

УДК 620.178.167

Кандидаты техн. наук А. В. СУХОВ, Б. В. БОРЩ, А. В. ГАБЕЦ

## Оценка фрикционных свойств в парах трения клинового гасителя колебаний тележки грузового вагона

**Аннотация.** Решение задачи повышения надежности и долговечности тележек грузовых вагонов во многом зависит от достижения высокой работоспособности узла гашения колебаний прежде всего за счет применения при его изготовлении новых материалов.

При использовании для изготовления деталей узла гашения колебаний тележки грузового вагона новых материалов и новых технологий их получения не всегда удается оценить их фрикционные свойства на основе расчетов по нормативным параметрам. Применение натурных стендовых и пробеговых испытаний при оценке фрикционных свойств клиновых гасителей колебаний из различных материалов позволяет в полной мере сопоставить реальные показатели трибологических свойств узла в различных парах трения при имитации фактических условий эксплуатации подвижного состава.

Аналитическая оценка результатов расчетов и определения при натурных испытаниях коэффициента относительного трения в паре трения «клиновой гаситель колебаний — планка фрикционная» клинового гасителя колебаний рессорного подвешивания позволила обосновать целесообразность и эффективность применения стендовых испытаний трибологических свойств пар трения при отработке вариантов использования новых материалов узла гашения колебаний тележки грузовых вагонов.

**Ключевые слова:** грузовой вагон; тележка; клиновой гаситель колебаний; фрикционный клин; фрикционная планка; фрикционные свойства; коэффициент относительного трения; серый чугун марки СЧ35; чугун марки ЧМН-35М; сталь 30ХГСА; сталь 25Х

**Введение.** Для гашения колебаний кузова грузового вагона применяется рессорное подвешивание с фрикционным клиновым гасителем колебаний [1], который гасит вертикальные и горизонтальные попечерные колебания за счет работы вертикальной и горизонтальной составляющих сил трения на одной трущаяся поверхности.

При вертикальных колебаниях надрессорной балки совместно с обрессоренными массами вагона фрикционные клинья перемещаются вверх и вниз относительно фрикционных планок. В результате между клиньями и планками возникают силы трения, создающие сопротивление колебательному движению [2–4].

Сила трения, создаваемая гасителем колебаний в вертикальном направлении, в большей степени зависит от нормального давления на трущиеся поверхности клина и от коэффициента трения между трущимися поверхностями гасителя колебаний.

Несомненно, что задача повышения надежности и долговечности тележек грузовых вагонов во многом

зависит от высокой работоспособности узла гашения колебаний и прежде всего от применяемых при его изготовлении материалов [5].

При выборе материалов деталей узла гашения колебаний в качестве оценочного параметра его работоспособности применяется коэффициент относительного трения, с одной стороны, рассчитываемый по нормативам проектирования грузовых вагонов, с другой стороны, определяемый эмпирическим путем при натурных испытаниях.

Применяемые при расчете коэффициента относительного трения нормативные данные не учитывают особенности свойств материалов, получаемых с использованием современных технологий их изготовления, и не всегда соответствуют реальным практическим значениям.

Аналитическая оценка результатов расчетов и определения при натурных испытаниях коэффициента относительного трения в паре трения «клиновой гаситель колебаний — планка фрикционная» узла гашения колебаний тележки грузового вагона с использованием новых материалов (сталь 25Х для планки и специальный чугун марки ЧМН-35М для клина) позволила обосновать целесообразность применения стендовых испытаний трибологических свойств пар трения из различных материалов.

**Расчет коэффициента относительного трения.** Исходя из того что клиновой гаситель колебаний имеет несимметричную силовую характеристику (силы трения при разгрузке рессорного комплекта больше, чем при его нагрузке), аналитические исследования зависимости сил трения от нормального давления и коэффициента трения между трущимися поверхностями по условиям равновесия выполняются отдельно при его нагрузке и разгрузке (рис. 1), где  $N$  и  $N_1$  — воздействие нормальных давлений на поверхности клина, силы реакции подклиновых пружин  $P_k$  и сил трения  $F$  и  $F_1$  между трущимися поверхностями [6].

