

## Разработка и расчет на прочность новой конструкции фрикционного клина узла гашения колебания тележки грузового вагона

Письменный Е.А.<sup>1</sup>, Габец А.В.<sup>2</sup>, Марков А.М.<sup>3</sup>, Габец Д.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>АО «ИЦ ТСЖТ»

<sup>2</sup>ООО «СибТрансМаши»

<sup>3</sup>Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

**Аннотация:** В настоящее время при конструировании и изготовлении стальных изделий, работающих в условиях тяжёлого ударно-абразивного износа, внимание уделяется не только материалу, но и конструкции самого изделия. Одной из таких деталей является фрикционный клин тележки грузового вагона. В данной работе представлена новая конструкция фрикционного клина узла гашения колебаний, проведены технические расчеты на прочность представленной конструкции. Рассчитаны коэффициенты запаса прочности рессорного подвешивания. Все расчеты выполнены согласно нормам для расчета и проектирования новых и модернизированных вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм. Проведенные расчеты свидетельствуют о высоких эксплуатационных показателях разработанной конструкции, полученные значения полностью удовлетворяют требованиям, предъявляемым к таким изделиям. Результатом работы по созданию новой конструкции фрикционного клина узла гашения колебаний является получение патента на полезную модель № 194823, также разработан чертеж (КИ-000.00.00.001) и технические задания на опытно-конструкторскую работу (КИ-000.00.00.001 ТЗ).

**Ключевые слова:** Фрикционный клин, узел гашения колебаний, тележка грузового вагона, прочность, надежность, долговечность, расчет рессорного подвешивания, статический прогиб рессорного подвешивания, коэффициент конструкционного запаса прогиба, коэффициент относительного трения.

Фрикционный клин расположен в узле гашения колебаний тележки грузового вагона, служит для предотвращения раскачивания кузова вагона при движении. При этом работоспособность клиньев определяется такими характеристиками, как прочность и износостойкость [1,2].

Типовая конструкция фрикционного клина узла гашения колебаний трехэлементной тележки грузовых вагонов (рисунок 1) представляет собой стальную или чугунную отливку коробчатой формы [3,4]. Три стенки образуют рабочий контур поверхностей, которые обеспечивают работу клина: вертикальная, наклонная и нижняя стенки.

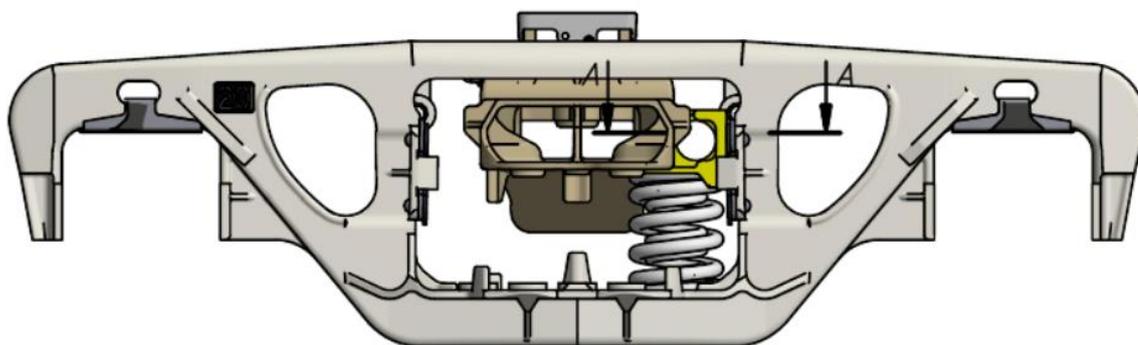


Рисунок 1 - Типовая конструкция узла гашения колебаний

Основными проблемами при эксплуатации вагонов, оборудованных такими фрикционными клиньями, являются недостаточная износостойкость и прочность клина, и как следствие - сокращение межремонтного пробега вагона в целом. В процессе эксплуатации чаще всего наблюдается преждевременный износ наклонной и рабочей поверхности, а также встречаются случаи появления трещин и изломов клиньев, что может послужить причиной оцепов вагона в ремонт.

Целью настоящей работы является создание новой конструкции фрикционного клина с применением оптимального химического состава, полученного из переработанного сортового лома с использованием минимального количества легирующих добавок. Актуальность создания такого изделия заключается в получении конечного продукта по низкой себестоимости с высокими технико-эксплуатационными параметрами, способными работать в тяжелых режимах эксплуатации при ударно-абразивном износе.

Исходя из вышесказанного, было принято решение по разработке новой конструкции фрикционного клина, имеющего меньший вес по сравнению с аналогами и высокие эксплуатационные свойства, способные обеспечивать безаварийную эксплуатацию.

Разработанный фрикционный клин (рисунок 2) не имеет боковых стенок, вместо них выполнены внешние ребра с углублениями. Это позволяет снизить металлоемкость клина при сохранении прочности. Кроме того, во внутренних ребрах клина выполнены отверстия, а во внешних ребрах и на опорной площадке – углубления, уменьшены толщины внутренних и внешних ребер, передней вертикальной стенки и горизонтального ребра, что в совокупности с другими указанными признаками технического решения также позволяет еще больше снизить металлоемкость клина при сохранении прочности конструкции. Новизна представленного решения подтверждена патентом на полезную модель № 194823 от 22.10.2019 г., разработан чертеж (КИ-000.00.00.001) и техническое задание на опытно-конструкторскую работу (КИ-000.00.00.001 ТЗ).

