpha_1); \quad b = \cos(\alpha_2 + \frac{\pi}{2}) + f_2 \cos(\alpha_2);$$

$$c = \sin(\alpha_1 - \frac{\pi}{2}) + f_1 \sin(\alpha_1); \quad d = \sin(\alpha_2 + \frac{\pi}{2}) + f_2 \sin(\alpha_2); \quad (5)$$

Согласно правилу Крамера [6], из системы (4) выводим нормальные составляющие реакции связей (фрикционных клиньев 2 и 3) при исполнении наклонных поверхностей наддрессорной балки 1 с погрешностями:

$$N_{21} = \frac{-(Q_c - F_6)}{ad - bc} \left(\cos(\alpha_2 + \frac{\pi}{2}) + f_2 \cos(\alpha_2) \right); \quad (6)$$

$$N_{31} = \frac{(Q_c - F_6)}{ad - bc} \left(\cos(\alpha_1 - \frac{\pi}{2}) + f_1 \cos(\alpha_1) \right). \quad (7)$$

Матрица, составленная из коэффициентов при неизвестных системы (4), и вычисленная символическим способом [7], равна:

$$\begin{aligned}
ad - bc &= \sin(\alpha_1) \cos(\alpha_2) + \sin(\alpha_2) f_2 \sin(\alpha_1) + \\
&+ f_1 \cos(\alpha_1) \cos(\alpha_2) + f_1 \cos(\alpha_1) f_2 \sin(\alpha_2) + \\
&+ \sin(\alpha_2) \cos(\alpha_1)(-1) + \sin(\alpha_2) f_1 \sin(\alpha_1) + \\
&+ f_2 \cos(\alpha_1) \cos(\alpha_2) - f_2 \cos(\alpha_2) f_1 \sin(\alpha_1).
\end{aligned} \tag{8}$$

С учетом последнего выражения соотношения (6) примет вид:

$$\begin{aligned}
& \dots \\
& \dots \\
& \dots
\end{aligned} \tag{9}$$

$$\begin{aligned}
& \dots \\
& \dots \\
& \dots
\end{aligned} \tag{10}$$

В частном случае, когда $f_1 = f_2$ и $\alpha_1 = \alpha_2 + \frac{\pi}{2}$, которым соответствует исполнение наклонных поверхностей надрессорной балки 1 без погрешностей, выражения (9) и (10) примут вид:

$$N_{21} = \frac{(Q_c - F_6)}{1 - f_1^2} \cdot (\sin(\alpha_2) - f_1 \cos(\alpha_2)); \tag{11}$$

$$N_{31} = \frac{(Q_c - F_6)}{1 - f_1^2} \cdot (\cos(\alpha_2) - f_1 \sin(\alpha_2)), \tag{12}$$

т. е. $N_{31} = N_{21}$.

Перейдем теперь к рассмотрению равновесия фрикционного клина 2 (см. рис. 2 б).

Выполним сопутствующие расчету математические выкладки.

Из прямоугольного $\triangle BCE$ находим (см. рис. 2 в):

$$CE = BC \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} - \gamma_1\right), \tag{13}$$

где BC – ширина фрикционного клина 2, равная 178 мм;

$\gamma_1 \leq \frac{\pi}{2}$ – угол наклона задней поверхности

Считая приложенной N_4 и $F_{\tau 4}$ на пересечении диагоналей фигуры $ABED$, находим отрезок параллельный и пропорциональный отрезку длиной CE (см. рис. 2 в):

$$mn = \frac{CE}{BC} Bm, \tag{14}$$

где $Bm = \lambda BC$ – часть ширины BC фрикционного клина 2 (λ – доля ширины BC , которая может принять ряд значений, например, $0,1 \leq \lambda \leq 0,9$).

Учитывая, что $\triangle Mmn \sim \triangle DCE$, из $\triangle Mmn$ находим (см. рис. 2 в):

$$\gamma_0 = \operatorname{arctg}\left(\frac{mn}{Mm}\right), \tag{15}$$

где $Mm = AB = CD$ – высота отдельной части фрикционного клина 2, соответствующей высоте его наклонной поверхности и равная 135 мм (полная высота равна 190 ± 2 мм).