При проекции всех сил на оси  $X$  и  $Y$  система равновесия будет выглядеть следующим образом:

- при нагрузке рессорного комплекта
$$N_h \cos \beta + F_h \sin \beta - N_{1h} \sin \alpha + F_{1h} \cos \alpha = 0;$$
$$N_h \sin \beta - F_h \cos \beta + N_{1h} \cos \alpha + F_{1h} \sin \alpha - P_k = 0;$$
- при разгрузке рессорного комплекта

$$N_p \cos \beta - F_p \sin \beta - N_{lp} \sin \alpha - F_{lp} \cos \alpha = 0;$$

$$N_p \sin \beta + F_p \cos \beta - N_{lp} \cos \alpha - F_{lp} \sin \alpha - P_k = 0;$$

• силы трения при нагрузке клина

$$F_h = N_h \mu; F_{lh} = N_{lh} \mu_1;$$

• силы трения при разгрузке клина

$$F_p = N_p \mu; F_{lp} = N_{lp} \mu_1,$$

где  $\mu$  — коэффициент трения между вертикальными поверхностями клина и фрикционной планки;  $\mu_1$  — коэффициент трения между опорными наклонными поверхностями клина и надрессорной балки.

При расчетах технических характеристик клиновых гасителей колебаний используют вместо силы трения  $F$  коэффициент относительного трения  $\varphi$ , который представляет собой отношение силы трения, создаваемой гасителем колебаний, к полной силе, совершающей работу за один период колебания кузова вагона. При этом для расчетов коэффициента  $\varphi$  учитываются только  $F_h$  и  $F_p$ , так как сила трения создается в основном на вертикальных поверхностях трения фрикционного клина и фрикционной планки.

В результате приведения силовых нагрузок и сил трения на вертикальных поверхностях при цикле нагрузки и разгрузки коэффициент относительного трения  $\varphi$  определяется как

$$\varphi = \frac{\mu}{2(1 + \mu \mu_1)} \operatorname{tg} \alpha.$$

Так как угол заострения  $\alpha$  фрикционных клиньев в подавляющем количестве случаев равен  $45^\circ$ , коэффициент относительного трения  $\varphi$  определяется материалами, применяемыми в парах трения узла гашения колебаний, и полностью зависит от коэффициентов трения в парах трения узла гашения колебаний, а именно от коэффициента трения  $\mu$  между клином и фрикционной планкой и коэффициента трения  $\mu_1$  между клином и надрессорной балкой.

Необходимо также понимать, что данный расчет является усредненным, представляет лишь теоретическую оценку фрикционных свойств клинового гасителя колебаний при разработке тележки грузового вагона и выполняется без учета вариантов использования груженого и порожнего состояния вагона.

На сегодняшний день фрикционный клин, изготавливаемый из стали 20ГЛ либо из серого чугуна марки СЧ35, контактирует своей вертикальной поверхностью с фрикционной планкой, в качестве основного материала которой используют сталь 30ХГСА, и наклонной поверхностью с надрессорной балкой, в большинстве случаев отлитой из низкоуглеродистой стали 20ГЛ.

Исходя из нормативных документов [7], коэффициент трения между опорными наклонными поверхностями клина и надрессорной балки находится в пределах от 0,27 (при трении чугуна по стали) до 0,31 (при трении стали по стали), а коэффициент трения между

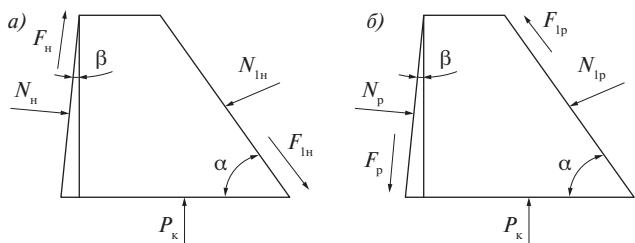


Рис. 1. Расчетная схема фрикционного гасителя колебаний:  
а — нагрузка клина; б — разгрузка клина

вертикальными поверхностями клина и фрикционной планки может составлять 0,17–0,25 (при различных вариантах изготовления клина и планки).

В целом при применении различных вариантов исполнения деталей узла гашения колебаний расчетное значение коэффициента относительного трения будет составлять от 0,126 до 0,147.

В соответствии с требованиями ГОСТ 9246–2004 коэффициент относительного трения гасителя колебаний должен составлять 0,08–0,16 [8–10].

Используя в паре трения «клин фрикционный — планка фрикционная» узла гашения колебаний новые материалы — сталь 25Х (30ХГСА) для планки и специальный чугун марки ЧМН-35М [11, 12] для клина, расчетное значение коэффициента относительного трения составило 0,13 (при этом  $\mu_1 = 0,14$  (0,13) и  $\mu = 0,27$ ).

