

УДК (UDC) 629.4.027.118

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ТОРМОЗНОЙ РЫЧАЖНОЙ ПЕРЕДАЧИ
ТЕЛЕЖКИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА С ОТВОДЯЩИМИ УСТРОЙСТВАМИ
С УЧЁТОМ КРОМОЧНОГО КОНТАКТА КОЛОДКИ И КОЛЕСАSTRUCTURAL ANALYSIS OF FREIGHT CAR LEVER TRANSMISSION
WITH PARALLEL SHOE RELEASING DEVICES TAKING INTO ACCOUNT
THE EDGE CONTACT OF THE SHOE AND WHEELКарпычев В.А., Болотина А.Б., Ковин Д.В.
Karpychev V.A., Bolotina A.B., Kovin D.V.Российский университет транспорта (Москва, Россия)
Russian university of transport (Moscow, Russian Federation)

Аннотация. Статья посвящена проблеме возникновения клиновидного износа тормозных колодок грузовых вагонов. Несмотря на применение различных видов отводящих устройств, она остаётся до конца не решённой, поскольку ни один вид устройств не исключает возможность возникновения кромочного контакта колодки и колеса. В статье приводится анализ структуры механизма с учётом применения отводящего устройства в виде эллиптического кольца, имеющего связи с триангелем и подосной тягой. Рассматривается возможность и причины возникновения кромочного контакта при исправных и отказавших отводящих устройствах.

Ключевые слова: клиновидный износ, тормозная система, отводящие устройства, кромочный контакт, структурный анализ.

Дата принятия к публикации: 10.12.2021
Дата публикации: 25.12.2021

Сведения об авторах:

Карпычев Владимир Александрович – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Машиноведение, проектирование, стандартизация и сертификация», Российский университет транспорта, e-mail: kv119@yandex.ru.

Болотина Александра Борисовна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиноведение, проектирование, стандартизация и сертификация», Российский университет транспорта, e-mail: abbolotina-work@yandex.ru

Ковин Дмитрий Владимирович – ассистент кафедры «Машиноведение, проектирование, стандартизация и сертификация», Российский университет транспорта, e-mail: kodv28@mail.ru.

Abstract. The article deals with the issues of modeling the stress-strain state of the attachment points of the cab of a wheeled chassis of high load capacity. The main design loads are determined. Geometric and computational finite element models are constructed, taking into account the features of the metal structure. The technique of gluing elements of the grid model is applied. The contact interaction of the parts is taken into account. Based on the calculations performed, conclusions are drawn about the compliance of the developed structure with the strength requirements.

Keywords: wedge-shaped wear, braking system, diverting devices, edge contact, structural analysis.

Date of acceptance for publication: 10.12.2021
Date of publication: 25.12.2021

Authors' information:

Vladimir A. Karpychev – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department «Mechanical engineering, design, standardization and certification» at Russian University of Transport, e-mail: kv119@yandex.ru.

Alexandra B. Bolotina – PhD, Associate Professor of Department «Mechanical engineering, design, standardization and certification» at Russian University of Transport, e-mail: abbolotina-work@yandex.ru

Dmitry V. Kovin – Assistant of Department «Mechanical engineering, design, standardization and certification» at Russian University of Transport, e-mail: kodv28@mail.ru

1. Введение

Клиновидный износ тормозных колодок, возникающий вследствие самопроизвольного

поворота триангеля вокруг своей оси, является одной из наиболее распространённых проблем в области тормозных систем подвижного состава [1-5]. Для её решения в тормозных рычажных передачах применяются специаль-

ные отводящие устройства различных типов, однако опыт эксплуатации говорит об их неудовлетворительной работе [6].

Как было установлено в работах [6-8], механизм рычажной передачи тележки без отводящих устройств, согласно формуле Чебышева, имеет 4 степени свободы:

$$W = n \cdot 3 - p_H \cdot 2,$$

где n – число подвижных звеньев, p_H – число низших кинематических пар.

$$W = 8 \cdot 3 - 10 \cdot 2 = 4.$$

Четыре степени свободы соответствуют четырём начальным звеньям: подвескам и триангелям (на рис. 1 выделены утолщенной линией).

