

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.785

doi: 10.30987/2782-5957-2023-8-60-70

## МЕРОПРИЯТИЯ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ НАДЕЖНОЙ И БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ФРИКЦИОННОГО УЗЛА ТЕЛЕЖКИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА МОДЕЛИ 18-100

**Владимир Михайлович Федин<sup>1✉</sup>, Евгений Геннадьевич Липов<sup>2</sup>, Юлия Вадимовна Ронжина<sup>3</sup>, Сергей Николаевич Коржин<sup>4</sup>**

<sup>1,4</sup> Российский университет транспорта, Москва, Россия

<sup>2</sup> Российские железные дороги, Москва, Россия

<sup>3</sup> Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта, Москва, Россия

<sup>1</sup> vmfedin@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0001-0678-2555>

<sup>2</sup> lipov-78@mail.ru

<sup>3</sup> j.u.l.i.a.r@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8152-6295>

<sup>4</sup> korjin@miit.ru, <https://orcid.org/0000-0572-2309-3144>

### Аннотация

Исследован вопрос по увеличению срока службы деталей фрикционного узла (клин, планка) за счет технических мероприятий, связанных с увеличением интенсивности закалочного охлаждения низкоуглеродистых сталей – 20Л, 25Л, 20ГЛ (клин); сталей 20, 20Л (планка). Приведены примеры оборудования, обеспечивающего технологический процесс закалки и результаты исследования механических свойств материалов клиньев после проведения технологических операций по интенсивному закалочному охлаждению. Показано, что предлага-

емые технологические мероприятия обеспечивают гарантированный пробег 500,0 тыс. км фрикционного узла из трех марок сталей – 20Л, 25Л, 20ГЛ; чугуновых – СЧ25, СЧ35, ВЧ70 и фрикционных планок из сталей 20Л, 20. Для массового выпуска стальных фрикционных клиньев и цельных планок тележки модели 18-100 подготовлены проекты технических условий.

**Ключевые слова:** фрикционный узел, оборудование, охлаждение, испытания.

Ссылка для цитирования:

Федин В.М. Мероприятия по увеличению надежной и безопасной эксплуатации фрикционного узла тележки грузового вагона модели 18-100 / В.М. Федин, Е.Г. Липов, Ю. В. Ронжина, С. Н. Коржин // Транспортное машиностроение. – 2023. - № 08. – С. 60-70. doi: 10.30987/2782-5957-2023-8-60-70.

Original article

Open Access Article

## MEASURES TO INCREASE THE RELIABLE AND SAFE OPERATION OF THE FREIGHT CAR TRUCK FRICTION UNIT 18-100

**Vladimir Mikhailovich Fedin<sup>1✉</sup>, Yevgeny Gennadievich Lipov<sup>2</sup>, Yulia Vadimovna Ronzhina<sup>3</sup>, Sergey Nikolaevich Korzhin<sup>4</sup>**

<sup>1,4</sup> Russian University of Transport, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Russian Railways, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Research Institute of Railway Transport, Moscow, Russia

<sup>1</sup> vmfedin@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0001-0678-2555>

<sup>2</sup> lipov-78@mail.ru

<sup>3</sup> j.u.l.i.a.r@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8152-6295>

<sup>4</sup> korjin@miit.ru, <https://orcid.org/0000-0572-2309-3144>

### Abstract

The problem of increasing the service life of the friction unit parts (wedge, bar) due to technical

measures related to increasing the intensity of quenching cooling of low-carbon steels – 20L, 25L, 20GL

(wedge); steels 20, 20L (bar). Examples of equipment providing the technological process of quenching and the results of studying mechanical properties of wedge materials after carrying out technological operations for intensive quenching cooling are given. It is shown that the proposed technological measures provide a guaranteed mileage of 500.0 thousand km of a friction

unit made of three steel grades – 20L, 25L, 20GL; cast-iron – SCH25, SCH35, VCH70 and friction bars made of 20L, 20 steels. For mass production of steel friction wedges and solid bars of the truck model 18-100, draft specifications are prepared.

**Keywords:** friction unit, equipment, cooling, testing.

*Reference for citing:*

*Fedin VM, Lipov EG, Ronzhina YuV, Korzhin SN. Measures to increase the reliable and safe operation of the freight car truck friction unit 18-100. Transport Engineering. 2023; 8: 60-70. doi: 10.30987/2782-5957-2023-8-60-70.*

## **Введение**

Актуальность темы увеличения надежности и безопасности эксплуатации фрикционного узла тележки грузового вагона модели 18-100 отражена в материалах Совета главных конструкторов ОПЖТ, где приводятся результаты анализа износостойкости фрикционного клина и событий, напрямую связанных с безопасностью движения [1]. В настоящее время тележка модели 18-100 является самой массовой на отечественных железных дорогах и значительный объем перевозок поддерживает интерес к ее эксплуатационному содержанию.

Кроме АО "НО "Уралвагонзавод" имеются организации, получившие право на модернизацию и другие конструктивные изменения тележки модели 18-100, так, например, длительное время по проекту ПКБ ЦВ фрикционный клин изготавливался из чугуна марок СЧ25 и СЧ35. С введением процедуры сертификации фрикционных клиньев возникает вопрос о процедуре контроля фрикционной планки, на которую отсутствует нормативная документация. По действующей нормативной документации АО "НО "Уралвагонзавод" применяются стальной клин и цельная фрикционная планка.