**Стендовые испытания фрикционных свойств узла гашения колебаний тележки грузового вагона.** Данные циклические испытания проводят на 1 млн циклов (около 80 тыс. км пробега на ЭК ОАО «ВНИИЖТ») с построением диаграмм нагружения в координатах «нагрузка — прогиб» рессорно-пружинного комплекта с последующим определением коэффициента относительного трения фрикционного узла гасителя колебаний для двух режимов нагружения:

- сжатие пружин комплекта на величину 50 мм (режим груженого вагона). При этом номинальная статическая нагрузка от наружной подклиновой пружины, обеспечивающая прогиб пружины  $48_{-3,8}^{+5,8}$  мм (при расчетах прогиб принимается равным 50 мм), составляет 19,78 кН, а номинальная статическая нагрузка от внутренней подклиновой пружины составляет 10,56 кН. Расчетная нагрузка на весь рессорно-пружинный комплект испытательного стенда составит 212,38 кН. Ориентировочная нагрузка на стенде  $P_{\text{пружин}} \approx 200 \div 220$  кН (значение нагрузки может меняться из-за различной жесткости пружин, контрольным параметром является сжатие рессорно-пружинного комплекта на 50 мм, соответствующее режиму груженого вагона);

- сжатие пружин комплекта на величину 11 мм (режим порожнего вагона). В соответствии с силовыми характеристиками пружин расчетная нагрузка на весь рессорно-пружинный комплект испытательного стенда для его деформации на 11 мм составит 46,69 кН. Ориентировочная нагрузка на стенде  $P_{\text{порожн}} \approx 40 \div 50$  кН.

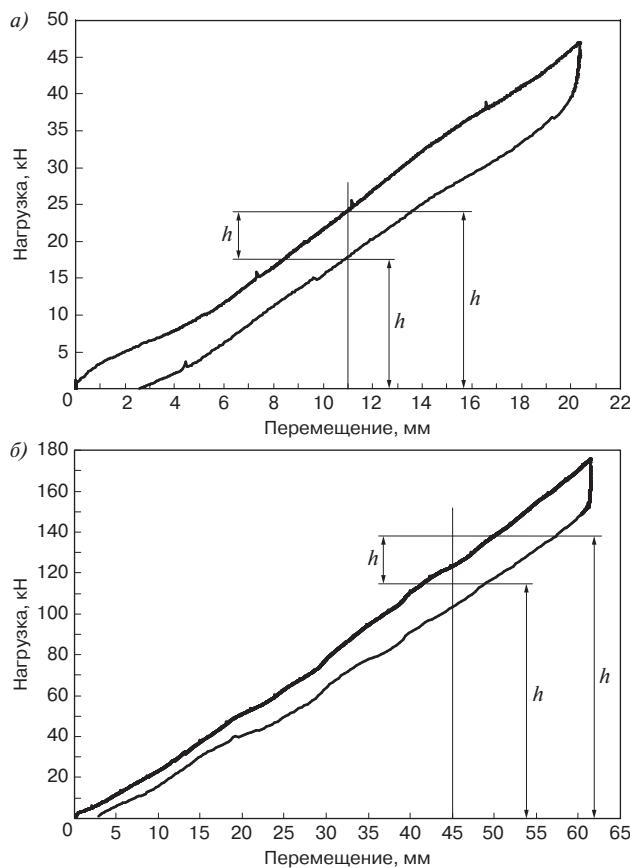


Рис. 2. Диаграммы определения коэффициента относительного трения для порожнего (а) и груженого состояния (б)

Для определения коэффициента относительного трения для режимов груженого и порожнего вагонов осуществляют запись диаграмм статического нагружения до замыкания пружин с помощью датчика перемещения, установленного между надрессорной балкой и боковой рамой. При этом расчет значений коэффициента относительного трения для груженого и порожнего режима проводят по формуле

$$\Phi_{tr} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 + h_3},$$

где значения  $h_2$  и  $h_3$  определяют по диаграмме нагрузки. Пример приведен на рис. 2.

Обобщенные результаты определения коэффициента относительного трения при имитации порожнего

и груженого подвижного состава (деформация рессорно-пружинного комплекта 11 и 50 мм) приведены в табл. 1 и на рис. 3 и 4.