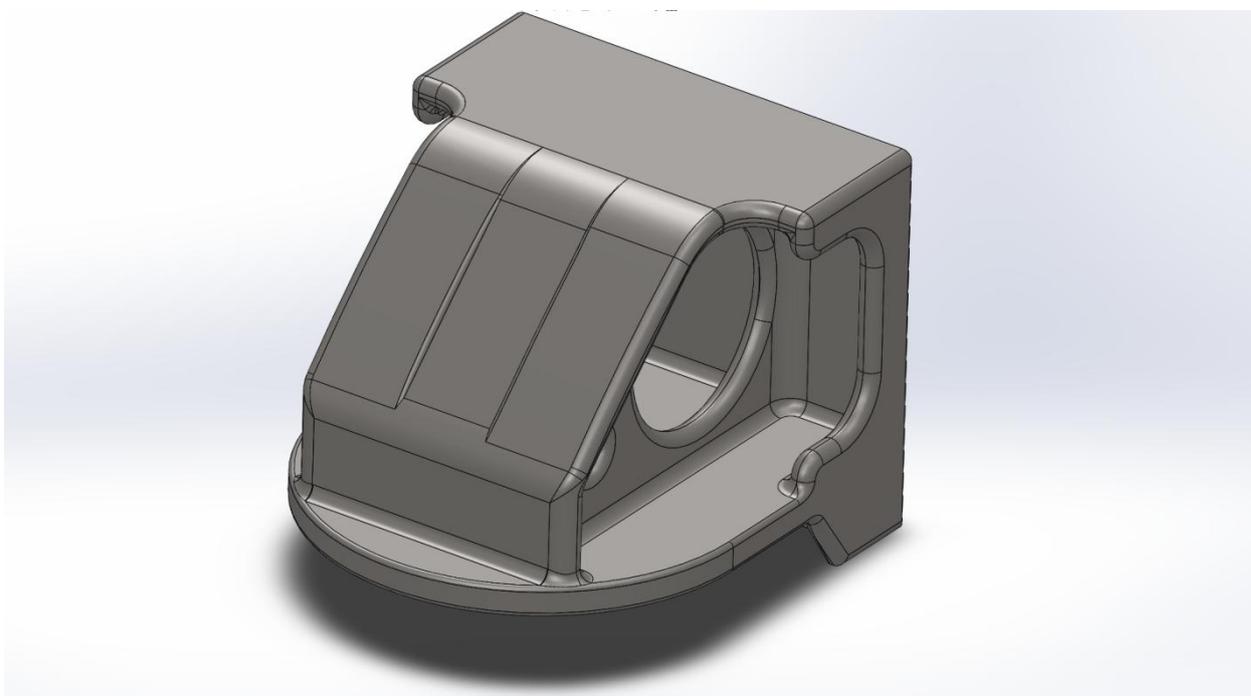


Рисунок 2 – Разработанный фрикционный клин

Проведённые технические расчеты при помощи программного пакета ANSYS, показали высокую работоспособность изделия: при условии, что

максимальные эквивалентные напряжения получены путем приложения к конечно-элементной модели клина, наибольшего значения продольной силы, приложенной к вертикальной поверхности клина  $F_{\text{кл}} = 190,6 \text{ кН}$ , исходя из условия смыкания пружин под клином, то максимальные напряжения в клине возникают в вертикальных стенках в зонах большого и малого отверстий детали.  $\sigma = 273,85 \text{ МПа} < [\sigma] = 353 \text{ МПа}$  (рисунок 3,4) [5-8].