Для выбора оптимального решения по работе фрикционного узла тележки грузового вагона модели 18-100 применялся опыт содержания тележек – *Barbet* и *Motion Control*.

*Barbet* применяет в узле гашения колебаний составной чугунный клин из Вч120 с изотермической закалкой и фрикционной планки из качественной конструкционной стали. Аналогичное решение применяет *Motion Control* – стальной

фрикционный клин и цельная фрикционная планка [2-5]. Диапазон твердости сопряженных деталей в этих тележках – 40...50 HRC. Материал и термообработка обеспечивают эквивалентный пробег 500,0 тыс. км.

Винтовые пружины, являются составной частью фрикционного узла, изготавливают с оттяжкой опорных витков в двух плоскостях из кремнистых рессорно-пружинных сталей с жесткостью, отвечающей эксплуатационному содержанию. Конструкция пружин не допускает увеличенного прогиба, как это делают отечественные производители, что может приводить к замыканию рабочих витков, что повышает динамическую нагрузку на балку и раму.

Для обеспечения коэффициента трения (основной показатель работы фрикционного узла) в стальных и чугунных клиньях применяют углы наклона 45° и 35°. Клинья из стали и чугуна тележки модели 18-100, угол наклона – 45°.

Цель работы – обеспечение гарантированного пробега 500,0 тыс. км для фрикционного узла тележки модели 18-100. Результат достигается за счет применения технологии закалочного охлаждения быстро движущимся потоком воды рядовых марок сталей – 20Л, 25Л, 20ГЛ, 20.

Технология объемно-поверхностной закалки фрикционного узла быстро движущимся потоком воды характеризуется следующими параметрами: закалочное охлаждение быстро движущимся потоком воды выполняется с такой скоростью, которая бы в интервале температур наименьшей устойчивости аустенита (720 – 550) °С осуществляет охлаждение зака-

ливаемой поверхности со скоростью ( $V$ ), достаточной для получения критической скорости закалки ( $V_{кр.}$ ) на заданной толщине изделия. Основные положения технологии интенсивного закалочного охлаждения приведены в работе [6]. Применение технологического оборудования опытно-промышленного участка позволило проводить отработку процессов закалочного охлаждения без ожидания строительства промышленных линий и апробацию технологии на натуральных деталях, что обеспечивало экономию материальных ресурсов при организации серийного производства. Технология закалочного охлаждения отвечает технологическому процессу, который применялся в последующем на промышленных линиях, что позволяло МПС, а в последующем ОАО «РЖД» выпускать опытные партии деталей для всех видов испытаний. На рассматриваемом этапе работы проведены исследовательские работы по выбору ре-

жима закалочного охлаждения быстро движущимся потоком воды фрикционных клиньев из стали 20Л, 25Л, 20ГЛ и цельных фрикционных планок из сталей 20 и 20Л. Ранее работа была выполнена на фрикционных клиньях из чугуна СЧ25, СЧ35 и ВЧ70 [7-9].

В работах по данному направлению уделяется большое внимание конструкции закалочных устройств, которые определяют качество термообработки. На сталях с содержанием углерода до 0,3 % при интенсивном закалочном охлаждении отпуск не применяется. Интенсивное охлаждение обеспечивает благоприятную эпюру внутренних остаточных напряжений (сжимающие напряжения в поверхностном слое и компенсирующие растягивающие – в сердцевине). На деталях реализуется высокопрочное состояние.

На рис. 1 приведены схемы закалочных устройств для стального и чугунного клина и фрикционной планки.

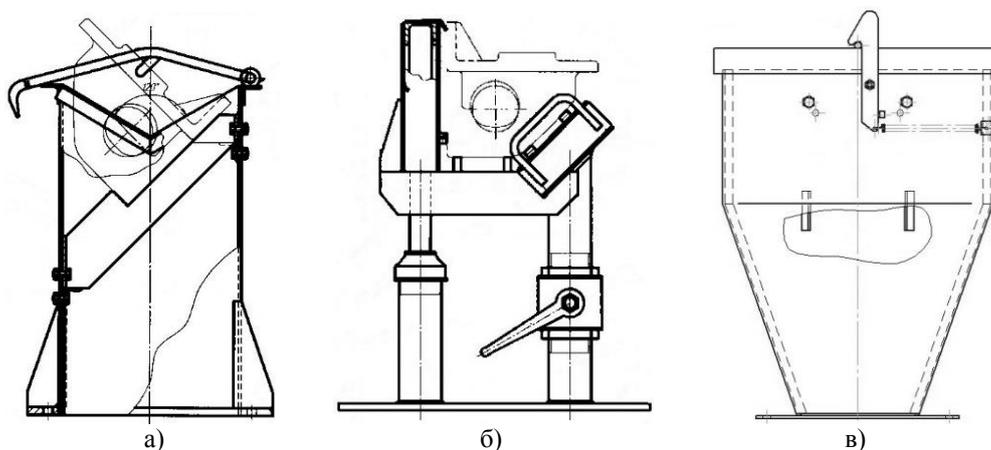


Рис. 1. Схемы закалочных устройств: а – стальной клин; б – чугунный клин; в – цельная фрикционная планка

Fig. 1. Schemes of quenching devices: a – steel wedge; b – cast iron wedge; c – solid friction bar

В данных схемах применяется прямоточное движение воды, что обеспечивает необходимый уровень коэффициента теплоотдачи. Результаты поверхностной твердости клиньев из различных материалов представлены в табл. 1.