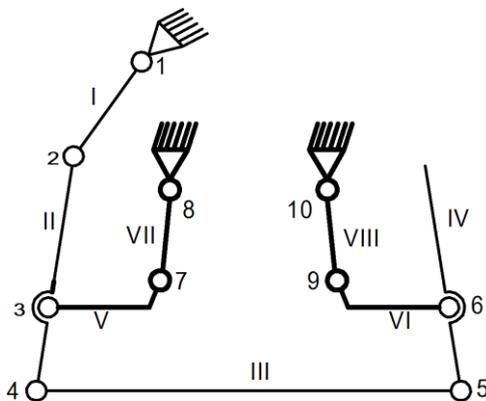


Рис. 1. Структурная схема тормозной рычажной передачи грузовой тележки (I – серьга; II – внешний вертикальный рычаг; III – подосная тяга; IV – внутренний вертикальный рычаг; V, VI – триангели; VII, VIII – подвески; арабскими цифрами отмечены кинематические пары)

При проведении структурного анализа тормозных рычажных передач, конструктивные особенности отводящих устройств, как правило, не учитываются, а их работа имитируется внедрением в структурную схему виртуального кулисного механизма (рис. 2). При этом, число степеней свободы W , рассчитанное по формуле Чебышева, равняется двум:

$$W = 10 \cdot 3 - 14 \cdot 2 = 2.$$

Начальными звеньями являются подвески (на рис. 2 выделены утолщенной линией).

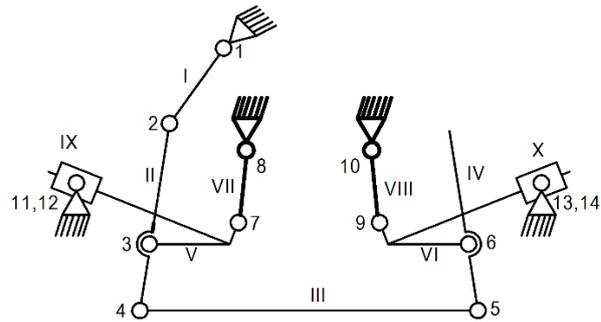


Рис. 2. Структурная схема рычажной передачи грузовой тележки с отводящими устройствами (имитация)

2. Постановка задачи

Схема рычажной передачи тележки, учитывающая конструкцию одного из широко эксплуатируемых типов отводящих устройств, была впервые рассмотрена в работе [8]. Рассмотренное отводящее устройство представляет из себя эллиптическое кольцо, имеющее связи с триангелем и подосной тягой. Оно навешивается сверху на приваренный к тыльной стороне триангеля крюк, а его нижняя часть находится в пазу, образованном двумя пластинами, приваренными к подосной тяге (рис. 3).

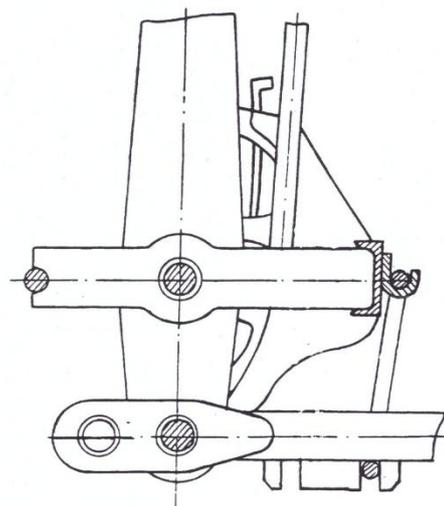


Рис. 3. Отводящее устройство в виде эллиптического кольца

Такое закрепление кольца не исключает возможности вертикальных перемещений как в верхней, так и в нижней частях кольца. Предположительно, в основе действия