Анализ приведенных результатов показывает, что уровень полученных значений коэффициента относительного трения для первой группы до испытаний на трение в порожнем и груженом режимах соответствует требованиям ГОСТ 9246–2004, а после проведенных испытаний незначительно превышен.

Вторая группа имеет высокие значения коэффициента относительного трения для порожнего и груженого режима.

Такая нестабильность коэффициента относительного трения не может быть объяснена в рамках данного эксперимента и требует дальнейшего продолжения исследований, включая в том числе определение коэффициента относительного трения при проведении пробеговых и эксплуатационных испытаний.

**Определение коэффициента относительного трения при пробеговых испытаниях на Экспериментальном кольце ОАО «ВНИИЖТ».** Основной целью пробеговых испытаний являлась ускоренная проверка работоспособности клинового гасителя колебаний тележки грузового вагона, оборудованного опытными фрикционными клиньями из легированного модифицированного чугуна марки ЧМН-35М, и фрикционных планок, изготовленных из сталей марок 30ХГСА и 25Х, а также определение фрикционных свойств пар трения при различных вариантах эксплуатации, максимально приближенных к сетевым (Протокол по результатам пробеговых испытаний фрикционных клиньев тележек грузовых вагонов из легированного модифицированного чугуна марки ЧМН-35М на Экспериментальном кольце ОАО «ВНИИЖТ». ОАО «ВНИИЖТ», Москва, 2014 г.).

При этом эквивалентный пробег составил более 260 тыс. км (80 тыс. км фактического пробега на Экспериментальном кольце) для каждой фрикционной пары.

Коэффициент относительного трения фрикционного гасителя колебаний тележки определяется посредством нагружения тележки вертикальной нагрузкой и последующей разгрузки с регистрацией  $K_d$  и прогиба рессорных комплектов. Рама тележки была оснащена тензометрическими схемами для определения коэффициентов вертикальной нагрузки  $K_{d1}$  и  $K_{d2}$ .

Таблица 1

Деформация рессорно-пружинного комплекта

№ серии испытаний	Комплектация стенда при определении коэффициента относительного трения	Коэффициент относительного трения			
		до испытания		после испытания	
		$\Phi_{tr, порож}$	$\Phi_{tr, груж}$	$\Phi_{tr, порож}$	$\Phi_{tr, груж}$
1	Клины из легированного серого чугуна ЧМН-35М, составные фрикционные планки из стали 25Х	0,14	0,08	0,18	0,19
2	Клины из легированного серого чугуна ЧМН-35М, составные фрикционные планки из стали 30ХГСА	0,30	0,25	0,35	0,20
Требования ГОСТ 9246 – 2004		$\Phi_{tr, порож} = 0,10 \div 0,16$		$\Phi_{tr, груж} = 0,08 \div 0,12$	

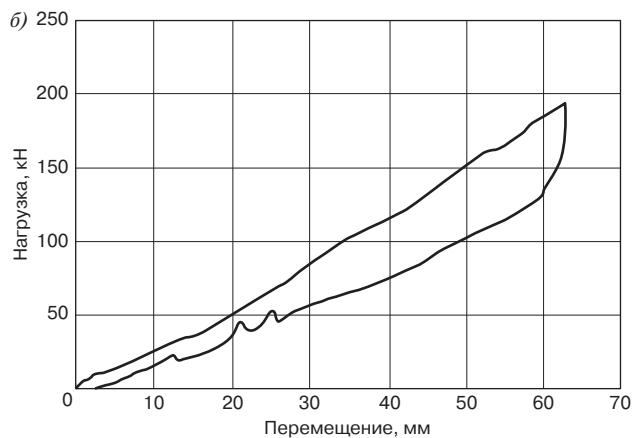
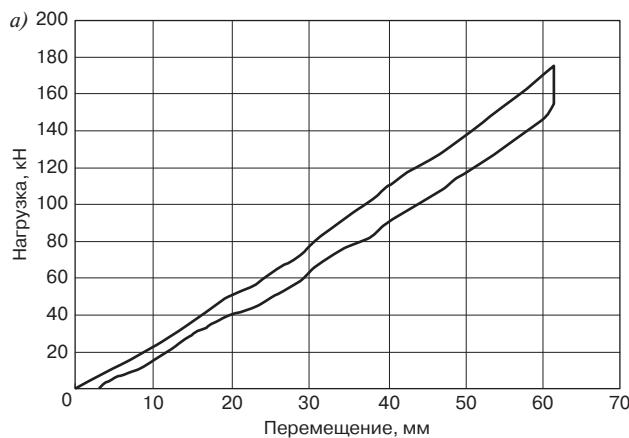