Анализ приведенных результатов показывает эффективность технологии интенсивного закалочного охлаждения. Закалочное охлаждение клиньев и планок из сталей с корректировкой прокаливаемости

обеспечивает градиент твердости по сечению. По этой причине, вырезка образцов по оценке механических свойств, проводится по схеме, приведенной на рис. 2.

В табл. 2 приведены механические свойства клиньев из различных материалов. Анализ результатов показывает 25 % увеличение прочностных свойств после закалочного охлаждения на сталях и чугунах.

Таблица 1

## Поверхностная твердость фрикционных клиньев

Table 1

*The surface hardness of friction wedges*

| №№ | Технологический вариант (материал, технология термообработки) | Твердость наклонной поверхности | Твердость вертикальной поверхности |
|----|---|---------------------------------|------------------------------------|
| 1  | Сталь 20ГЛ, нормализация                                      | 140-180 НВ                      | 140-180 НВ                         |
| 2  | Чугун СЧ25, без термической обработки                         | 197-260 НВ                      | 197-260 НВ                         |
| 3  | Чугун СЧ35, без термической обработки                         | 210-275 НВ                      | 210-275 НВ                         |
| 4  | Сталь 20ГЛ, ОПЗ   | 30-35 HRC                       | 43-45 HRC                          |
| 5  | Чугун СЧ25, ОПЗ   | 30-35 HRC                       | 45-48 HRC                          |

Таблица 2

## Механические свойства фрикционных клиньев

Table 2

*Mechanical properties of friction wedges*

| Материал, технология термообработки | Временное сопротивление, $\sigma_B$ , МПа | Условный предел текучести, $\sigma_{0,2}$ , МПа | Относительное удлинение, $\delta$ , % | Относительное сужение, $\psi$ , % |
|-------------------------------------|---|---|---------------------------------------|-----------------------------------|
| СЧ25, ОПЗ                           | 313                                       | 260   | 3,5                                   | 3,4                               |
| СЧ25 (в литом состоянии)            | 230                                       | 190   | 1,3                                   | 1,4                               |
| 20ГЛ, ОПЗ                           | 834                                       | 692   | 12,6                                  | 28,3                              |
| 20ГЛ (в литом состоянии)            | 515                                       | 365   | 23,0                                  | 35,0                              |
| ВЧ70, ОПЗ                           | 1082                                      | 736   | 4,07                                  | 2,98                              |
| ВЧ70 (в литом состоянии)            | 760                                       | 575   | 4,00                                  | 3,25                              |

Испытания по Шпинделю (рис. 3 и табл. 3) хорошо согласуются с результатами износостойкости в абразивной среде, где и проходит эксплуатационное содержание пары трения клин – планка.

Технология интенсивного закалочного охлаждения при минимуме затрат и применении рядовых марок сталей и чугу-

нов позволяет обеспечить уровень свойств, получаемых на высоколегированных материалах с дорогостоящей термической обработкой. На новую технологию, обеспечивающую гарантированный пробег 500,0 тыс. км, подготовлена нормативная документация.

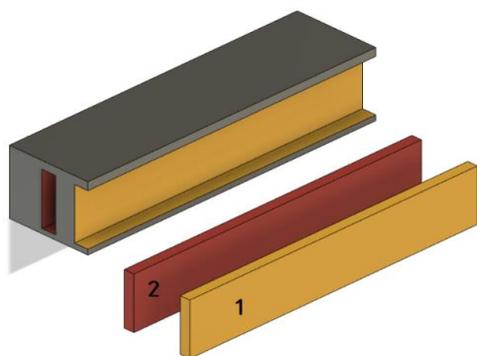


Рис. 2. Схема вырезки образцов из клина и планки после закалочного охлаждения Тип 1, ГОСТ 1497:

1 – поверхностный слой; 2 – сердцевина

Fig. 2. Diagram of cutting samples from a wedge and a bar after quenching cooling Type 1, GOST 1497:

1 – surface layer; 2 – center

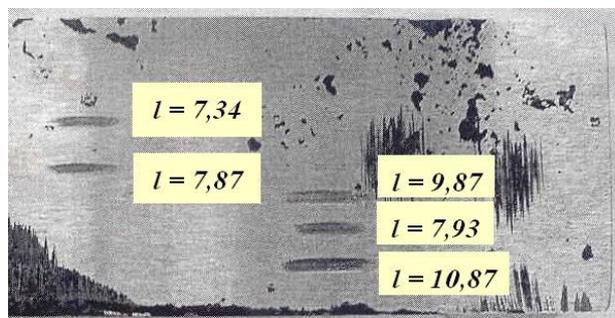


Рис. 3. Внешний вид образца фрикционного клина из стали 20Л после закалочного охлаждения – испытания на износ по Шпинделю

Fig. 3. Appearance of a 20L steel friction wedge sample after quenching cooling – Spindle wear tests

*Wear of the wedge and slats along the Spindle*

| Материал           |                           | Длина лунки, мм |      |      |       |         |
|--------------------|---------------------------|-----------------|------|------|-------|---------|
|                    |                           | 1               | 2    | 3    | 4     | среднее |
| Планка – сталь 20  | Закалка, новая технология | 8,0             | 8,0  | 7,0  | 6,0   | 7,3     |
| Планка – сталь 20Л | Закалка, новая технология | 7,26            | 7,53 | 7,52 | 7,62  | 7,48    |
| Клин – сталь 20Л   | Закалка, новая технология | 7,34            | 7,87 | 9,87 | 10,87 | 8,99    |
| Клин 20ГЛ          | Улучшение                 | 14,5            | 14,8 | 15,0 | 14,2  | 14,6    |

Примечание. Длина лунки (мм) характеризует износостойкость.