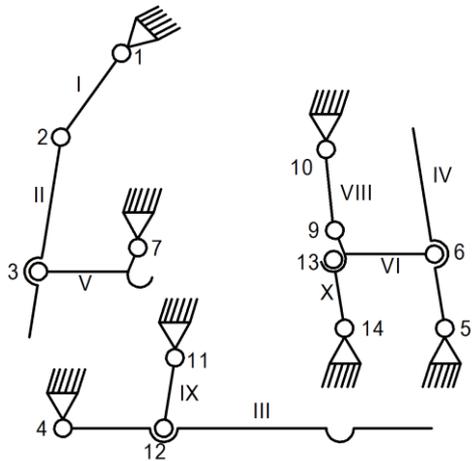


Рис. 6. Разбиение схемы на структурные группы

Таким образом, положение звеньев механизма определяется положением только одной подвески VII, а также зависит от положения серьги I или триангеля V. То есть возможность самопроизвольного поворота триангеля, как и у механизма без отводящих устройств, сохраняется. Следовательно, имеет место возможность кромочного контакта колодки с колесом.

Однако, повороту триангеля может препятствовать сила, передающаяся через отводящие устройства от элементов тележки. Поэтому реальное положение звеньев может зависеть не только от кинематических параметров (длин звеньев), но и от силовых факторов. Это затрудняет решение задач по оценке функционирования тормозной рычажной передачи тележки с отводящими устройствами.

Отметим также, что с внутренней стороны тележки равномерность зазора между колодкой и колесом полностью зависит от положения подосной тяги III. В этом случае возможно кромочное опирание со стороны внутренней колёсной пары.

Выполним дальнейший структурный анализ с учётом кромочного контакта колодки с колесом.

При кромочном контакте колодки и колеса добавляется одно звено и две вращательные кинематические пары [8]. Тогда структурная схема для кромочного контакта с наружной стороны тележки будет выглядеть следующим образом (рис. 7).

В этом случае механизм имеет одну степень свободы:

$$W = 11 \cdot 3 - 16 \cdot 2 = 1.$$

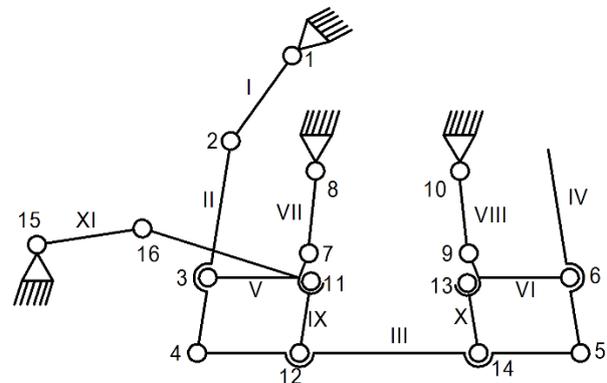


Рис. 7. Структурная схема при наружном кромочном контакте

Это означает, что система статически определима, работоспособна, а также то, что кромочный контакт не препятствует перемещению звеньев из отпускного положения в тормозное.

Если предположить, что начальным звеном является подвеска VII, то при её отсоединении число степеней свободы цепи станет равняться нулю. При этом остальная кинематическая цепь разбивается на три диады и одну триаду (рис. 8).

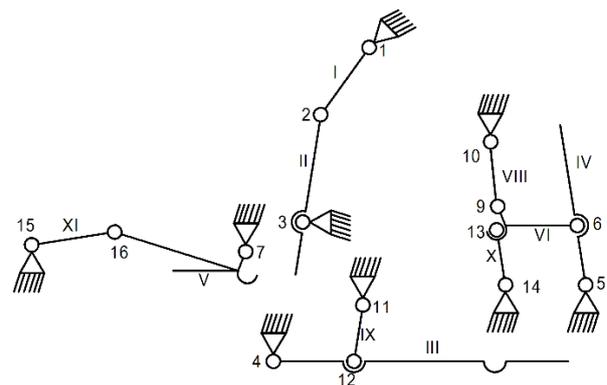


Рис. 8. Разбиение схемы на структурные группы с учётом наружного кромочного контакта