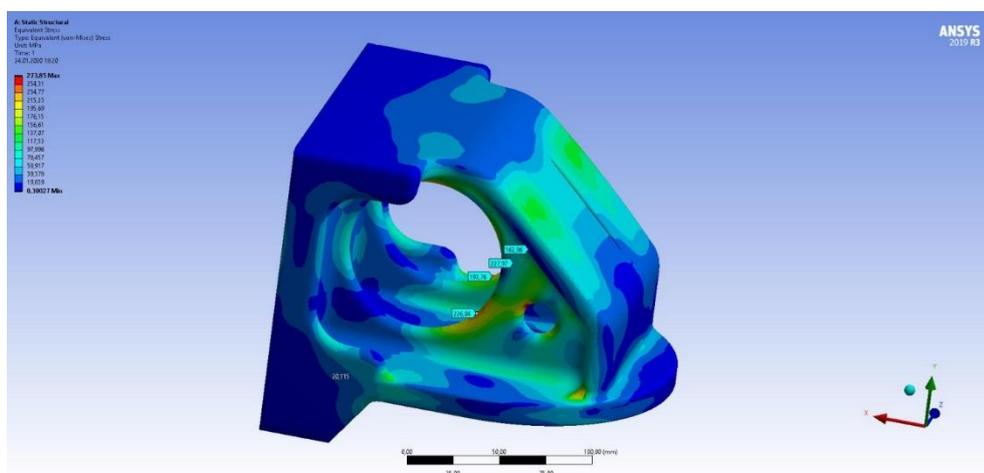


Рисунок 3 - Эквивалентные напряжения в клине. Вид справа

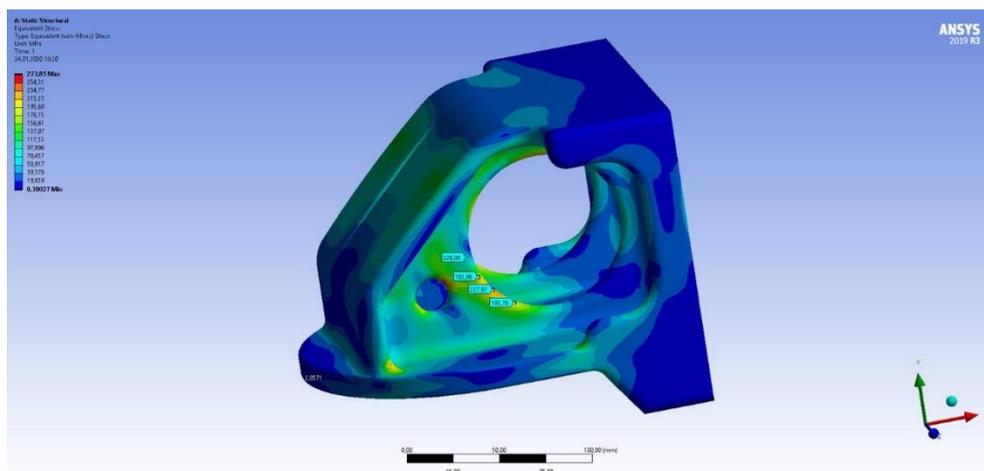


Рисунок 4 - Эквивалентные напряжения в клине. Вид слева.

На основании выполненного расчета можно сделать вывод, что конструкция клина фрикционного (чертеж КИ-000.00.00.001) по своим прочностным параметрам удовлетворяет требованиям ГОСТ 34503-2018

(Клинья фрикционные тележек грузовых вагонов. Общие технические условия).

Далее для возможности установки разработанной конструкции фрикционного клина необходимо проведение расчета рессорного подвешивания тележки грузовых вагонов типа 2 по ГОСТ 9246-2013. Цель настоящего расчета заключается в определении суммарных значений жесткости и прогибов, а также оценке напряженно-деформированного состояния пружин рессорного подвешивания тележки грузового вагона [9,10].

Комплект рессорного подвешивания состоит из семи двухрядных пружин, изготовленных из стали 60С2ХФА ГОСТ 14959-2016 с билинейной характеристикой, двух фрикционных клиновых гасителей колебания с углом наклона  $45^\circ$ . Все наружные пружины имеют высоту 264 мм, внутренние подклиновые – 264 мм, внутренние подбалочные – 238 мм [11,12].

Расчет выполнен в соответствии с требованиями норм для расчета и проектирования новых и модернизированных вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных), ГосНИИВ-ВНИИЖТ, Москва, 1996г. с изменениями и дополнениями, ГОСТ 9246-2013 «Тележки двухосные трехэлементные грузовых вагонов железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия».

#### **Расчет коэффициента конструкционного запаса прогиба рессорного подвешивания.**

Согласно нормам расчета и проектирования для подвешивания с нелинейной характеристикой жесткости, коэффициент конструкционного запаса прогиба определяется, как отношение силы, соответствующей полному, допускаемому конструкцией, сжатию рессорного подвешивания к силе ее статического нагружения брутто, и определяется формулой:

$$K_{зп} = \frac{K^H \cdot Ж^H \cdot f_{max}^H + K^{BB} \cdot Ж^{BB} \cdot f_{max}^{BB} + K^{BH} \cdot Ж^{BH} \cdot f_{max}^{BH}}{P_{ст}}$$

где  $f_{max}^H, f_{max}^{BB}, f_{max}^{BH}$  – конструктивный максимальный прогиб наружной, внутренней высокой и внутренней низкой пружин, соответственно, м.

$$f_{max}^{BH} = H_c^{BH} - H_{сж}^{BH} = 0,238 - 0,150 = 0,088 \text{ м,}$$

$$f_{max}^{BB} = H_c^{BB} - H_{сж}^{BB} = 0,264 - 0,151 = 0,113 \text{ м,}$$

$$f_{max}^H = H_c^H - H_{сж}^H = 0,264 - 0,151 = 0,113 \text{ м.}$$

Так как пружины РП работают одновременно, то максимальный прогиб наружной пружины составит:

$$f_{max}^H = f_{max}^{BB} = 0,113 \text{ м.}$$

$$K_{зп} = \frac{7 \cdot 0,333 \cdot 0,113 + 2 \cdot 0,167 \cdot 0,113 + 5 \cdot 0,261 \cdot 0,088}{0,209} = 1,99.$$

### Определение коэффициентов относительного трения

Определение коэффициентов относительного трения представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Определение коэффициентов относительного трения