Рис. 3. Диаграмма определения коэффициента относительного трения по первой серии испытаний (ЧМН-35М и сталь 25Х):  
а — до испытаний; б — после испытаний

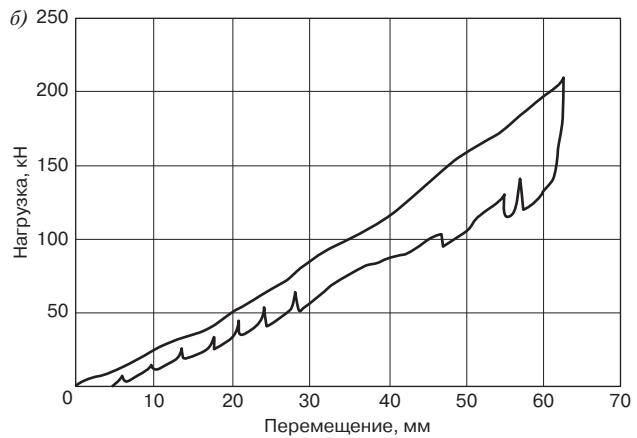
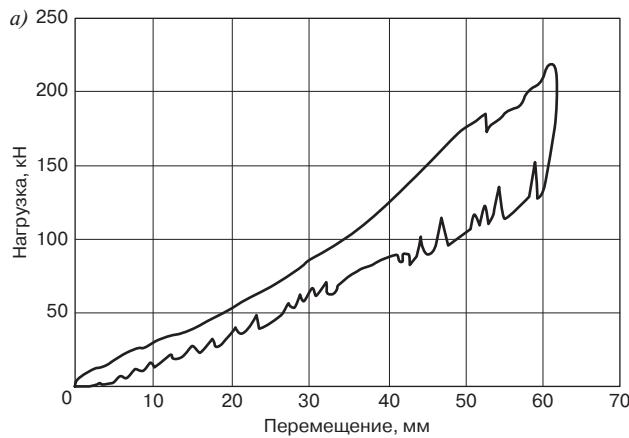


Рис. 4. Диаграмма определения коэффициента относительного трения по второй серии испытаний (ЧМН-35М и сталь 30ХГСА):  
а — до испытаний; б — после испытаний

В центральном подвешивании тележек установлены прогибомеры для замеров вертикальных прогибов рессорных комплектов Пц1 и Пц2. Процесс нагружения и разгружения тележек с регистрацией показателей повторялся не менее трех раз.

По записанным процессам строились петли гистерезиса в координатах: коэффициент вертикальной нагрузки на раме тележек  $K_d$  — вертикальные прогибы рессорных комплектов в центральном подвешивании Пц.

Коэффициент относительного трения рассчитывался как отношение среднеарифметического значений разности сил на ходе нагрузки и ходе разгрузки к сумме среднеарифметических значений сил на ходе нагрузки в пределах измерения от 80 до 120% включительно от полного статистического прогиба под нагрузкой брутто:

$\varphi_{tp} = (K_h - K_p)(K_h + K_p)$ ,  
где  $K_h$  — среднеарифметическое значение силы при нагрузке;  $K_p$  — среднеарифметическое значение силы при разгрузке.

На рис. 5 и 6 представлены диаграммы для определения коэффициентов относительного трения перед началом и после завершения испытаний.

Как видно из табл. 2, значения коэффициентов относительного трения фрикционных гасителей колебаний тележки грузового вагона, оборудованных фрикционными клиньями ЧМН-35М и планками из стали 25Х и 30ХГСА, после завершения пробеговых испытаний снизились на 40% по сравнению со значениями коэффициентов относительного трения перед началом испытаний.