При кромочном контакте с внутренней стороны тележки (рис. 9), также реализуется одна степень свободы:

$$W = 11 \cdot 3 - 16 \cdot 2 = 1.$$

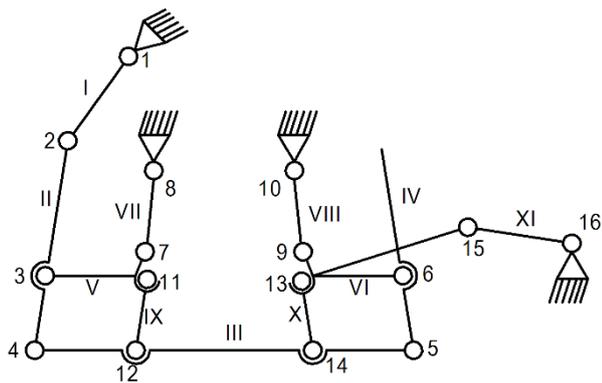


Рис.9. Схема рычажной передачи с учётом внутреннего кромочного контакта

При разбиении кинематической цепи, выясняется, что подвеска VIII не может быть начальным звеном, так как при выделении диады, включающей звенья XI и VI, координаты точек 5 или 14, а следовательно, положение подосной тяги III остаётся неизвестным. Таким образом, закрепить кольцо отводящего устройства не представляется возможным.

Подвеска VII также не может быть начальным звеном, потому что выделение четырёхзвенного механизма, состоящего из звеньев I, II и V, приводит к появлению второго начального звена, что противоречит остаточной степени свободы механизма (рис.10). Это свидетельствует о том, что в оставшейся кинематической цепи имеет место недостаточная подвижность механизма:

$$W = 7 \cdot 3 - 11 \cdot 2 = 1.$$

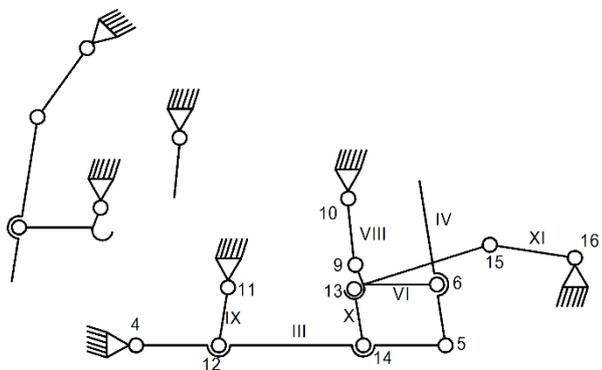


Рис. 10. Разбиение схемы на структурные группы при внутреннем кромочном контакте

При двустороннем кромочном касании (рис. 11) число степеней свободы равняется

нулю, что говорит о том, что дальнейшее прижатие колодок без разрыва связей или упругих деформаций элементов невозможно:

$$W = 12 \cdot 3 - 18 \cdot 2 = 0.$$

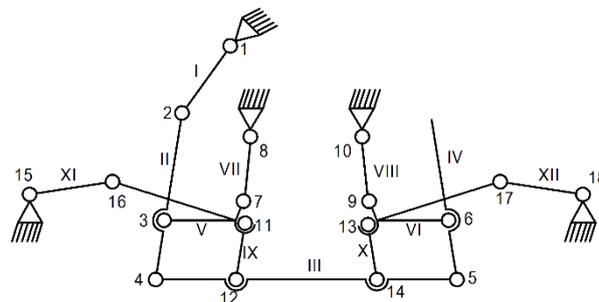


Рис. 11. Схема рычажной передачи при двустороннем кромочном контакте

Рассмотрим теперь ряд случаев, в которых одно из отводящих колец подвергается разрыву или выключается. При двустороннем кромочном касании число степеней свободы равняется нулю, что говорит о невозможности перехода в тормозное положение без изменения структуры механизма. Таким изменением может быть потеря контакта отводящего кольца с подосной тягой, либо нарушение целостности кинематической цепи.

Проведём оценку структуры механизма рычажной передачи, исключив одно из отводящих устройств.