Более актуальной является комплексная задача по обеспечению безопасности, связанная с выполнением увеличенного ресурса рамы и балки тележки. Именно этой проблеме и уделяется повышенное внимание. Работа деталей узла гашения колебаний также зависит от винтовых пружин, которые следует рассматривать как часть комплекта узла. В свое время, активная позиция ЦВ позволила организовать качественное производство пружин на НПЦ «Пружина» и «Вагонмаш», что снизило динамическую нагрузку на боковую раму и благоприятно отразилось на безопасности движения.

Металлополимерные распределители нагрузки, созданные на основе работ ВНИТИ – Добрынин Л.К. [10], рекомендаций МИИТ - Чебаненко В.М. и ВНИИЖТ – Ромен Ю.С. Металлополимерные распределители нагрузки состоят из упругого элемента – пластина из термоэластопласта (декремент затухания в 9 раз выше, чем на резине) и металлической пластины – равномерное распределение нагрузки. Основная цель – минимизация влияния высокочастотной гармоника колебаний, отрицательно влияющей на усталостную прочность деталей в зоне их воздействия. Аналогичная конструкция была отмечена на тележках Y25 на грузовых дворах в Германии – перевозка рулонной стали и в Италии – перевозка рельсов на металлургическом заводе Луккини.

Стремление вагоностроителей увеличить упругий ход пружин тележек грузовых вагонов снижает их жесткость, что может приводить к замыканию рабочих витков в эксплуатации и передачи повышенной динамической нагрузки на рамы и балку тележки. Следует отметить, что отмеченные выше иностранные фирмы не следуют тако-

му положению. При этом при изломе в тележках одного или двух комплектов пружин вагон следуют до станции назначения, где после разгрузки проводится их замена.

Ранее, ВНИИЖТ провел работу на Транссибе по определению коэффициента относительного трения при пробеговых испытаниях на вагоне с чугунными клинья-ми – СЧ25. Анализ приведенных результатов показал, что уже после пробега 25,0 тыс. км значения снизились ниже допустимых по НД. То есть, остальное эксплуатационное содержание до пробега 500,0 тыс. км прошло фактически без работающего фрикционного узла.

Измерение коэффициента относительного трения производится путем подъема кузова вагона на домкратах до полной обезгрузки тележек с последующим полным опусканием кузова. При этом регистрируется  $K_d$  и  $P_{ц}$  (см. рис. 4). Количество подъемов и опусканий – не менее трех. По этим диаграммам определяются экспериментальные коэффициенты относительного трения ( $f_{тр}$ ).

Значения  $f_{тр}$ , полученные в диапазоне для рессорного комплекта тележки модели 18-100 не являются постоянной величиной. Поэтому для определения коэффициента относительного трения следует определять экспериментальные значения  $f_{тр}$ , полученные в диапазоне прогибов рессорных комплектов от 20 до 50 мм через каждые 5 мм.

Кроме этого, коэффициент относительного трения определяется путем сбрасывания полувагона с клиньев. На рис. 5 а приведен фрагмент реализации такой технологии на вагоне.

Для минимизации расходов на испытания во ВНИИЖТ был изготовлен стенд (см. рис. 5 б), позволяющей комплекс-

но подойти к решению вопроса за счет оценки качественных показателей работоспособности деталей, отвечающих за рабо-

тоспособность, а именно, винтовых пружин, клиньев из различных материалов, фрикционных планок – составных и цельных.

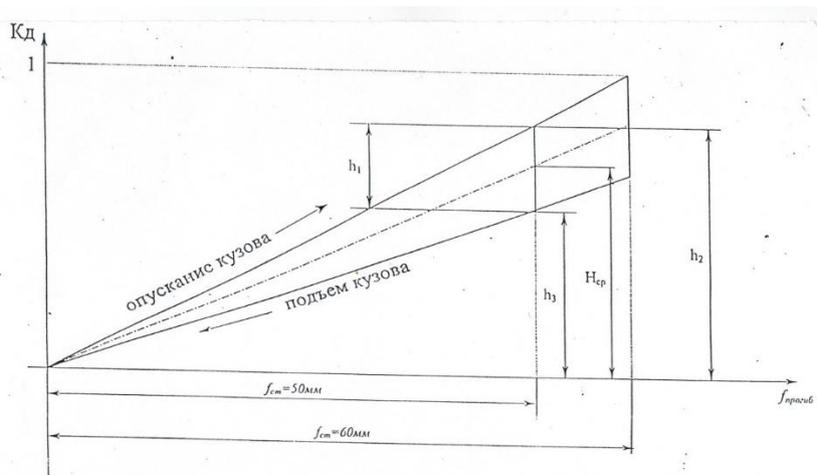


Рис. 4. Параметры определения коэффициента относительного трения по методике ВНИИЖТ с построением диаграммы зависимости коэффициента динамики от прогиба рессорного комплекта

Fig. 4. Parameters for determining the coefficient of relative friction according to the VNIIZhT methodology with the construction of a diagram of the dependence of the coefficient of dynamics on the deflection of the spring set

Дополнительно проводился весовой и геометрический контроль износа клиньев и планок, а также геометрический износ надрессорной балки и велся температурный мониторинг в зонах работы сопряженных деталей. Показатель температуры – надежный критерий работоспособности узла. Испытания показали положительное влияние интенсивной закалки на износостойкость – отсутствие катастрофического схватывания, как на стальных, так и чу-

гунных клиньях с различным химическим составом.