**Выводы.** На основании результатов приведенных выше расчетов и испытаний по оценке фрикционных свойств пары трения «клин фрикционный — планка фрикционная» клинового гасителя колебаний рессорного подвешивания тележки грузового вагона можно отметить:

- расчетные значения коэффициента относительного трения, получаемые исходя из нормативных параметров по выбранным материалам (клин — чугун марки ЧМН-35М и планка — сталь 25Х, 30ХГСА), соответствуют средним значениям коэффициента относительного трения по ГОСТ 9246 — 2004;

- результаты натурных стендовых и пробеговых испытаний по определению коэффициента относительного трения фрикционного гасителя колебаний перед началом и после их завершения полностью

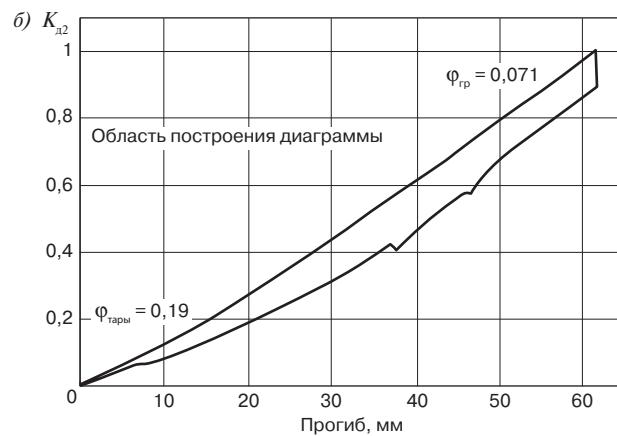
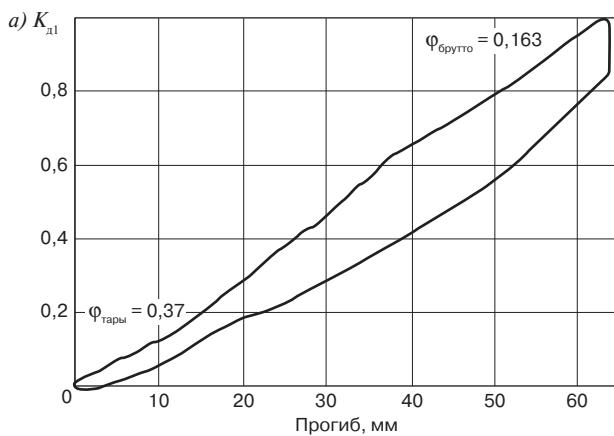


Рис. 5. Диаграмма определения коэффициента относительного трения (ЧМН-35М и сталь 25Х):  
а — до испытаний; б — после испытаний

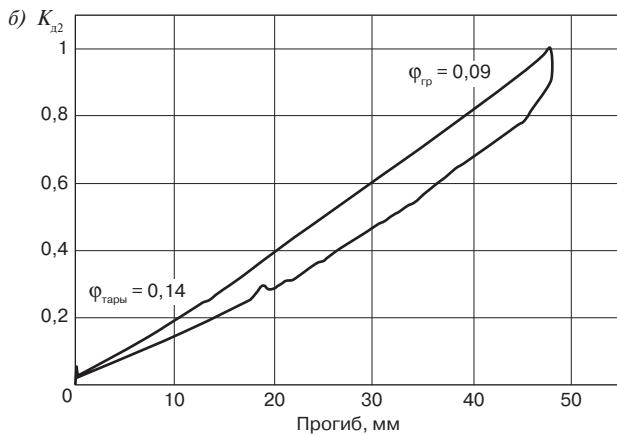
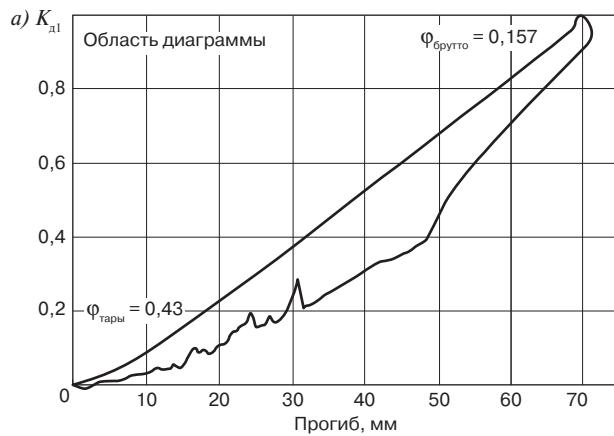


Рис. 6. Диаграмма определения коэффициента относительного трения (ЧМН-35М и сталь 30ХГСА):  
а — до испытаний; б — после испытаний

Таблица 2

Результаты испытаний по определению коэффициента относительного трения фрикционного гасителя колебаний тележки перед началом и после завершения пробеговых испытаний