Наименование	Обозначение	Формула	Размерность	Значение
1	2	3	4	5
Коэффициент для нисходящего движения	$\Delta_H$	$(1 + \mu \cdot \mu_1) \cdot \cos(\alpha_1 - \alpha_2) + (\mu_1 - \mu) \cdot \sin(\alpha_1 - \alpha_2)$	-	0,7707
Коэффициент для восходящего движения	$\Delta_B$	$(1 + \mu \cdot \mu_1) \cdot \cos(\alpha_1 - \alpha_2) - (\mu_1 - \mu) \cdot \sin(\alpha_1 - \alpha_2)$	-	0,7707
<b>При занижении клина <math>a = 0</math> мм</b>				
<b>Порожний режим</b>				
Сила при прогибе до включения в работу всех пружин комплекта	$P_{прог}^H$	$a \cdot \sum_{нар,внутр} Ж^{H,BB} \cdot K_{кл}^{H,BB}$	кН	0
Прогиб основной высокой пружины	$Z_0^H$	$\frac{P_T - P_{прог}}{\sum_{нар,внутр} Ж^{H,BB} \cdot K^{H,BB}}$	м	0,011
Прогиб подклиненной пружины	$Z_{кл}^{H,BB}$	$Z_0^H + a$	м	0,011

1	2	3	4	5
Сила трения для нисходящего движения для порожнего вагона	$F_H^п$	$\mu \cdot \frac{\sin \alpha_1 - \mu_1 \cdot \cos \alpha_1}{\Delta_H} \cdot (Ж^H \cdot Z_{кл}^H + Ж^{BB} \cdot Z_{кл}^{BB})$	кН	1,203
Сила трения для восходящего движения для порожнего вагона	$F_B^п$	$(Ж^H + Ж^{BB}) \cdot \mu \cdot \frac{\sin \alpha_1 + \mu_1 \cdot \cos \alpha_1}{\Delta_B} \cdot f_T$	кН	1,922
Нагрузка на рессорный комплект при движении вниз для порожнего вагона	$P_H^п$	$P_T + n_2 \cdot F_H^п$	кН	32,663
Нагрузка на рессорный комплект при движении вверх для порожнего вагона	$P_B^п$	$P_T - n_2 \cdot F_H^п$	кН	26,413
Коэффициент относительного трения клинового гасителя для порожнего вагона	$\varphi_{тр}^п$	$\frac{P_H^п - P_B^п}{P_H^п + P_B^п}$	-	0,106
<b>Груженный режим</b>				
Сила при прогибе до включения в работу всех пружин комплекта	$P_{прог}^г$	$(Ж^H \cdot K_{кл}^H + Ж^{BB} \cdot K_{кл}^{BB}) \cdot ((H_c^H - H_c^{BH}) + a) + Ж^H \cdot (H_c^H - H_c^{BH}) \cdot (K^H - K_{кл}^H)$	кН	69,290
Прогиб основной низкой пружины	$Z_0^{BH}$	$\frac{P_{ст} - P_{прог}^г}{Ж_k^H}$	м	0,035
Прогиб основной высокой пружины	$Z_0^H$	$Z_0^{BH} + (H_c^H - H_c^{BH})$	м	0,061
Прогиб подклиненной пружины	$Z_{кл}^{H, BB}$	$Z_0^{BH} + (H_c^H - H_c^{BH}) + a$	м	0,061
Сила трения для нисходящего движения для груженого вагона	$F_H^г$	$\mu \cdot \frac{\sin \alpha_1 - \mu_1 \cdot \cos \alpha_1}{\Delta_H} \cdot (Z_{кл}^H \cdot Ж^H + Z_{кл}^{BB} \cdot Ж^{BB})$	кН	2,969
Сила трения для восходящего движения для груженого вагона	$F_B^г$	$\mu \cdot \frac{\sin \alpha_1 + \mu_1 \cdot \cos \alpha_1}{\Delta_B} \cdot (Z_{кл}^H \cdot Ж^H + Z_{кл}^{BB} \cdot Ж^{BB})$	кН	10,369
Нагрузка на рессорный комплект при движении вниз для груженого вагона	$P_H^г$	$P_{ст} + n_2 \cdot F_H^г$	кН	215,228
Нагрузка на рессорный комплект при движении вверх для груженого вагона	$P_B^г$	$P_{ст} - n_2 \cdot F_H^г$	кН	188,549
Коэффициент относительного трения клинового гасителя для груженого вагона	$\varphi_{тр}^г$	$\frac{P_H^г - P_B^г}{P_H^г + P_B^г}$	-	0,07
<b>При занижении клина a = 4 мм</b>				
<b>Порожний режим</b>				