В табл. 4 приведены результаты измерений коэффициента относительного трения на стенде ВНИИЖТ. При стендовых испытаниях не было отмечено принципиальных отличий в результатах испытаний СЧ25 и СЧ35. Анализ полученных результатов показывает наиболее стабильный результат контролируемого параметра на стали 20ГЛ после интенсивного закалочного охлаждения.



Рис. 5. Определение коэффициента относительного трения: а – замер коэффициента относительного трения на вагоне; б – стенд ВНИИЖТ

Fig. 5. Determination of the coefficient of relative friction: a – measurement of the coefficient of relative friction on the car; b – VNIIZhT stand

Результаты температурного мониторинга и величины износа сопряженных пар трения тележки представлены в табл. 5. Характерные зоны измерения температуры в сопряженных участках фрикционного узла приведены на рис. 5 б.

Нестабильность коэффициента относительного трения при комплектации узла гашения колебаний клиньями из СЧ25 без термообработки связана с интенсивным и неравномерным износом, что приводит к замыканию одного из клиньев и последующему неравномерному нагружению.

Таблица 4

Значения коэффициента относительного трения, полученные в результате стендовых испытаний фрикционного узла гасителя колебаний со стандартной и опытными комплектациями

Table 4

*The values of the relative friction coefficient obtained as a result of bench tests of the friction unit of the vibration damper with standard and experimental equipment*

|                   |                               |
|-------------------|-------------------------------|
| <i>N</i> , циклов | $\varphi$ , СЧ25, стандартный |
| 506 000           | 0,136                         |
| 972 000           | 0,068                         |
| 1 640 000         | 0,125                         |
| 2 110 000         | 0,139                         |
| <i>N</i> , циклов | $\varphi$ , 20ГЛ, ОПЗ         |
| 462 000           | 0,08                          |
| 930 000           | 0,092                         |
| 2 050 000         | 0,12                          |
| <i>N</i> , циклов | $\varphi$ , СЧ25, ОПЗ         |
| 450 000           | 0,185                         |
| 910 000           | 0,112                         |
| 1 576 000         | 0,110                         |
| 2 000 000         | 0,115                         |

Таблица 5

Результаты температурного мониторинга и величины износа сопряженных пар трения тележки грузового вагона

Table 5

*Results of temperature monitoring and wear values of coupled friction pairs of a freight car trolley*

| Комплектация  | Температура клина, °С | Температура планок, °С | Весовой износ клиньев, г | Весовой износ планок, г | Глубина износа балки, мм |
|---|-----------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Стандартная комплектация (клинья из СЧ25, СЧ35, составные планки-закалка) | 40                    | 40                     | 600                      | 150                     | 0,2 – 0,6                |
| Клинья из стали 20Л и цельные планки после закалочного упрочнения         | 80                    | 80                     | 50                       | 150                     | 0,3 – 0,5                |

Примечание. База испытаний – 2,0 млн. циклов нагружения; режим нагружения –  $P_{\max} = 260...350$  кН,  $P_{\min} = 80...100$  кН, полная амплитуда перемещения 7,0...10,0 мм; планка – серийная (составная).

Для опытной комплектации стенда клиньями из СЧ25 ОПЗ характерны значения коэффициента относительного трения на начальной стадии испытаний (450 000

циклов нагружения) выше требований ГОСТ 9246, но после приработки (910 000 циклов нагружения) соответствует требованиям ГОСТ 9246.

Для фрикционного узла гасителя колебаний в опытной комплектации с клиньями 20ГЛ ОПЗ характерны значения коэффициента относительного трения 0,08...0,12, что укладывается в требования ГОСТ 9246.

При проведении работ был определен результат по возможности гарантии пробега 500,0 тыс. км на клиньях из чугуна марок СЧ25, СЧ35 и ВЧ70 после интенсивного закалочного охлаждения водой в специальном закалочном устройстве. Для устранения трещин в наклонных поверхностях чугунных клиньев, (см. рис. 6 а), следует пересмотреть толщину стенок, так как при возникновении изгибающего мо-

мента толщина стенок не обеспечивает необходимый уровень прочности при неблагоприятной эпюре нагружения от внешнего воздействия. При изгибающем моменте, возникающем из-за неравномерного износа составной фрикционной планки, также фиксируются трещины (см. рис. 6 б).

При стендовых испытаниях наличие изгибающего момента в клиньях фиксировались тензодатчиками, схема расположения которых приведена на рис. 7.

Анализ приведенных результатов показывает наличие изгибающего момента, который может способствовать развитию трещин при низкой конструктивной прочности детали.