Фрикционный гаситель	Пробег на ЭК, км	Значение коэффициента относительного трения фрикционного гасителя колебаний	
		под тарой (левая/правая/средний)	под тарой (левая/правая/средний)
Рекомендуемое по ГОСТ 9246		Не менее 0,07	
п/в 6070568/60706280: фрикционный клин ЧМН-35М; планка 25Х	0	0,37/0,2/0,285	0,168/0,076/0,122
	87710	0,19/0,15/0,17	0,071/0,7/0,0705
п/в 60705969: фрикционный клин ЧМН-35М; планка 30ХГСА	0	0,41/0,21/0,315	0,157/0,168/0,162
	88360	0,14/0,17/0,155	0,09/0,11/0,1

коррелируются по своим средним значениям со средними расчетными значениями;

• стендовые испытания могут быть эффективными при отработке вариантов использования новых материалов узла гашения колебаний тележки грузовых вагонов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гасители колебаний вагонов / И. И. Челноков [и др.] М.: Трансжелдориздат, 1963. 176 с.
2. Крагельский И. В. Трение и износ. М.: Машиностроение, 1968. 480 с.

3. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А. В. Чичинадзе [и др.]; под общ. ред. А. В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 2003. 576 с.

4. Марков Д. П. Трибология и ее применение на железнодорожном транспорте // Труды ВНИИЖТ. М.: Интекст, 2007. 408 с.

5. Ефимов В. П., Пранов А. А. Модернизация тележки модели 18-100 — эффективный путь повышения безопасности движения поездов // Тяжелое машиностроение. 2003. № 12. С. 6—9.

6. Челноков И. И. Основные направления совершенствования и разработки рессорного подвешивания вагонов для перспективных условий эксплуатации / И. И. Челноков [и др.] // Тр. ЛИИЖТ. 1966. Вып. 255. С. 28—45.

7. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. 319 с.

8. Чугунные фрикционные клинья тележки грузового вагона / А. В. Великанов [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. 1999. № 1. С. 25–31.
9. Великанов А. В., Борщ Б. В. Фрикционные клинья из высокопрочного чугуна // Вестник ВНИИЖТ. 2007. № 2. С. 18–22.
10. Великанов А. В., Борщ Б. В. Клин из серого чугуна для фрикционного гасителя колебаний грузовых вагонов // Вопросы развития железнодорожного транспорта в условиях рыночной экономики: сб. науч. тр. ОАО «ВНИИЖТ» / под ред. Ю. М. Черкашина, Г. В. Гогричани. М.: Интект, 2007. С. 166–175.
11. Габец А. В. Специальный чугун для отливки фрикционного клина тележки железнодорожного вагона // Ползуновский вестник. 2013. № 4/2. С. 51–52.
12. Филиппов Г. А. Фундаментальные исследования природы хрупкости — основа создания высокопрочных и надежных конструкционных материалов // Сталь. 2004. № 8. С. 69–78.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**СУХОВ Алексей Владимирович**,  
заведующий отделением «Транспортное материаловедение»,  
ОАО «ВНИИЖТ».

129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10.  
Тел.: (499) 260-43-90.  
E-mail: a\_sukhov@mail.ru

**БОРЩ Борис Васильевич**,  
старший научный сотрудник,  
ОАО «ВНИИЖТ».  
129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10.  
Тел.: (499) 260-44-12.  
E-mail: boris358@mail.ru

**ГАБЕЦ Александр Валерьевич**,  
директор по развитию, руководитель  
научно-исследовательского сектора,  
ООО «Алтайский сталелитейный завод».  
656037, Алтайский край, Барнаул,  
пр-т Калинина, д.116/52.  
Тел.: 8 (3852) 50-18-87.  
E-mail: gabeca@mail.ru

## Frictional properties evaluation for friction couples in a V-shaped damping unit of a freight-car bogie

**Alexey V. Sukhov**, Candidate of Technical Science, Head of Department for Transport Related Material Technology, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (499) 260 4390. E-mail: a\_sukhov@mail.ru

**Boris V. Borsch**, Candidate of Technical Science, Senior Researcher, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (499) 260 4412. E-mail: boris358@mail.ru

**Alexander V. Gabetz**, Candidate of Technical Science, Director for Development, Head of Research Sector at LLC Altai Steel Mill. 116/52, Kalinin Prospect, 656037 Barnaul, Altai Territory, Russian Federation. Tel.: +7 (3852) 501887. E-mail: gabeca@mail.ru

**Abstract.** Solution of a problem to improve reliability and durability of the freight-car bogies depends largely on success in securing high functional capability of the damping unit primarily by use of new materials at the stage of its manufacture.

