

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ИЗНОСА И ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ ФРИКЦИОННЫХ КЛИНЬЕВ ДЛЯ ВЫБОРА ИХ РАЦИОНАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Стаття присвячена оцінці темпів зносу робочих поверхонь фрикційного клину з чавуну СЧ25 за результатами обстеження при надходженні у деповський ремонт. Показана недостатня зносостійкість клину. Для створення нової конструкції виконаний огляд та аналіз російських і закордонних розробок.

Статья посвящена оценке темпов износа рабочих поверхностей фрикционного клина из чугуна СЧ25 по результатам обследования при поступлении в деповской ремонт. Показана недостаточная износостойкость клина. Для создания новой конструкции выполнен обзор и анализ российских и зарубежных разработок.

The paper is devoted to estimate of wear rates of working surfaces of the frictional wedges from cast iron СЧ25 according to the survey results at ordering them to depot repair. The insufficient wedge resistance to wear is demonstrated. To create a new design the review and analysis of Russian and foreign models are performed.

### Введение

Исследование корреляции между боковым износом гребней колесных пар и параметрами, характеризующими состояние тележек грузовых вагонов, показало, что значительное влияние на среднюю толщину гребней колес и их разность оказывает величина завышения фрикционных клиньев [7]. Многими авторами, такими как И. И. Челноков, П. С. Анисимов, М. М. Соколов, В. М. Гарбузов, В. В. Абашкин [1, 2, 3] и другими, как теоретически, так и экспериментально показано негативное влияние недостаточности сил трения и сопротивления забеганию боковых рам, вызванных износом фрикционных клиньев, на ходовые качества, воздействие на путь и безопасность движения: при завышении клина вследствие его износа на 10 мм и более возникает вероятность схода порожних вагонов из-за выключения клиновых демпферов из работы.

В первой части статьи на основе собранного статистического материала исследовано состояние фрикционных клиньев в эксплуатирующихся тележках. Во второй части на основе обзора показаны основные направления совершенствования клиновых гасителей и разработаны рекомендации по созданию новой конструкции.

### 1. Оценка темпов нарастания износов наклонной и вертикальной поверхностей фрикционного клина

В течение шести месяцев в вагонном депо Тосно Октябрьской ж.д. обследовано 200 теле-

жек, модернизированных по проекту М1698, поступивших в деповской ремонт, с пробегом под вагоном от 10 до 160 тыс. км.

Все обследованные тележки имели фрикционные клинья из чугуна марки СЧ25, для которых измерялся износ наклонной (рис. 1) и вертикальной (рис. 2) поверхностей. Полученные результаты заносились в таблицы, после чего данные были аппроксимированы выражением:

$$I = I_0 + i \cdot L, \quad (1)$$

где средние (медиальные) значения износа при приработке  $I_0$  и темпа износа  $i$ , определялись методом наименьших квадратов по известному пробегу вагона  $L$  и измеренному износу  $I$ .

Дисперсия результата была оценена по формуле:

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (I_i - (I_0 + i \cdot L_i))^2, \quad (2)$$

где  $I_i$ ,  $L_i$  – дискретные измененные значения износа и соответствующего пробега вагона. Максимальная величина износа с доверительной вероятностью  $P$  (97 %) оценивалась по формуле:

$$I_\beta = I_0 + i \cdot L + \beta \cdot \sigma, \quad (3)$$

где  $\beta(P)$  – ширина интервала, определяемая по таблицам [4].

Результаты аппроксимации износов наклонной и вертикальной поверхностей клина представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Темпы износа наклонной и вертикальной поверхностей клинового демпфера**

	$I_0$ , мм	$i$ , мм/10 тыс. км	$\sigma$ , мм
Наклонная поверхность клина	2,1	0,27	2,36
Вертикальная поверхность клина	1,2	0,023	1,57