Рис. 6. Трещина в стандартном клине – а) и составной фрикционной планке – б) из-за действия изгибающего момента  
 Fig. 6. Crack in the standard wedge – a) and the composite friction bar – b) due to the action of the bending moment

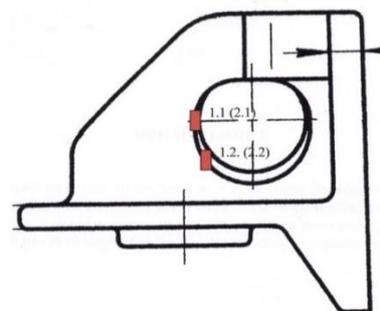


Рис. 7. Схема расположения тензодатчиков на фрикционном клине  
 Fig. 7. Arrangement of load cells on the friction wedge

Так разность напряжений на клине СЧ25 серийного производства для датчиков 1.1 и 2.1 составляет от 31 до 50 МПа, для датчиков 1.2 и 2.2 – от 0 до 18 МПа.

Невозможно достичь стабильных показателей коэффициента относительного трения в широком диапазоне эксплуатационных нагрузок при применении чугунных клиньев с заданным углом наклона 45°. По этой причине, работы по практической применимости клиньев из чугуна с различным химическим составом для тележки 18-100 были прекращены. Закалочное охлаждение чугуна водой представляет значительный научный интерес как с экономической, так и с технической точек зрения. Значимый результат достигается только с применением локального интенсивного закалочного охлаждения. Объемная закалка не допустима.

С материаловедческой точки зрения, более надежный показатель работоспособности узла гашения колебаний клин-планка определяется при проведении стендовых испытаний на износостойкость пары трения на машине типа па СМЦ-2. В этом случае коэффициент трения определяется,  $f = F/N$ , где  $F$  – сила трения,  $N$  – нормальная сила, прижимающая тела друг к другу. Испытаниям подвергались звездочки, изготовленные из вертикальной поверхности серийных и упрочненных клиньев, и ролики, изготовленные из фрикционной планки, а также ролики, имитирующие работу наклонных поверхностей надрессорной балки при их взаимодействии с наклонными поверхностями клиньев.

Применение упрочнения быстро движущимся потоком воды наклонной поверхности клина из стали 20ГЛ с надрес-

сорной балкой после нормализации позволяет значительно повысить его износостойкость при испытаниях на звездочках и роликах на машине СМЦ-2 за счет значительного увеличения износостойкости упрочненного клина без увеличения износа балки. Такой эффект достигается за счет устранения процесса схватывания в данной паре трения. В паре трения серийный клин из СЧ25 с нормализованной балкой отмечается значительный износ чугунного клина. Результаты испытаний приведены на рис. 8.

Анализ результатов, приведенный на рис. 8 показывает, что звездочка, имити-

рующая клин из стали 20ГЛ с ОПЗ в работе с роликом из стали 20ГЛ имеет стабильное значение без рывков и заеданий, что связано с более низким его значением и отсутствием следов схватывания, что обеспечивает более высокую износостойкость, и, следовательно, более длительный срок службы пары трения, по сравнению с такой парой трения с клином из стали 20ГЛ в нормализованном состоянии.

Результаты по износостойкости, приведенные на рис. 9 согласуются с результатами по оценке коэффициента трения  $f$  на аналогичных парах трения. Результаты приведены на рис. 9.

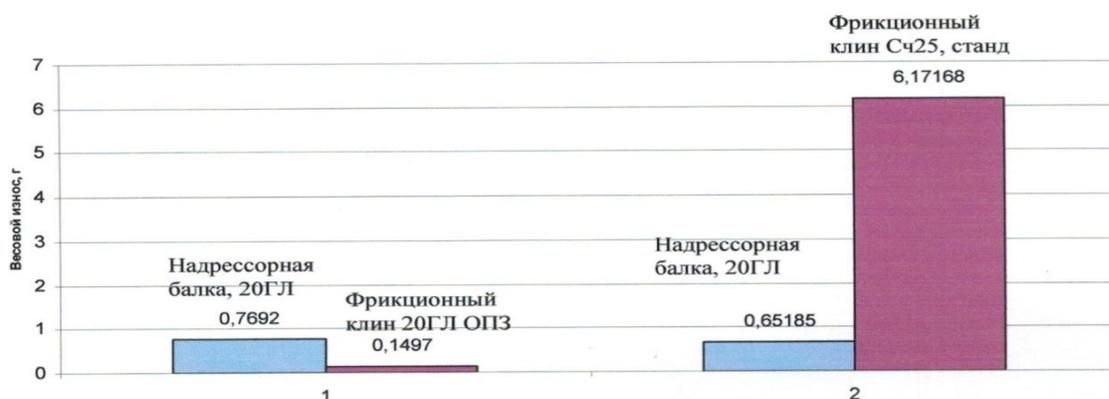


Рис. 8. Гистограмма износостойкости пары трения: 1 – клин 20ГЛ ОПЗ – надрессорная балка 20ГЛ нормализация; 2 – серийный клин СЧ25 – надрессорная балка 20ГЛ нормализация.