1	2	3	4	5
Сила при прогибе до включения в работу всех пружин комплекта	$P_{\text{прог}}^{\text{п}}$	$a \cdot \sum_{\text{нар,внутр}} Ж^{\text{H,ВВ}} \cdot K_{\text{кл}}^{\text{H,ВВ}}$	кН	4,0
Прогиб основной высокой пружины	$Z_0^{\text{H}}$	$\frac{P_{\text{T}} - P_{\text{прог}}}{\sum_{\text{нар,внутр}} Ж^{\text{H,ВВ}} \cdot K_{\text{кл}}^{\text{H,ВВ}}}$	м	0,009
Прогиб подклиненной пружины	$Z_{\text{кл}}^{\text{H,ВВ}}$	$Z_0^{\text{H}} + a$	м	0,014
Сила трения для нисходящего движения для порожнего вагона	$F_{\text{H}}^{\text{п}}$	$\mu \cdot \frac{\sin \alpha_1 - \mu_1 \cdot \cos \alpha_1}{\Delta_{\text{H}}} \cdot (Ж^{\text{H}} \cdot Z_{\text{кл}}^{\text{H}} + Ж^{\text{ВВ}} \cdot Z_{\text{кл}}^{\text{ВВ}})$	кН	1,468
Сила трения для восходящего движения для порожнего вагона	$F_{\text{В}}^{\text{п}}$	$(Ж^{\text{H}} + Ж^{\text{ВВ}}) \cdot \mu \cdot \frac{\sin \alpha_1 + \mu_1 \cdot \cos \alpha_1}{\Delta_{\text{В}}} \cdot f_{\text{T}}$	кН	2,345
Нагрузка на рессорный комплект при движении вниз для порожнего вагона	$P_{\text{H}}^{\text{п}}$	$P_{\text{T}} + n_2 \cdot F_{\text{H}}^{\text{п}}$	кН	33,193
Нагрузка на рессорный комплект при движении вверх для порожнего вагона	$P_{\text{В}}^{\text{п}}$	$P_{\text{T}} - n_2 \cdot F_{\text{H}}^{\text{п}}$	кН	25,567
Коэффициент относительного трения клинового гасителя для порожнего вагона	$\varphi_{\text{тр}}^{\text{п}}$	$\frac{P_{\text{H}}^{\text{п}} - P_{\text{В}}^{\text{п}}}{P_{\text{H}}^{\text{п}} + P_{\text{В}}^{\text{п}}}$	-	0,130
<b>Груженный режим</b>				
Сила при прогибе до включения в работу всех пружин комплекта	$P_{\text{прог}}^{\text{г}}$	$(Ж^{\text{H}} \cdot K_{\text{кл}}^{\text{H}} + Ж^{\text{ВВ}} \cdot K_{\text{кл}}^{\text{ВВ}}) \cdot ((H_{\text{C}}^{\text{H}} - H_{\text{C}}^{\text{ВВ}}) + a) + Ж^{\text{H}} \cdot (H_{\text{C}}^{\text{H}} - H_{\text{C}}^{\text{ВВ}}) \cdot (K^{\text{H}} - K_{\text{кл}}^{\text{H}})$	кН	73,290
Прогиб основной низкой пружины	$Z_0^{\text{ВВ}}$	$\frac{P_{\text{ст}} - P_{\text{прог}}^{\text{г}}}{Ж_{\text{к}}^{\text{ВВ}}}$	м	0,034
Прогиб основной высокой пружины	$Z_0^{\text{H}}$	$Z_0^{\text{ВВ}} + (H_{\text{C}}^{\text{H}} - H_{\text{C}}^{\text{ВВ}})$	м	0,060
Прогиб подклиненной пружины	$Z_{\text{кл}}^{\text{H,ВВ}}$	$Z_0^{\text{ВВ}} + (H_{\text{C}}^{\text{H}} - H_{\text{C}}^{\text{ВВ}}) + a$	м	0,064
Сила трения для нисходящего движения для груженого вагона	$F_{\text{H}}^{\text{г}}$	$\mu \cdot \frac{\sin \alpha_1 - \mu_1 \cdot \cos \alpha_1}{\Delta_{\text{H}}} \cdot (Z_{\text{кл}}^{\text{H}} \cdot Ж^{\text{H}} + Z_{\text{кл}}^{\text{ВВ}} \cdot Ж^{\text{ВВ}})$	кН	6,809
1	2	3	4	5
Сила трения для восходящего движения для груженого вагона	$F_{\text{В}}^{\text{г}}$	$\mu \cdot \frac{\sin \alpha_1 + \mu_1 \cdot \cos \alpha_1}{\Delta_{\text{В}}} \cdot (Z_{\text{кл}}^{\text{H}} \cdot Ж^{\text{H}} + Z_{\text{кл}}^{\text{ВВ}} \cdot Ж^{\text{ВВ}})$	кН	10,876
Нагрузка на рессорный комплект при движении вниз для груженого вагона	$P_{\text{H}}^{\text{г}}$	$P_{\text{ст}} + n_2 \cdot F_{\text{H}}^{\text{г}}$	кН	222,907
Нагрузка на рессорный комплект при движении вверх для груженого вагона	$P_{\text{В}}^{\text{г}}$	$P_{\text{ст}} - n_2 \cdot F_{\text{H}}^{\text{г}}$	кН	187,536