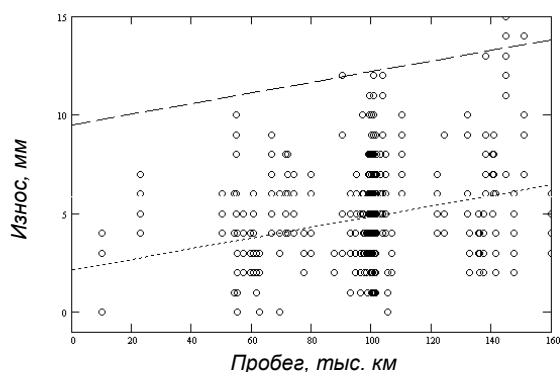


Рис. 1. Износы наклонной поверхности клина: круги – измеренный износ; штриховая линия – максимальный вероятный износ; пунктирная линия – средний износ

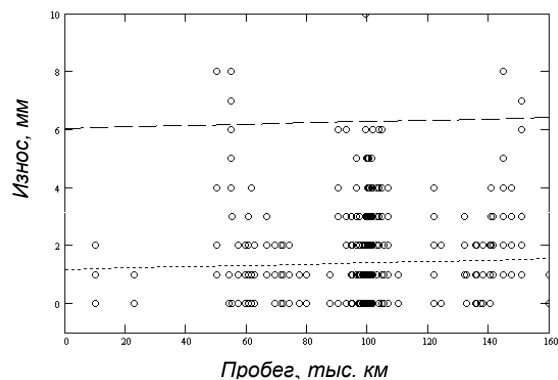


Рис. 2. Износы вертикальной поверхности клина: круги – измеренный износ; штриховая линия – максимальный вероятный износ; пунктирная линия – средний износ

## 2. Анализ полученных зависимостей интенсивностей износа от пробега

Анализ результатов показал, что на начальном этапе приработки износ наклонной поверхности клина идет в два раза интенсивнее, чем вертикальной, а затем наклонная поверхность изнашивается примерно в 10 раз интен-

сивнее. Значительный разброс в величинах износа клина для одинакового пробега обусловлен многими факторами:

- начальным прижатием при установке в подвешивании тележки (занижение клина при установке от 4 до 12 мм) [6];

- типом и фактической загрузкой вагона в эксплуатации (обследованы цистерны, платформы-лесовозы, контейнерные платформы, крытые вагоны);

- маршрутом следования вагона.

Фрикционные клинья при пробеге 100 тыс. км имели износы, не допускавшие их дальнейшую эксплуатацию, причем во всех клиньях износ наклонной поверхности превышал 2 мм, а в отдельных случаях достигал 10...12 мм, при износе вертикальной поверхности не более 2 мм.

## 3. Оценка завышения клиньев и работоспособности клинового гасителя

В связи с тем, что для клинового гасителя колебаний нормированию подлежит величина завышения клина, определяющая коэффициент относительного трения в подвешивании, подъем клина при износе оценивался по формуле (без учета износа фрикционной планки и кармана надрессорной балки):

$$f = \frac{I_N(L)}{\cos \alpha} + I_T(L) \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (4)$$

где  $I_N(L)$ ,  $I_T(L)$  – износы наклонной и вертикальной поверхностей;

$\alpha$  – угол наклона клина к горизонтали.

На рис. 3 показан подъем клина в зависимости от пробега вагона (при начальном занижении клина в среднем 8 мм), полученный по результатам измерений, а также аппроксимирующие его средняя и максимальная с вероятностью 97 % зависимости. На рис. 3 также обозначены допускаемый нормативами подъем клина в эксплуатации (завышение не более 8 мм) [6], и подъем клина, при котором порожний вагон имеет достаточный коэффициент относительного трения (завышение не допускается, подъем не более 8 мм) [1, 2, 3].

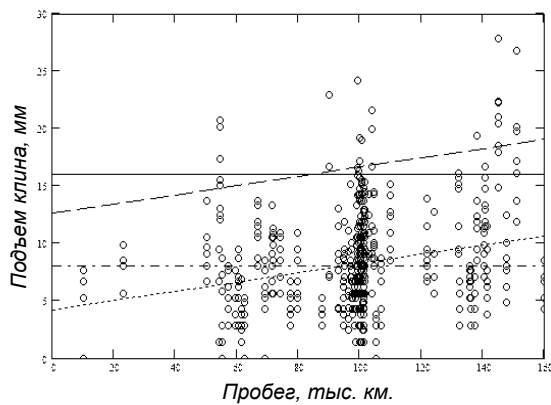


Рис. 3. Подъем клина: круги – расчетный подъем; штриховая линия – максимальный подъем; пунктирная линия – среднее значение подъема клина; штрихпунктирная линия – предельное значение подъема клина для порожнего вагона, при котором обеспечивается достаточный коэффициент трения [1, 2, 3, 5]; сплошная линия – допускаемое значение завышения [6] (в пересчете для подъема клина)