В случае, когда выключается кольцо с внутренней стороны (рис. 12), механизм имеет одну степень свободы:

$$W = 11 \cdot 3 - 16 \cdot 2 = 1.$$

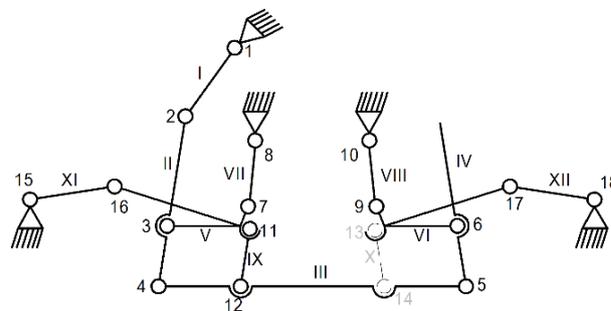


Рис.12. Схема рычажной передачи при двустороннем кромочном контакте при выключении внутреннего отводящего устройства

При этом начальным звеном является подвеска VII, а кинематическая цепь разбивается на три диады и одну триаду (рис. 13). В ином случае разбиение на группы не представляется возможным, так как невозможно определить координаты краевых кинематических пар, а следовательно, невозможно закрепление звеньев групп.

Следует отметить, что изменение структуры за счёт исключения звена X устраняет нулевую подвижность. Выделение групп не противоречит принципам сборки, что предполагает возможность перехода механизма в тормозное положение.

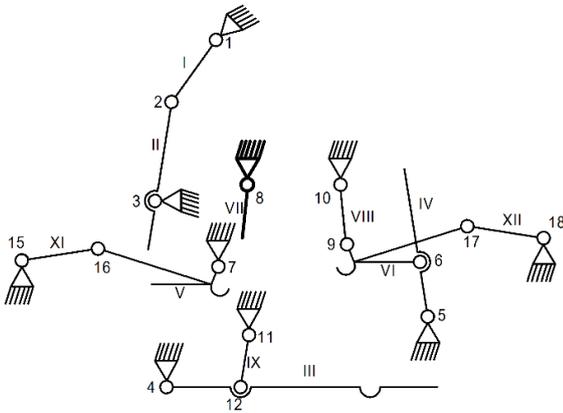


Рис.13. Разбиение схемы рычажной передачи на структурные группы при двустороннем кромочном контакте и выключении внутреннего отводящего устройства

В случае, если выключается отводящее устройство с внешней стороны тележки (рис. 14), определение положений звеньев механизма не представляется возможным.

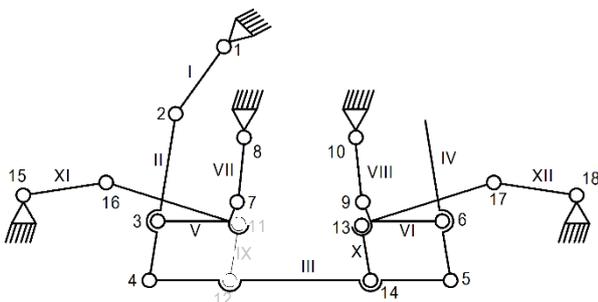


Рис. 14. Схема рычажной передачи при двустороннем кромочном контакте при выключении наружного отводящего устройства

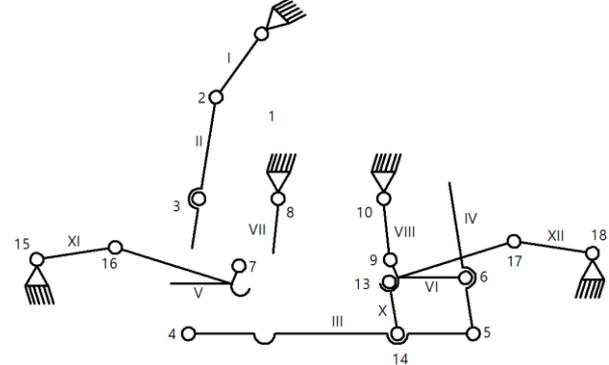


Рис.15. Первый вариант разбиения схемы рычажной передачи на структурные группы при двустороннем кромочном контакте и «выключении» наружного отводящего устройства

Предположив, что начальным звеном может быть подвеска VIII, можно выделить диаду (звенья VI, XII), и четырёхзвенник (IV, X, III), что противоречит остаточному числу степеней свободы.