Испытания - машина трения СМЦ-2 (Примечание: в качестве сравнения используется серийный клин СЧ25)

Fig. 8. The histogram of the wear resistance of the friction pair: 1 – wedge 20GL OPZ – nadressornaya beam 20GL normalization; 2 – serial wedge SCH25 – nadressornaya beam 20GL normalization. Tests - SMC-2 friction machine (Note: the serial wedge SCH25 is used as a comparison)

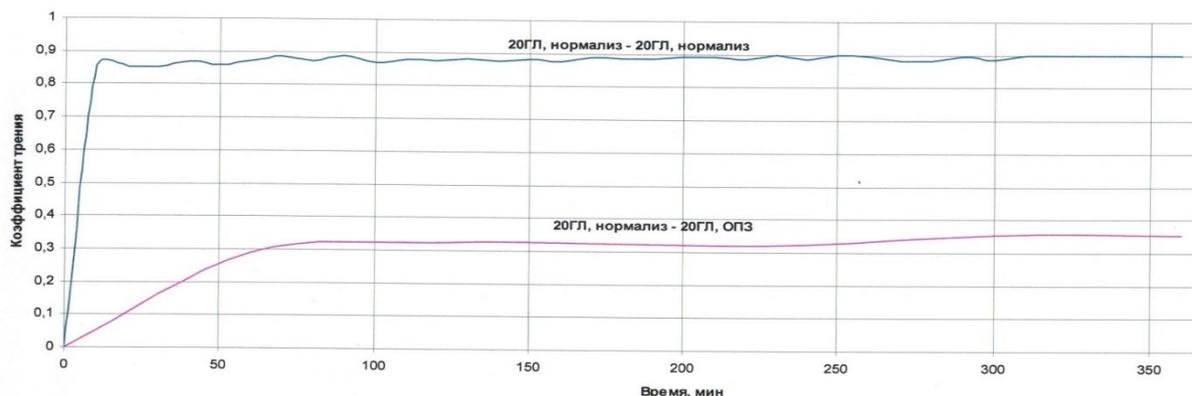


Рис. 9. Зависимость коэффициента трения от времени в процессе испытаний для пар трения клин-балка

Fig. 9. Dependence of the coefficient of friction on time during the testing process for friction pairs

Длительный период выполнения данной работы позволил определить оптимальную комплектацию узла гашения колебаний, который обеспечивает требуемый гарантированный пробег, как по износо-

стойкости, так и по коэффициенту относительного трения. Кроме этого, подготовлен технический отчет по проведенным исследованиям – металлографические и дюрOMETрические исследования, химиче-

ский состав, оценка износостойкости, лабораторные и полигонные испытания. Работа рассмотрена и одобрена в Управление вагонного хозяйства, на совещании главного инженера Центральной дирекции инфраструктуры ОАО «РЖД», комитете по грузовому подвижному составу, подкомитете по вагоностроению, совете главных конструкторов ассоциации «Объединения производителей железнодорожной техники и представлена в распоряжении ОАО «РЖД» о приемочных испытаниях, при этом решения общественных организаций не связаны с техническим исполнением.

МИИТ готов передать заинтересованной организации для поднадзорной эксплуатации три партии клиньев из трех марок стали, в том числе облегченные клинья (разница в весе – 3,5 кг) и фрикционные планки, упрочненные быстро движущимся потоком воды на опытно-промышленном участке МИИТ-Метровагонмаш (полный аналог промышленной технологии без автоматизации процесса закалки) с гарантией пробега

## Заключение

1. Для обеспечения гарантированного пробега 500,0 тыс. км фрикционного узла рассмотрены конструкции закалочных устройств фрикционных клиньев из трех марок сталей – 20Л, 25Л, 20ГЛ; чугунных –

500,0 тыс. км. Для передачи материалов требуется определить предприятие по выпуску стальных фрикционных клиньев и планок с упрочнением быстро движущимся потоком воды.

Расчет экономической эффективности показывает, что себестоимость термообработки стальных клиньев, упрочненных быстро движущимся потоком воды, не отличается от улучшенных серийных, а даже ниже, так как при интенсивном закалочном охлаждении не применяется отпуск. Дополнительные расходы связаны с затратами на привод гидравлического насоса, обеспечивающего интенсивное закалочное охлаждение. Увеличение срока службы клиньев, упрочненных по новой технологии на порядок, по сравнению с серийными клиньями компенсирует все издержки. Самый большой эффект достигается в эксплуатации из-за сокращения простоя вагона при плановых заменах деталей фрикционного узла по износу.

СЧ25, СЧ35, ВЧ70 и фрикционных планок из сталей 20Л, 20.