Таким образом, существующая конструкция клина из чугуна марки СЧ25 не обеспечивает демпфирование колебаний [6] в среднем после пробега 100 тыс. км, а в крайних случаях – после пробега 60 тыс. км, то есть требует проведения работ по ее совершенствованию.

#### 4. Обзор и анализ современных конструкций фрикционных клиньев

Для создания надежной и долговечной конструкции клинового демпфера, обеспечивающего межремонтный пробег тележки 500 тыс. км, что является требованием к вагонам нового поколения, конфигурация, материал и конструкция клина должны быть изменены. Клиновая система должна обеспечивать повышенное сопротивление забеганию боковин, стабильность характеристик демпфирования в течение всего межремонтного пробега при снижении нагрузок, действующих на поверхности клина, для уменьшения его износа.

Для выбора рациональной конфигурации клина произведен обзор разработанных в России (ПО «Уралвагонзавод», ОАО «Ружиммаш», ВНИИЖТ, НВЦ «Вагоны») и за рубежом (Barber, A.Stucki, Super Service Ride Master, Юникон ЛТД) конструкций, который позволил выявить следующие тенденции:

- увеличение ширины и площади наклонной поверхности клина по сравнению с вертикальной (рис. 4);

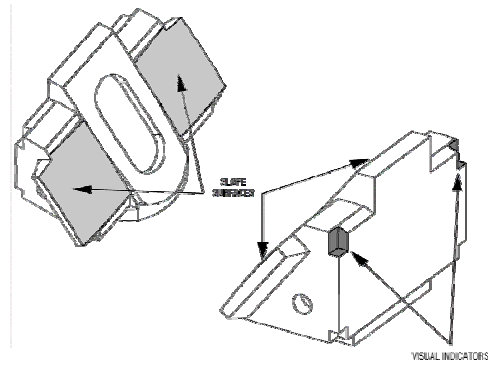


Рис. 4. Клин пространственного действия с разнесенными наклонными поверхностями увеличенной площади

- уменьшение длины клина (вдоль оси пути) для снижения крутящего момента (рис. 5), возникающего при движении клина [2], и изнашивающего вертикальную поверхность по сфере;

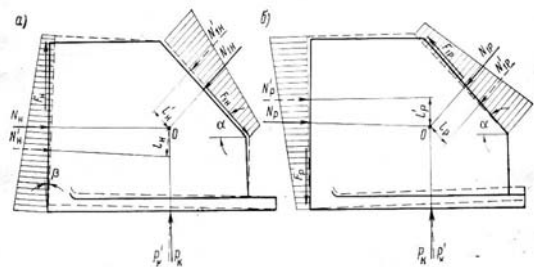


Рис. 5. Механизм изнашивания вертикальной поверхности клина по сфере при нагружении (а) и разгрузке (б) рессорного комплекта

- увеличение высоты вертикальной поверхности (рис. 6) клина для улучшения поступательного движения (существуют также зарубежные конструкции с уменьшенной высотой вертикальной поверхности) (рис. 7);



Рис. 6. Клин плоского действия с увеличенной высотой вертикальной поверхности в тележке 18-100М

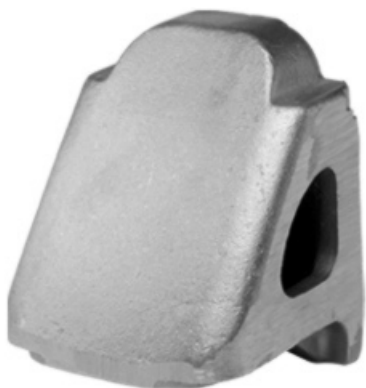


Рис. 7. Клин плоского действия с уменьшенной высотой вертикальной поверхности фирмы Barber