Составим уравнения равновесия для фрикционного клина 2:

$$N_{12} \cos(\alpha_1 + \frac{\pi}{2}) + F_{\tau 12} \cos(\alpha_1 + \pi) + N_4 \cos(\gamma_0) \cos(\beta_1 + \frac{3}{2} \pi) + F_{\tau 4} \cos(\gamma_0) \cos(\beta_1) = 0; \quad (16)$$

С учетом соотношения (3) перепишем последние выражения

$$N_{12} \left(\cos(\alpha_1 + \frac{\pi}{2}) + f_1 \cos(\alpha_1 + \pi) \right) + N_4 \cos(\gamma_0) \left(\cos(\beta_1 + \frac{3}{2} \pi) + f_3 \cos(\beta_1) \right) = 0; \quad (17)$$

Из соотношения (17) найдем нормальную составляющую реакции фрикционного клина 4

$$N_4 = -N_{12} \frac{\left(\cos(\alpha_1 + \frac{\pi}{2}) + f_1 \cos(\alpha_1 + \pi) \right)}{\cos(\gamma_0) \left(\cos(\beta_1 + \frac{3}{2} \pi) + f_3 \cos(\beta_1) \right)}. \quad (18)$$

Переписывая последнее выражение с учетом (9) и опуская промежуточные преобразования, получим:

$$N_4 = -N_{12} \frac{\cos(\alpha_1 + \frac{\pi}{2}) + f_1 \cos(\alpha_1 + \pi)}{\cos(\gamma_0) \left(\cos(\beta_1 + \frac{3}{2} \pi) + f_3 \cos(\beta_1) \right)}. \quad (19)$$

Перейдем теперь к рассмотрению условия равновесия фрикционного клина 3 (см. рис. 2 з).

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

$$N_{13} \cos(\alpha_2 + \frac{3}{2} \pi) + F_{\tau 13} \cos(\alpha_2 + \pi) + N_5 \cos(\gamma_0) \cos(\beta_2 + \frac{\pi}{2}) + F_{\tau 5} \cos(\gamma_0) \cos(\beta_2) = 0; \quad (20)$$

С учетом соотношения (3) из выражения (20) с учетом (10) после ряда преобразований окончательно найдем нормальную составляющую реакции фрикционного клина 4

$$N_5 = -N_{13} \frac{\cos(\alpha_2 + \frac{3}{2} \pi) + f_1 \cos(\alpha_2 + \pi)}{\cos(\gamma_0) \left(\cos(\beta_2 + \frac{\pi}{2}) + f_3 \cos(\beta_2) \right)}. \quad (21)$$

Обобщая результаты выполненных аналитических исследований, отметим следующее.

1. Разработанная математическая модель силового воздействия пар трения «наддресорная балка – фрикционный клин» и «фрикционный клин – фрикционная планка», позволили вывести уравнения равновесия (покоя) наддресорной балки и фрикционных клиньев, как физических объектов.

2. Выведенная линейная система линейных уравнений равновесия наддресорной балки решены с использованием аналитического (символического) способа в среде MathCAD.

Литература

1. Vertical vibrations of a freight car as a uniaxial carriage from a wave of unevenness of the path
Djabbarov, S., Saidivaliev, S., Abdullaev, B., ...Inagamov, S., Abdusaid, Y. E3S Web of Conferences 371 2023
2. Kinematic characteristics of the car movement from the top to the calculation point of the marshalling hump
Djabborov, S., Turanov, K., Gordienko, A., ...Saidivaliev, S., Djalilov, K. Advances in Intelligent Systems and Computing 1258 AISC, pp. 322-338 2021
3. Movement of the wagon on the marshalling hump under the impact of air environment and tailwind Djabborov, S., Turanov, K., Gordienko, A., ...Saidivaliev, S. E3S Web of Conferences 164 2020
4. Designing the height of the first profile of the marshalling hump Djabborov, S., Turanov, K., Gordienko, A., ...Saidivaliev, S. E3S Web of Conferences 164 2020
5. Приложение 14 к СМГС «Правила размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах». – М.: Планета, 2005. – 191 с.
6. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М.: Наука, 1964. – 608 с.
7. Кирьянов Д. Самоучитель MathCAD 13. – СПб.: БХБ-Петербург, 2006. – 528 с.