1	2	3	4	5
Коэффициент относительного трения клинового гасителя для груженого вагона	$\varphi_{\text{тр}}^{\Gamma}$	$\frac{P_{\text{H}}^{\Gamma} - P_{\text{B}}^{\Gamma}}{P_{\text{H}}^{\Gamma} + P_{\text{B}}^{\Gamma}}$	-	0,086
<b>При занижении клина а = 12 мм</b>				
<b>Порожний режим</b>				
Сила при прогибе до включения в работу всех пружин комплекта	$P_{\text{прог}}^{\text{п}}$	$a \cdot \sum_{\text{нар,внутр}} Ж^{\text{H,ВВ}} \cdot K_{\text{кл}}^{\text{H,ВВ}}$	кН	12,0
Прогиб основной высокой пружины	$Z_0^{\text{H}}$	$\frac{P_{\text{T}} - P_{\text{прог}}}{\sum_{\text{нар,внутр}} Ж^{\text{H,ВВ}} \cdot K_{\text{кл}}^{\text{H,ВВ}}}$	м	0,007
Прогиб подклиненной пружины	$Z_{\text{кл}}^{\text{H,ВВ}}$	$Z_0^{\text{H}} + a$	м	0,019
Сила трения для нисходящего движения для порожнего вагона	$F_{\text{H}}^{\text{п}}$	$\mu \cdot \frac{\sin \alpha_1 - \mu_1 \cdot \cos \alpha_1}{\Delta_{\text{H}}} \cdot (Ж^{\text{H}} \cdot Z_{\text{кл}}^{\text{H}} + Ж^{\text{ВВ}} \cdot Z_{\text{кл}}^{\text{ВВ}})$	кН	1,997
Сила трения для восходящего движения для порожнего вагона	$F_{\text{B}}^{\text{п}}$	$(Ж^{\text{H}} + Ж^{\text{ВВ}}) \cdot \mu \cdot \frac{\sin \alpha_1 + \mu_1 \cdot \cos \alpha_1}{\Delta_{\text{B}}} \cdot f_{\text{T}}$	кН	3,191
Нагрузка на рессорный комплект при движении вниз для порожнего вагона	$P_{\text{H}}^{\text{п}}$	$P_{\text{T}} + n_2 \cdot F_{\text{H}}^{\text{п}}$	кН	34,242
Нагрузка на рессорный комплект при движении вверх для порожнего вагона	$P_{\text{B}}^{\text{п}}$	$P_{\text{T}} - n_2 \cdot F_{\text{H}}^{\text{п}}$	кН	23,875
Коэффициент относительного трения клинового гасителя для порожнего вагона	$\varphi_{\text{тр}}^{\text{п}}$	$\frac{P_{\text{H}}^{\text{п}} - P_{\text{B}}^{\text{п}}}{P_{\text{H}}^{\text{п}} + P_{\text{B}}^{\text{п}}}$	-	0,179
<b>Груженный режим</b>				
Сила при прогибе до включения в работу всех пружин комплекта	$P_{\text{прог}}^{\Gamma}$	$(Ж^{\text{H}} \cdot K_{\text{кл}}^{\text{H}} + Ж^{\text{ВВ}} \cdot K_{\text{кл}}^{\text{ВВ}}) \cdot ((H_{\text{c}}^{\text{H}} - H_{\text{c}}^{\text{ВВ}}) + a) + Ж^{\text{H}} \cdot (H_{\text{c}}^{\text{H}} - H_{\text{c}}^{\text{ВВ}}) \cdot (K_{\text{H}} - K_{\text{кл}}^{\text{H}})$	кН	81,290
Прогиб основной низкой пружины	$Z_0^{\text{ВВ}}$	$\frac{P_{\text{ст}} - P_{\text{прог}}^{\Gamma}}{Ж_{\text{к}}^{\text{п}}}$	м	0,032
1	2	3	4	5
Прогиб основной высокой пружины	$Z_0^{\text{H}}$	$Z_0^{\text{ВВ}} + (H_{\text{c}}^{\text{H}} - H_{\text{c}}^{\text{ВВ}})$	м	0,058
Прогиб подклиненной пружины	$Z_{\text{кл}}^{\text{H,ВВ}}$	$Z_0^{\text{ВВ}} + (H_{\text{c}}^{\text{H}} - H_{\text{c}}^{\text{ВВ}}) + a$	м	0,070
Сила трения для нисходящего движения для груженого вагона	$F_{\text{H}}^{\Gamma}$	$\mu \cdot \frac{\sin \alpha_1 - \mu_1 \cdot \cos \alpha_1}{\Delta_{\text{H}}} \cdot (Z_{\text{кл}}^{\text{H}} \cdot Ж^{\text{H}} + Z_{\text{кл}}^{\text{ВВ}} \cdot Ж^{\text{ВВ}})$	кН	7,443
Сила трения для восходящего движения для груженого вагона	$F_{\text{B}}^{\Gamma}$	$\mu \cdot \frac{\sin \alpha_1 + \mu_1 \cdot \cos \alpha_1}{\Delta_{\text{B}}} \cdot (Z_{\text{кл}}^{\text{H}} \cdot Ж^{\text{H}} + Z_{\text{кл}}^{\text{ВВ}} \cdot Ж^{\text{ВВ}})$	кН	11,889

1	2	3	4	5
Нагрузка на рессорный комплект при движении вниз для груженого вагона	$P_H^r$	$P_{ст} + n_2 \cdot F_H^r$	кН	224,175
Нагрузка на рессорный комплект при движении вверх для груженого вагона	$P_B^r$	$P_{ст} - n_2 \cdot F_H^r$	кН	185,509
Коэффициент относительного трения клинового гасителя для груженого вагона	$\varphi_{тр}^r$	$\frac{P_H^r - P_B^r}{P_H^r + P_B^r}$	-	0,094

Значения коэффициента относительного трения клинового гасителя колебаний для порожнего и груженого режимов при различных занижениях клина представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Коэффициенты относительного трения при различных занижениях клина

Режим	$\varphi_{тр}$		
	при $a = 0$ мм	при $a = 4$ мм	при $a = 12$ мм
Порожний	0,106	0,130	0,179
Груженный	0,07	0,086	0,094

### Заключение по статическому прогибу рессорного комплекта

Согласно ГОСТ 9246-2013, статический прогиб рессорного подвешивания тележки под нагрузкой, соответствующей установке в вагон с минимальной расчетной массой, должен быть не менее 8 мм. Полученное расчетом значение прогиба составляет  $f_r = 11$  мм.