- большой статический прогиб подклиновой пружины по сравнению с пружинами под наддресорной балкой для стабилизации демпфирующей способности клина по мере его износа, который может реализовываться за счет занижения опорной поверхности клина относительно наддресорной балки или за счет большей высоты подклиновых пружин;

- увеличение угла наклона поверхности к горизонтали до  $50^{\circ} \dots 55^{\circ}$  для повышения силы прижатия вертикальной поверхности к фрикционной планке;

- выполнение наклонной поверхности пространственного клина в виде двух разнесенных плоскостей под углом  $150^{\circ} \dots 156^{\circ}$  друг к другу для предотвращения перемещений между клином и карманом наддресорной балки (рис. 4);

- установка неметаллических накладок на наклонных поверхностях как плоских, так и пространственных клиньев, взаимодействующих с карманами наддресорной балки в случаях изготовления клиньев из износостойких материалов для защиты кармана наддресорной балки от истирания (рис. 8).



Рис. 8. Клин плоского действия с неметаллическими накладками на наклонной поверхности, фирма Barber

Кроме явных тенденций в совершенствовании клиновой системы, существуют также спорные вопросы: выбор коэффициента относительного трения для порожнего вагона, уменьшать или увеличивать длину вертикальной поверхности, конструировать пространственный клин в виде одной детали или из двух частей. Необходимо также отметить, что в конструкциях тележек типа Barber и Ride Master наддресорная балка имеет упорные стенки, которые допускают ее продольное перемещение относительно боковой рамы не более, чем на 8 мм. Это предотвращает существенное повышение действующих на клин нагрузок при ударах вагонов с горок и забегании боковых рам в кривых.

### 5. Разработка конструкции фрикционного клина в тележку модели 18-1711

В исходном варианте тележка модели 18-1711 (ООО «ГСКБВ») была оборудована стальными клиньями с углом наклона к горизонтали  $45^{\circ}$ , углом между наклонными поверхностями  $90^{\circ}$  и полимерными накладками параллелограммной формы (рис. 9).

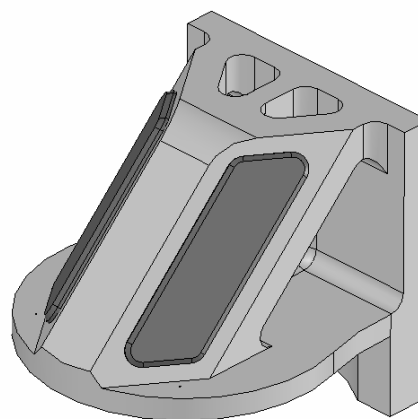


Рис. 9. Клин пространственного действия с неметаллическими накладками параллелограммной формы

С каждой стороны опора наддресорной балки на боковую раму осуществлялась через рессорный комплект, состоящий из двухрядных пружин одинаковой высоты под клинья и под наддресорной балкой, причем внутренняя пружина была на 30 мм ниже наружной. Поджатие клина при порожнем вагоне обеспечено его занижением.

В процессе испытаний [7, 8, 9] были выявлены недостатки фрикционного гасителя, заключающиеся в недостаточном коэффициенте относительного трения, необходимости увели-

чить сопротивление забеганию боковых рам, снизить повреждаемость накладок.

Учитывая современные требования к клиновой системе [10, 11, 12, 13], совместно с ООО «ГСКБВ» конструкция клина пространственной конфигурации (рис. 10) в тележку модели 18-1711 с неметаллическими накладками на наклонных поверхностях усовершенствована. Предложено изготавливать фрикционный клин из чугуна марки ВЧ-120, что улучшит его износостойкость и обеспечит увеличение коэффициента трения по фрикционной планке. Угол наклона к горизонтали увеличен до  $55^\circ$  для улучшения поджатия клина и сопротивления забеганию боковых рам.