2. Для массового выпуска стальных фрикционных клиньев и цельных планок тележки модели 18-100 подготовлены проекты технических условий.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сычев, А. Ю. Динамика отцепок грузовых вагонов в неплановые ремонты по причинам трещин, изломов, завышения/занижения фрикционных клиньев: Презентация заместителя директора ПКБ ЦВ ОАО «РЖД». – Совет главных конструкторов ассоциации ОПЖТ от 19.01.2023 № СГК 01/23.
2. Gardner JF and Cusumano JP (1997) Dynamic models of friction wedge dampers. Proceedings of the 1997 IEEE/ASME Joint Rail Conference; 1997 March 18-20; Boston, MA: American Society of Mechanical Engineering; pp.65-69.
3. Wu Q, Sun Y, Spiryagin M, Cole C. Methodology to optimize wedge suspensions of three-piece bogies of railway vehicles. Journal of Vibration and Control. 2018;24(3):565-581. doi:10.1177/1077546316645698
4. Orlova A, Boronenko Y (2010) The influence of the condition of three-piece freight bogies on wheel flange wear: simulation and operation monitoring. Vehicle System Dynamics 48: 37–53.
5. Sun YQ and Cole C (2006) The effect of wedge friction conditions on the dynamic wheel-rail contact force on short wave length defects. Proceedings of Joint Rail Conference; 2006 April 4-6; Atlanta, GA: American Society of Mechanical Engineering; pp. 37–43.
6. Федин, В. М. Объемно-поверхностная закалка деталей подвижного состава и верхнего строения пути / В. М. Федин. - М.: Интекст, 2002. - 208 с.
7. Чугунные фрикционные клинья тележки грузового вагона / А.В. Великанов [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. 1999. №1. С. 25 – 31.
8. Великанов А.В., Борщ Б.В. Фрикционные клинья из высокопрочного чугуна // Вестник ВНИИЖТ. 2007. №2. С. 18–22.
9. Великанов А. В., Борщ Б.В. Клинья 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.: Интекст, 2007. С. 166–175.
10. Повышение надежности экипажной части тепловозов. Под ред. Добрынина Л.К. - М.: Транспорт, 1984. – 87 с.

## REFERENCES

1. Sychev AYu. Dynamics of uncoupling of freight cars for unplanned repairs due to cracks, fractures, overstatement / understatement of friction wedges: presentation of the Deputy Director of the Central Control Bureau of Russian Railways. [place unknown]: The Council of Chief Designers of OPZHT Association; 2023.
2. Gardner JF, Cusumano JP. Dynamic models of friction wedge dampers. Proceedings of the 1997 IEEE/ASME Joint Rail Conference; 1997 March 18-20; Boston, MA: American Society of Mechanical Engineering; 1997. p.65-69.
3. Wu Q, Sun Y, Spiriyagin M, Cole C. Methodology to optimize wedge suspensions of three-piece bogies of railway vehicles. Journal of Vibration and Control. 2018;24(3):565-581. doi:10.1177/1077546316645698
4. Orlova A, Boronenko Y. The influence of the condition of three-piece freight bogies on wheel flange wear: simulation and operation monitoring. Vehicle System Dynamics. 2010;48: 37–53.
5. Sun YQ, Cole C. The effect of wedge friction conditions on the dynamic wheel-rail contact force on short wave length defects. Proceedings of Joint Rail Conference; 2006 April 4-6; Atlanta, GA: American Society of Mechanical Engineering; 2010. p. 37–43.
6. Fedin VM. Volume-surface hardening of rolling stock parts and the upper structure of the track. Moscow: Intext; 2002.
7. Velikanov AB. Cast-iron friction wedges of a freight car truck. Vestnik VNIIZhT. 1999;1:25-31.
8. Velikanov AB, Borsch BV. Friction wedges made of high-strength cast iron. Vestnik VNIIZhT. 2007;2:18-22.
9. Velikanov AV, Borsch BV. Grey cast iron wedge for friction vibration dampener of freight cars. Collection of Scientific Papers of VNIIZHT, 2007: Problems of Developing Railway Transport in a Market Economy; Moscow: Intext; 2007.
10. Dobrynin LK, editor. Improving the reliability of the locomotive crew. Moscow: Transport; 1984.

### Информация об авторах:

**Федин Владимир Михайлович** – доктор технических наук, профессор, начальник научного центра Российского университета транспорта, e-mail: vmfedin@yandex.ru, тел. +79166774609.

**Липов Евгений Геннадьевич** – инженер, заместитель начальника специального управления Российских железных дорог, e-mail: lipov-78@mail.ru, тел. +79833732444.

**Fedin Vladimir Mikhailovich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Scientific Center of Russian University of Transport; phone: 79166774609, e-mail: vmfedin@yandex.ru.

**Lipov Evgeny Gennadievich** – Engineer, Deputy Head of the Special Department of Russian Railways; phone: +79833732444, e-mail: lipov-78@mail.ru.

**Ронжина Юлия Вадимовна** – кандидат технических наук, технический эксперт научного центра «Инфраструктура» Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта, e-mail: j.u.l.i.a.r@mail.ru, тел. +79264227651.

**Коржин Сергей Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Российского университета транспорта, e-mail: korjin@miit.ru, тел. +79167786876.

**Ronzhina Yulia Vadimovna** – Candidate of Technical Sciences, Technical Expert of the Scientific Center "Infrastructura" of Research Institute of Railway Transport; phone: +79264227651, e-mail: j.u.l.i.a.r@mail.ru.

**Korzhin Sergey Nikolaevich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Cars and Car Facilities at Russian University of Transport; phone: +79167786876, e-mail: korjin@miit.ru.

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.**

**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

**The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья опубликована в режиме Open Access.**

**Article published in Open Access mode.**

**Статья поступила в редакцию 12.07.2023; одобрена после рецензирования 17.07.2023; принята к публикации 27.07.2023. Рецензент – Шальгин М.Г., доктор технических наук, доцент Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».**

**The article was submitted to the editorial office on 12.07.2023; approved after review on 17.07.2023; accepted for publication on 27.07.2023. The reviewer is Shaligin M.G., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Bryansk State Technical University, member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.**