

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРУЖИННО-ФРИКЦИОННОГО ПОГЛОЩАЮЩЕГО АППАРАТА ГРУЗОВОГО ВАГОНА

Шокучкоров Курбонназар Салим у'гли

д-р техн.наук Ташкентского Государственного
Транспортного Университета.

Кодиржонов Хасан Нодиржон у'гли

студент Ташкентского Государственного Транспортного
Университета.

Кодиржонов Хусан Нодиржон у'гли

студент Ташкентского Государственного Транспортного
Университета.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.15295562>

ARTICLE INFO

Received: 18th April 2025

Accepted: 20th April 2025

Published: 28th April 2025

KEYWORDS

пружинно-фрикционный
поглощающий аппарат; грузовой
вагон; гашение ударной энергии;
фрикционный клин;
моделирование; контактная
механика; условия равновесия;
коэффициент трения;
математическая модель;
теоретическая механика.

ABSTRACT

Известно, что поглощающие аппараты предназначены для гашения энергии удара, уменьшая продольные растягивающие и сжимающие силы, передающиеся на раму вагона через автосцепного устройства. На практике эксплуатации вагонов наибольшее распространение получили пружинно-фрикционные аппараты шестигранного типа Ш-1-ТМ и Ш-2-В, Ш-6-ТО-4 и др. из-за простоты и возможности их проектирования с удовлетворительными параметрами.

Физическая модель пружинно-фрикционного поглощающего аппарата приведена на рис. 1.

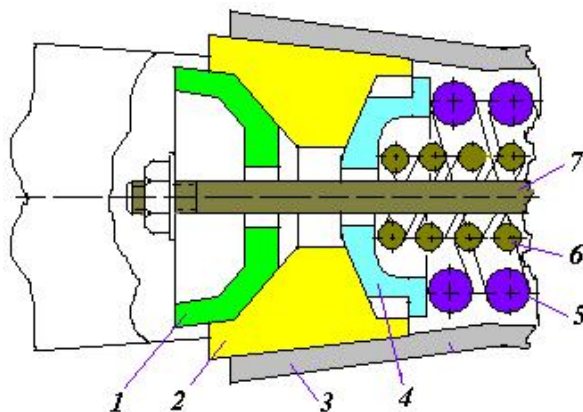


Рис. 1. Пружинно-фрикционный поглощающий аппарат:

1 – нажимной конус; 2 – фрикционный клин; 3 – корпус аппарата;
4 – нажимная шайба; 5 – наружная пружина; 6 – внутренняя пружина;
7 – стяжной болт

С целью установления причины неравномерного износа фрикционных клиньев изучена модель фрикционного клина, где принят полный контакт трущихся пар трения по их наклонным поверхностям, что позволил считать реакции внешних связей приложенных в середине контактируемых поверхностей [2]. Рассмотрена модель поглощающего аппарата [3], учитывающего возможный кромочный контакт трущихся тел отдельными гранями по методике [4], где реакции внешних связей заменены четырьмя составляющими вместо двух, что противоречит классическим принципам теоретической механики [5, 6]. В связи с этим, можно отметить, что до сих пор остаются всецело не изученными причины неравномерного износа фрикционных клиньев с нажимным конусом, горловиной корпуса аппарата и нажимной шайбой, как пары трения. Подлежащими нахождению являются реакции внешних связей фрикционных клиньев и координаты точек их приложения относительно принятой системы отсчета.

Методы решения. Используем принцип освобожденности от связей, аксиомой равенства действия и противодействия, теоремой о трех непараллельных силах и условиями равновесия сил [5].

Принятые допущения. Наклонные поверхности нажимного конуса и фрикционного клина контактируются в точке A . В этой же точке приложена сила \bar{F} , действующая со стороны нажимного конуса и воспринимаемая одним фрикционным клином. Примем, что координаты x_A и y_A точки A относительно системы отсчета Oxy известны. Считаем, что проекции реакции внешних связей фрикционных клиньев \bar{R}_1 и \bar{R}_2 на оси координат должны быть представлены в функции нагрузок от нажимной шайбы \bar{F} .

Решение. Конструктивно пружинно-фрикционный поглощающий аппарат, как физический объект с точки зрения теоретической механики и как клиновой механизм с точки зрения теории механизмов и машин, выполнен так, что его три концентрично размещенные в шестигранной горловине корпуса 3 фрикционные клинья 2 контактируются только тремя твердотельными элементами – нажимным конусом 1, корпусом 3 и нажимной шайбой 4 (рис. 1).