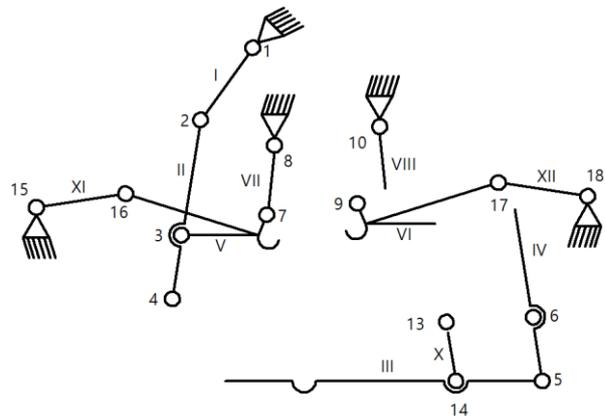


Рис. 16. Второй вариант разбиения схемы рычажной передачи на структурные группы при двустороннем кромочном контакте и «выключении» наружного отводящего устройства

Итак, в переходном состоянии из отпускного положения к тормозному, в случае двустороннего кромочного опирания, одно из отводящих устройств оказывается выключенным, то есть, отводящее кольцо провисает или перемещается относительно подосной тяги.

4. Заключение

Сводная табл. 2 содержит информацию о результатах расчета.

Таблица 2
 Результаты расчета и их оценка

Зона	Максимальные напряжения, МПа	Допускаемые напряжения, МПа	Коэффициент запаса
Нагрузка на основные опоры			
I	48,724	180	4,43
IIa	146,17	180	1,47
IIб			
IIIa	302,63	325	1,28
IIIб			
IVa	112,70	180	1,91
IVб			
Нагрузка на все опоры			
I	43,43	180	4,97
IIa	130,29	180	1,66
IIб			
IIIa	308,01	325	1,27
IIIб			
IVa	95,48	180	2,26
IVб			

Список литературы

1. Дроздов Е.А. Определение причин и разработка способов устранения неравномерного износа тормозных колодок на грузовых вагонах: автореферат дис... канд. тех. наук. 05.22.07. М., 1986. 189 с.
2. Павлюков А.Э., Черепов О.В., Шалупина П.И. Тормозные колодки грузовых вагонов: анализ повреждаемости и факторов, влияющих на создание тормозной силы // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2017. №4. С. 4-11.
3. Смольянинов П.В., Смольянинов В.С., Четвергов В.А. Обоснование пути повышения надёжности тормозной системы грузовых вагонов // Известия Транссиба. 2012. №1(9). С.42-50.
4. Ravlyuk V.G, Elyazov I, Afanasenko I, Ravlyuk M. Determination of parameters of abnormal wear of brake pads of freight cars // International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters. №32(1). с. 55-70.

На основе проведённого анализа можно сделать несколько выводов.

1. Эксплуатируемое тормозное устройство, выполненное в виде эллиптических колец, имеющих связи с триангелем и подосной тягой, не гарантирует отсутствия кромочного контакта. Это затрудняет переход тормозного устройства из отпускного положения в тормозное, что ухудшает показатели безопасности.

2. Кромочный контакт колодки и колеса, приводящий к клиновидному износу, возможен в результате самопроизвольного вращения триангеля.

3. Показано, что кромочный контакт колодки и колеса с внешней стороны тележки не исключает возможного контакта с внутренней стороны;

4. Предположение о первичном кромочном контакте с внутренней стороны указывает на недостаточную подвижность тормозного механизма, то есть наличие избыточных связей.

References

1. Drozdov E.A. Determination of the causes and development of ways to eliminate uneven wear of brake pads on freight cars, Ph.D. thesis, 1986. (In Russian)
2. Pavlyukov A.E., Cherepov O.V., Shalupina P.I. Brake shoe of freight wagon: analysis of damage and factors affecting the brake power. *Vestnik Uralskogo gosudarstvennogo universiteta putey sooshcheniya*, 2017, No.4, pp. 4-11. (In Russian)
3. Smolyaninov P.V., Smolyaninov V.S., Chetvergov V.A. Substantiation of ways to improve the reliability of the braking system of freight cars. *Izvestiya Transsiba*, 2012, No.1 (9), pp.49-50. (In Russian)
4. Ravlyuk V.G, Elyazov I, Afanasenko I, Ravlyuk M. Determination of parameters of abnormal wear of brake pads of freight cars. *International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters*, 2020, No. №32(1). Pp. 55-70.