When using in manufacture of a damping unit for the freight-car bogie any new materials or new technologies for their production we are not always able to calculate their frictional properties in accordance with specified parameters. Employment of in-situ testing, rig tests and running tests in estimating frictional properties of V-shaped damping units made of various materials allows to fully compare realistic parameters of tribological behavior of the unit with various friction couples while imitating actual conditions of the rolling stock operation.

Comparative analysis of calculation results and measurements of the relative friction coefficient for the 'friction wedge/friction plate' couple used in a V-shaped damping unit in order to damp oscillations of the spring suspension obtained during field tests allowed us to validate practicability and efficiency of employing rig tests to measure parameters of tribological behavior of friction couples when performing comprehensive tests of usage variants in relation to new materials for the freight-car bogie damping unit.

**Keywords:** freight car; bogie; V-shaped damping unit; friction wedge; friction plate; frictional properties; relative friction coefficient; gray cast iron grade SCh35; cast iron grade XhMN-35M; steel grade 30KhGSA; steel grade 25Kh

## References

1. Chelnokov I. I. et al. *Gasiteli kolebaniy vagonov* [Train cars vibration dampers]. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1963. 176 p.
2. Kragel'skiy I. V. *Trenie i iznos* [Friction and wear]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1968. 480 p.
3. Chichinadze A. V. et al. *Trenie, iznos i smazka* (tribologiya i tribotekhnika) [Friction, wear and lubrication (tribology and tribomechanics)]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2003. 576 p.
4. Markov D. P. *Tribologiya i ee primenenie na zheleznodorozhnom transporte* [Tribology and its application in rail transport]. Moscow, Intext Publ., 2007. 408 p. (Proc. of the Railway Research Institute).
5. Efimov V. P., Pranov A. A. *Modernizatsiya telezhki modeli 18-100 — effektivnyy put' povysheniya bezopasnosti dvizheniya poezdov* [Modernization of the bogie model 18–100 – an effective way to increase the safety of trains]. Tyazheloe mashinostroenie,
6. Chelnokov I. I. et al. *Osnovnye napravleniya sovershenstvovaniya i razrabotki resornogo podveshivaniya vagonov dlya perspektivnykh usloviy ekspluatatsii* [The main areas of improvement and development of spring suspension of cars for prospective operating conditions]. Trudy LIZhT [Proc. of Leningrad Inst. of Transport Engineers], 1966, no. 255, pp. 28–45.
7. *Norms for calculation and design of cars for MR 1520 mm gauge railways (unpowered)*. Moscow, GosNIIIV, VNIIZhT Publ., 1996. 319 p. (in Russ.).
8. Velikanov A. V. et al. *Chugunnye frikcionnye klin'ya telezhki gruzovogo vagona* [Cast iron friction wedges of freight car bogies]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 1999, no. 1, pp. 25–31.
9. Velikanov A. B., Borshch B. V. *Frikcionnye klin'ya iz vysokoprochnogo chuguna* [Friction wedges of ductile cast iron]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2007, no. 2, pp. 18–22.
10. Velikanov A. B., Borshch B. V. *Klin iz serogo chuguna dlya frikcionnogo gasitelya kolebaniy gruzovikh vagonov* [Wedge of gray cast iron for the friction damper of freight cars]. Voprosy razvitiya zheleznodorozhnoho transporta v usloviyakh rynochnoy ekonomiki. Sb. nauch. tr. OAO "VNIIZhT" [Issues of railway transport development in a market economy. Coll. of sci. works of JSC «VNIIZhT» (Railway Research Institute)]. Moscow, Intext Publ., 2007, pp. 166–175.
11. Gabets A. V. *Spetsial'nyy chugun dlya otlivki frikcionnogo klin'a telezhki zheleznodorozhnoho vagona* [Special iron for casting friction wedge of railway car truck]. Polzunovskiy vestnik, 2013, no. 4/2, pp. 51–52.
12. Filippov G. A. *Fundamental'nye issledovaniya prirody khrupkosti — osnova sozdaniya vysokoprochnykh i nadezhnykh konstruktionsnykh materialov* [Fundamental studies on the nature of fragility — the basis for the creation of high-strength and reliable construction materials]. Stal', 2004, no. 8, pp. 69–78.