В качестве объекта выбираем только один фрикционный клин поглощающего аппарата. Согласно принципу освобожденности от связей [8] поверхности контакта фрикционного клина со стороны корпуса и нажимной шайбы, как внешних связей, заменяем реакциями связей в виде \bar{R}_1 (корпус аппарата) и \bar{R}_2 (нажимная шайба) (рис. 2). Проводим оси координат Ox и Oy , так как показано на рис. 2.

На рис. 2 приняты следующие обозначения: \bar{F}_c – продольная сжимающая сила от корпуса автосцепного устройства через упорную плиту; \bar{F} – доля силы \bar{F}_c , действующая со стороны нажимного конуса и воспринимаемая одним фрикционным клином, т.е. $\bar{F} = \bar{F}_c / 3$; \bar{F}_n и \bar{F}_τ – нормальная и касательная составляющая силы

\bar{F} ; α – угол наклона фрикционного клина с горизонталью, обеспечивающий контакт клина с нажимным конусом; β – угол наклона фрикционного клина с горизонталью, обеспечивающий контакт клина с корпусом аппарата; и γ – угол наклона фрикционного клина с горизонталью, обеспечивающий контакт клина с нажимной шайбой.

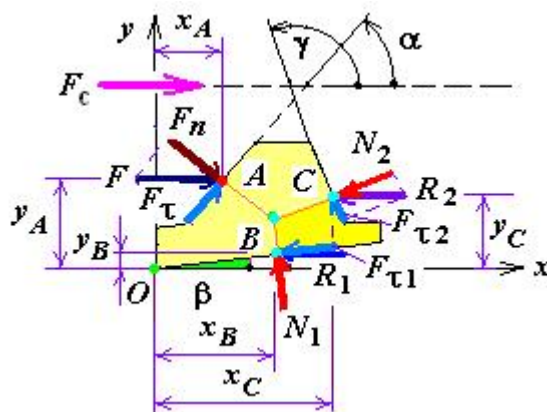


Рис. 2. Расчетная модель фрикционного клина

Кроме того, на рис. 2 также обозначены: \bar{N}_1 и $\bar{F}_{\tau 1}$ – нормальная и касательная составляющие внешней связи \bar{R}_1 (корпус аппарата), а \bar{N}_2 и $\bar{F}_{\tau 2}$ – соответственно \bar{R}_2 (нажимная шайба); x_B, y_B и x_C, y_C – координаты точек приложения \bar{R}_1 и \bar{R}_2 относительно принятой системы отсчета Oxy , подлежащими нахождению.

Теоретическая часть. Поскольку координаты x_A и y_A точки приложения доля силы \bar{F} , действующая со стороны нажимного конуса и воспринимаемая одним фрикционным клином, относительно принятой системы отсчета Oxy считали известными, то согласно теореме о трех непараллельных силах нормальные составляющие $\bar{F}_n, \bar{N}_1, \bar{N}_2$ силы \bar{F} и реакции связей \bar{R}_1 и \bar{R}_2 пересекаются в одной точке. Исходя из этого, можно сделать предположения о том, что координаты точек приложения реакции связей \bar{R}_1 и \bar{R}_2 в виде x_B, y_B и x_C, y_C зависят от координаты x_A и y_A точки приложения доля силы \bar{F} . Так, например, при увеличении (уменьшении) x_A увеличивается (уменьшается) x_B , а x_C уменьшается (увеличивается). Такое вполне возможно при кромочном контакте трущихся тел отдельными гранями.

Напишем условия равновесия фрикционного клина в виде

$$\sum_{k=1}^n F_{kx} = 0;$$

$$F_n \cos\left(\alpha + \frac{3}{2}\pi\right) + F_\tau \cos(\alpha) + N_1 \cos\left(\beta + \frac{\pi}{2}\right) + F_{\tau 1} \cos(\beta + \pi) + \\ + N_2 \cos\left(\gamma + \frac{\pi}{2}\right) + F_{\tau 2} \cos(\gamma) = 0; \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^n F_{ky} = 0;$$

$$F_n \sin\left(\alpha + \frac{3}{2}\pi\right) + F_\tau \sin(\alpha) + N_1 \sin\left(\beta + \frac{\pi}{2}\right) + F_{\tau 1} \sin(\beta + \pi) + \\ + N_2 \sin\left(\gamma + \frac{\pi}{2}\right) + F_{\tau 2} \sin(\gamma) = 0 \quad ; \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^n m_O(\bar{F}_k) = 0: -Fy_A + R_1y_B + R_2y_C = 0, \quad (3)$$

где \bar{R}_1 и \bar{R}_2 - реакции внешних связей находят по зависимостям:

$$\bar{R}_1 = \bar{N}_1 + \bar{F}_{\tau 1}, \quad \bar{R}_2 = \bar{N}_2 + \bar{F}_{\tau 2}. \quad (4)$$

В трех составленных уравнениях (1)–(3) неизвестных пять – \bar{N}_1 и $\bar{F}_{\tau 1}$, \bar{N}_2 и $\bar{F}_{\tau 2}$, y_B и y_C .