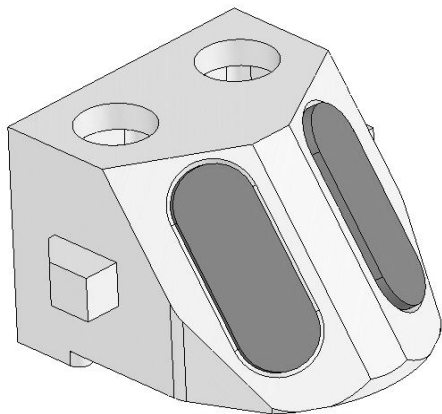


Рис. 10. Клин пространственной конфигурации с упругими неметаллическими элементами на наклонных плоскостях

Длина вертикальной поверхности уменьшена, что обеспечивает более равномерное распределение нагрузок по накладкам при действии продольных сил и движении в кривых [9]. Изменена форма и материал накладок для повышения долговечности, угол между наклонными поверхностями составил  $120^\circ$ , что обеспечивает выравнивание силы на накладках с исходным вариантом.

### Заключение

По результатам обследования фрикционных клиньев в эксплуатации выявлена необходимость совершенствования этого узла тележки. Современные тенденции, проанализированные на основе обзора, реализованы в проекте фрикционного клина для тележки модели 18-1711.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Динамика подвижного состава: Сб. тр. [Текст]. – Вып. 298 / Под ред. д.т.н. проф. И. И. Челнокова. – Л.: Транспорт, 1969. – С. 59, 69, 77.

2. Тр. ЦНИИ МПС (ВНИИЖТ) [Текст]. – Вып. № 519 / Под ред. д.т.н. проф. М. Ф. Вериго. – М.: Транспорт, 1974. – С. 164-174.
3. Динамика вагонов: Сб. тр. [Текст]. – Вып. 311 / Под ред. д.т.н. проф. И. И. Челнокова. – Л.: Транспорт, 1970. – С. 91.
4. Бородин, А. Н. Элементарный курс теории вероятностей и математической статистики [Текст] / А. Н. Бородин. – СПб.: Лань, 1998. – 224 с.
5. Приложение к указанию МПС России № Н-832у от 07 августа 2003 г. [Текст].
6. Памятка осмотровщику-ремонтнику вагонов по техническому обслуживанию подвижного состава на ПТО [Текст]. – СПб.: Служба вагонного хозяйства, 2007. – С. 24-28.
7. Орлова, А. М. Исследование влияния состояния тележек грузовых вагонов на боковой износ гребней колес по результатам математического моделирования и обследования вагонов в эксплуатации [Текст] / А. М. Орлова, В. С. Лесничий, Е. И. Артамонов // Здесь же.
8. Orlova, A. M. Determining loading conditions and predicting service life of three-piece bogie suspension parts [Текст] / A. M. Orlova, E. A. Rudakova, E. I. Artamonov. – Budapest: BUTE, 2007. – P. 40.
9. Орлова, А. М. Исследование нагруженности контактных поверхностей фрикционных клиньев [Текст] / А. М. Орлова, Е. А. Рудакова, Е. И. Артамонов // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты. – ПГУПС, 2007.
10. Орлова, А. М. Обоснование возможности реализации рациональной горизонтальной жесткости тележки трехэлементной конструкции [Текст] / А. М. Орлова // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2004. – Вып. 5. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2004. – С. 157-162.
11. Бороненко, Ю. П. Обобщение накопленного опыта проектирования тележек грузовых вагонов для создания типоразмерного ряда [Текст] / Ю. П. Бороненко, А. М. Орлова // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2004. – Вып. 5. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2004. – С. 25-30.
12. Boronenko, Yu. P. The influence of inter-axle linkages on stability and guidance of freight bogies [Текст] / Yu. P. Boronenko, A. M. Orlova, E. A. Rudakova // Proc. of the 8-th conf. on vehicle system dynamics, identification and anomalies. – Budapest: BUTE, 2002. – P. 11-12.
13. Бороненко, Ю. П. Разработка типоразмерного ряда ходовых частей грузовых вагонов [Текст] / Ю. П. Бороненко, А. М. Орлова, В. П. Ефимов // Науч.-практ. конф. «Современные проблемы взаимодействия подвижного состава и пути; колесо-рельс» (Россия, Щербинка, 2003).

Поступила в редколлегию 23.06.2008.