Согласно ГОСТ 9246-2013, разность полных статических прогибов рессорного подвешивания тележки в вагонах с максимальной и минимальной расчетной массой должна быть не более 55 мм [10]. Полученные расчетом значения прогибов составляют:

- под минимальной расчетной массой вагона  $f_r = 0,011$  м;

- под максимальной расчетной массой вагона  $f_{ст} = 0,061$  м;
- разность прогибов  $\Delta = f_{ст} - f_T = 0,061 - 0,011 = 0,050$  м.

По данным показателям рессорное подвешивание удовлетворяет требованиям ГОСТ 9246-2013.

### **Заключение по коэффициенту конструкционного запаса прогиба рессорного подвешивания**

Согласно нормам для расчета и проектирования, коэффициент конструкционного запаса прогиба рессорного подвешивания для грузовых вагонов со статическим прогибом свыше 50 мм должен быть не менее 1,75. Полученное расчетное значение коэффициента  $k=1,99$ .

По данному показателю рессорное подвешивание удовлетворяет требованиям норм для расчета и проектирования [13].

### **Заключение по коэффициентам относительного трения фрикционных гасителей колебаний рессорного подвешивания.**

Согласно ГОСТ 9246-2013, коэффициент относительного трения при применении фрикционных гасителей колебаний в рессорном подвешивании тележки должен быть не менее 0,07 [14]. Полученные расчетом значения коэффициента относительного трения при занижении клина на 0-4-12 мм находятся в диапазоне:

- под тарой  $\varphi_{тр}^п = 0,106 \div 0,179$ ;
- под максимальной нагрузкой  $\varphi_{тр}^г = 0,07 \div 0,094$ .

По данному показателю рессорное подвешивание удовлетворяет требованиям ГОСТ 9246-2013.

### **Заключение по расчету прочности пружин**

Допускаемые напряжения при расчете по режимам составляют:

- по I расчетному режиму  $[\tau]_I = 1000$  МПа;
- по III расчетному режиму  $[\tau]_{III} = 800$  МПа.

Полученные расчетом напряжения составили:

- по I расчетному режиму
- для наружной высокой пружины –  $\tau_I^H = 745,018$  МПа;
- для внутренней высокой пружины -  $\tau_I^{BB} = 760,001$  МПа;
- для внутренней низкой пружины -  $\tau_I^{BH} = 686,980$  МПа;
- по III расчетному режиму
- для наружной высокой пружины -  $\tau_{III}^H = 636,327$  МПа;
- для внутренней высокой пружины -  $\tau_{III}^{BB} = 657,773$  МПа;
- для внутренней низкой пружины -  $\tau_{III}^{BH} = 554,506$  МПа.

По данному показателю рессорное подвешивание удовлетворяет требованиям норм для расчета и проектирования.

### Выводы

1. В ходе проведения работ по созданию и проектированию новой конструкции фрикционного клина узла гашения колебаний тележки грузового вагона, разработана новая конструкция клина, получен патент на полезную модель № 194823, разработан чертеж (КИ-000.00.00.001) и техническое задание на опытно-конструкторскую работу (КИ-000.00.00.001 ТЗ).

2. Проведённые расчеты на прочность конструкции фрикционного клина показали высокую работоспособность изделия, так наибольшее значение продольной силы, приложенной к вертикальной поверхности клина равно  $F_{кл} = 190,6$  кН, на основании выполненного расчета можно сделать вывод, что конструкция клина фрикционного (чертеж КИ-000.00.00.001) по своим прочностным параметрам удовлетворяет требованиям ГОСТ 34503-2018.

3. Статический прогиб рессорного подвешивания тележки под нагрузкой, соответствующей установке в вагон с минимальной расчетной массой, должен быть не менее 8 мм. Полученное расчетом значение прогиба составляет  $f_T = 11$  мм.

4. Коэффициент конструкционного запаса прогиба рессорного подвешивания для грузовых вагонов со статическим прогибом свыше 50 мм должен быть не менее 1,75. Полученное расчетное значение коэффициента  $k=1,99$ .

5. Коэффициент относительного трения при применении фрикционных гасителей колебаний в рессорном подвешивании тележки должен быть не менее 0,07. Полученные расчетом значения коэффициента относительного трения при занижении клина на 0-4-12 мм находятся в диапазоне от 0,07 до 0,17 в зависимости от нагрузки.

### Литература

1. Габец А.В., Марков А. М., Габец Д. А., Иванов А. В. Проектирование эффективной конструкции поглощающего аппарата // Инженерный вестник Дона, 2017, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4113](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4113).

2. Gabets A.V., Markov A.M., Gabets D.A, Komarov P, Chertovskikh E.O. Investigation of chemical composition and material structure influence on mechanical properties of special cast iron. METAL 2017 - 26th International Conference on Metallurgy and Materials, Conference Proceedings. Scopus: 2-s2.0-85043315222. Pp. 782-788.