Согласно закону Кулона [5]

$$\bar{F}_\tau = f\bar{N}, \quad (5)$$

где f – коэффициент трения скольжения ($f = 0,7f_{\text{сц}}$ с учётом того, что $f_{\text{сц}}$ – коэффициент трения сцепления между контактирующими поверхностями груза и пола вагона, принимаемый по справочным данным).

Перепишем (1) и(2) с учетом (5)

$$F_n \cos\left(\alpha + \frac{3}{2}\pi\right) + F_\tau \cos(\alpha) + N_1 \cos\left(\beta + \frac{\pi}{2}\right) + f \cos(\beta + \pi) + \\ + N_2 \cos\left(\gamma + \frac{\pi}{2}\right) + f \cos(\gamma) = 0; \quad (6)$$

$$F_n \sin\left(\alpha + \frac{3}{2}\pi\right) + F_\tau \sin(\alpha) + N_1 \sin\left(\beta + \frac{\pi}{2}\right) + f \sin(\beta + \pi) +$$

$$N_2 \sin\left(\gamma + \frac{\pi}{2}\right) + f \sin(\gamma) = 0 \quad ; (7)$$

После элементарных выкладок выражения (6) и (7) представим в виде следующих систем линейных алгебраических уравнений

$$N_1 a + N_2 b = A_0 ;$$

$$N_1 c + N_2 d = B_0 , \quad (8)$$

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

$$a = \cos\left(\beta + \frac{\pi}{2}\right) + f \cos(\beta + \pi) ; \quad b = \cos\left(\gamma + \frac{\pi}{2}\right) + f \cos(\gamma) ;$$

$$c = \sin\left(\beta + \frac{\pi}{2}\right) + f \sin(\beta + \pi) ; \quad d = \sin\left(\gamma + \frac{\pi}{2}\right) + f \sin(\gamma) ; \quad (9)$$

A_0 и B_0 – коэффициент, имеющий размерность силы:

$$A_0 = -F_n \cos\left(\alpha + \frac{3}{2}\pi\right) + f \cos(\alpha) ;$$

$$B_0 = -F_n \sin\left(\alpha + \frac{3}{2}\pi\right) + f \sin(\alpha) . \quad (10)$$

Применяя правило Крамера [6], из системы (8) находим неизвестные

$$N_1 = \frac{A_0 d - B_0 b}{ad - bc} ; \quad N_2 = \frac{B_0 a - A_0 c}{ad - bc} . \quad (11)$$

Литература:

1. Лукин В.В., Анисимов П.С., Федосеев Ю.П. Вагоны. Общий курс: Учебник для вузов ж. -д. трансп. / Под ред. В.В. Лукина. – М.: Маршрут, 2004. – 424 с.
2. Винокуров М.В., Шадур Л.А. Вагоны. – М.: Трансжелдориздат, 1953. – 704 с.

3. Пряников С.А. Повышение надежности автосцепного устройства грузовых вагонов на основе совершенствования контроля технического состояния пружинно-фрикционных поглощающих аппаратов при ремонте. Автореф. дисс...канд. техн. наук. – Екатеринбург: УрГУПС, 2008. – 22 с.
4. Глушко М.И. и Антропова А.Н. Работа пружинно-фрикционного комплекта тележки грузового вагона // Вестник ВНИИЖТ, 2004. – №5. – С.41-44.
5. Khurmatov, Ya.A., Khaydarov, O.U., Abdullaev, B.A., Djabbarov, Sh.B., Inagamov, S.G. Evaluation of the efficiency of the friction tread brake of the diesel motor car / E3S Web of Conferences. – International Scientific Siberian Transport Forum - TransSiberia 2023. – Vol. 402. – 04009. – pp. 1-8; DOI: 10.1051/e3sconf/202340204009.14.
6. Abdullaev, R., Adilov, N., Juraeva, D., Makhmudov, A., Avdeeva, A. Mathematical modeling of the rolling speed of a car on the first profile site of the slide E3S Web of Conferences, 2023, 460, 06025
7. Ortiqov, M., Adilov, N., Juraeva, D., Kamilov, K., Dehkonov, M. Modeling of forces perceived by a wagon when rolling down the hill E3S Web of Conferences, 2023, 458, 10018
- 8 Abdullaev, R., Adilov, N., Juraeva, D., Makhmudov, A., Ergasheva, V. . Development of a mathematical model of the movement of wagons E3S Web of Conferences, 2023, 460, 06009

INNOVATIVE
ACADEMY