3. Куштин В.И., Петренко А.М. Высокоточная система координат ОАО «РЖД». Сборник научных трудов «Транспорт: наука, образование, производство» (Транспорт-2017), Том 2. Технические науки. Рост. гос. ун-т. путей сообщения. Ростов н/Д, 2017.С. 282 – 286.

4. Шадур Л.А., Челноков И.И., Никольский Л.Н., Никольский Е.Н., Котуранов В.Н., Проскурнев П.Г., Казанский Г.А., Спиваковский А.Л., Девятков В.Ф., Вагоны: Учебник для вузов ж.д. трансп. / Под ред. Шадура Л.А. Транспорт, 1980 с. 439 с.

5. Алиева Н.П., Журбенко П.А., Сенченкова Л.С. Построение моделей и создание чертежей деталей в системе Autodesk Inventor // М. ДМК Пресс. 2011. 112 с.

6. Jankowski G., Doyle R. SolidWorks For Dummies. 2 edition John Wiley & Sons, 2011. pp. 12-50

7. Alex Ruiz, Gabi Jack, Josh Mings. SolidWorks 2010: No Experience Required. 2 edition John Wiley & Sons, 2010. pp. 33-65

8. Семенченко В.К. Поверхностные явления в металлах и сплавах. – М.: Гостехиздат, 1957. – 491с.

9. Шпади Д. В. Новым грузовым вагонам - инновационные узлы и детали // Журнал Техника Железнодорожных дорог. 2012 №1. – С.44-46.

10. Габец А.В., Гавриков Д. В. Совершенствование конструкции подклиновой пружины узла гашения колебаний тележки грузового вагона средствами 3D – моделирования// Инженерный вестник Дона, 2015, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2015/3450.

11. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. - М.: ДМК-Пресс, 2010. - 464 с.

12. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М.: Наука, 1965. 201 с

13. Бахарева Е.А. Прогнозирование предельной несущей способности балок при чистом изгибе с учетом разупрочнения материала: Автореф... дис.кан. наук. – Екатеринбург, 2013. 20 с.

14. Сухов А. В., Борщ Б. В., Габец А. В. Оценка фрикционных свойств в парах трения клинового гасителя колебаний тележки грузового вагона // Вестник ВНИИЖТ. 2015. №2. С. 32-37.

### References

1. Gabets A.V., Markov A.M., Gabets D.A., Ivanov A.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4113](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4113).

2. Gabets A.V., Markov A.M., Gabets D.A., Komarov P., Chertovskikh E.O. METAL 2017 - 26th International Conference on Metallurgy and Materials, Conference Proceedings. Scopus: 2-s2.0-85043315222. pp 782-788.

3. Kushtin V.I., Petrenko A.M. Sbornik nauchnykh trudov «Transport: nauka, obrazovaniye, proizvodstvo» (Transport-2017), Tom 2. Tekhnicheskiye nauki. Rost. gos. un-t. putey soobshcheniya. Rostov n/D, 2017. pp. 282 – 286.

4. Shadur L.A., Chelnorov I.I., Nikol'skij L.N., Nikol'skij E.N., Koturanov V.N., Proskurnev P.G., Kazanskij G.A., Spivakovskij A.L., Devjatkov V.F. Vagony: Uchebnik dlja vuzov zh.d. transp [Cars: The textbook for higher education institutions railway transport]. Pod red. Shadura L.A. Transport, 1980. Pp. 75-82.

5. Alieeva N.P., Zhurbenko P.A., Senchenkova L.S. Postroenie modelej i sozдание chertezhej detalej v sisteme Autodesk Inventor [Creation of models and creation of drawings of details in Autodesk Inventor system]. M. DMK Press. 2011. p. 112.

6. Jankowski G., Doyle R. SolidWorks for Dummies. 2 edition John Wiley & Sons, 2011. pp. 12-50.

7. Alex Ruiz, Gabi Jack, Josh Mings. SolidWorks 2010: No Experience Required. 2 edition John Wiley & Sons, 2010. pp. 33-65.



8. Semenchenko V.K. Poverhnostnye yavleniya v metallah i splavah. [Surface phenomena in metals and alloys]. M.: Gostekhizdat, 1957. 491p.
9. Shpadi D. V. Zhurnal Tehnika zheleznodorozhnyh dorog. 2012, №1. p.46.
10. Gabets A.V., Gavrikov D. V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2015, №5. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2015/3450](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2015/3450).
11. Alyamovskiy A.A. Inzhenernye raschety v SolidWorks Simulation [Engineering calculations in SolidWorks Simulation]. Moscow: DMK-Press, 2010.464p.
12. Nalimov V.V., Černova N.A. Statističeskie metody planirovaniâ èkstremal'nih èksperimentov [Statistical methods of planning extreme experiments]. M.: Nauka, 1965. 201 p.
13. Bahareva E.A. Prognozirovanie predel'noy nesushchey sposobnosti balok prichistom izgibe s uchetom razuprochneniya materiala [Prediction of the ultimate bearing capacity of beams in pure bending taking into account the softening of the material]. Yekaterinburg. 2013. 20 p.
14. Sukhov A. V., Borshch B. V., Gabets A. V. Vestnik VNIIZhT. 2015. №2. pp. 32-37.