

4-492

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

УДК 629.44:629.488; 629.4.027.5.

ЧЕРНИН
Ростислав Игоревич

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И
РАСФОРМИРОВАНИЯ УЗЛОВ КОЛЁСНЫХ ПАР ВАГОНОВ,
СОБРАННЫХ С НАТЯГОМ**

**Автореферат диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук**

**по специальности 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог,
тяга поездов и электрификация**

Гомель, 2013

Работа выполнена в Учреждении образования «Белорусский государственный университет транспорта» (УО «Бел ГУТ»)

Научный руководитель:

Сенько Вениамин Иванович,
доктор технических наук, профессор,
Заслуженный работник образования
Республики Беларусь,
ректор, УО «БелГУТ»

Официальные оппоненты:

Тариков Георгий Петрович,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Детали машин»,
Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого

Ольшевский Алексей Андреевич,
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Динамика и прочность машин»,
Гомельский государственный технический
университет

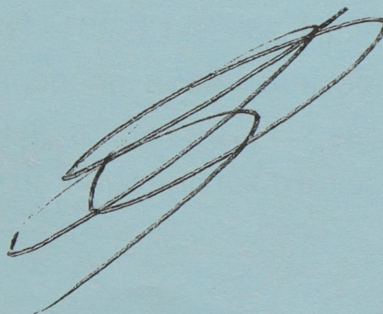
Управление вагонного хозяйства государственного
предприятия «Белорусская железная дорога»

10:00 часов на заседании совета по защите
диссертаций УО «Бел ГУТ» по адресу: 246653, г. Гомель,

т. (232) 95-37-91, факс. (232) 95-36-89

Справки по телефону (232) 95-36-89
или по электронной почте: info@belgutu.by
или по адресу: 246653, г. Гомель, ул. Советская, 10
или по адресу: 246653, г. Гомель, ул. Советская, 10
или по адресу: 246653, г. Гомель, ул. Советская, 10

3 г.



Путято А.В.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие рельсового транспорта, повышение интенсивности использования подвижного состава и требований по безопасности движения на железных дорогах вызывают необходимость повышения надёжности соединений с гарантированным натягом узлов колёсных пар вагонов. Целесообразно при изготовлении и ремонте колёсных пар вагонов осуществление мероприятий технологического характера по улучшению формирования и расформирования узлов колёсных пар вагонов и по дальнейшему совершенствованию контроля их прочности.

Применяемые методы контроля прочности напрессовки узлов колёсных пар вагонов не дают достоверной оценки. В тоже время механическое расформирование соединений с натягом также имеет негативные особенности, среди которых повреждение сопрягаемых поверхностей узлов колёсных пар. Гидропрессовая технология (ГПТ) формирования и расформирования соединений при нагнетании жидкой смазки в зону сопряжения деталей имеет неоспоримые преимущества. По эффективности разрабатываемых для совершенствования производства технологических мероприятий приоритетными являются достоверный контроль прочности напрессовок, гидрораспрессовка сопряжений с гарантированным натягом. В механосборочном производстве основными вопросами дальнейшего развития ГПТ представляются: исследование процессов гидрораспора в сопряжениях и расчёт их основных характеристик; определение параметров для оценки и сравнения режимов гидропрессования с торцовым нагнетанием (ГПТТ) жидкой смазки для установления рациональных технологических процессов; разработка научно обоснованных конструктивных решений для осуществления контроля прочности напрессовок и по гидропрессовке соединений с натягом колёсных пар вагонов.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами. Исследования и научно-технические разработки по теме диссертации выполнялись в соответствии с ГПОФИ «Надёжность и безопасность», задание 17.2 «Разработка и обоснование эффективных процессов сборки соединений с натягом с целью повышения надёжности машин и механизмов» (№ ГР 2002469, 2002-2005 гг.); ГКПНИ «Механика» ГНУ «Объединенный институт машиностроения» НАН Беларуси – Механика 1.16 (№ ГР 20111887, 2011-2012 гг.), с проектом Т12МВ-014 БРФФИ «Теоретические и экспериментальные исследования прочности конструкций грузовых вагонов с целью повышения конкурентоспособности продукции белорусского вагоностроения» (№ ГР 2012270, 2012-2014).

Цель и задачи исследования. Цель исследования – разработка научно обоснованных технических решений для повышения эффективности формирования и расформирования соединений с гарантированным натягом колёсных пар вагонов с использованием ГПТТ и контроля прочности соединений внутренних колец буксовых подшипников.

Для достижения цели решены следующие задачи:

1) установлена аналитическая зависимость изменения давления в жидкостной прослойке при гидрораспоре в сопряжениях с натягом узлов колёсных пар вагонов и получены параметры этого процесса;

2) разработан метод неразрушающего контроля прочности напрессовки колец подшипников на шейках осей колёсных пар вагонов с использованием ГПТТ;

3) получена экспериментальная зависимость фактического натяга в сопряжении от деформации наружного диаметра напрессованного кольца подшипника и разработан метод контроля прочности соединений с гарантированным натягом при новом формировании;

4) разработана ресурсосберегающая технологическая оснастка для осуществления неразрушающего контроля прочности напрессовки и расформирования соединений узлов колёсных пар вагонов собранных с натягом.

Объектом исследования являются сопряжения с натягом колец буксовых подшипников и колёс с осями колёсных пар вагонов, гидропрессовые соединения с торцовым нагнетанием жидкой смазки в зону сопряжения деталей.

Предмет исследования – напряжённо-деформированное состояние (НДС) узлов колёсных пар вагонов, собранных с натягом, прочность сопряжения узлов колёсных пар.

Положения, выносимые на защиту:

1 Аналитическая зависимость распределения давления рабочей жидкости по длине сопряжения соединений с натягом узлов колёсных пар вагонов. Эта зависимость позволяет учитывать влияние микронеровностей поверхностей сопряжения при определении параметров процесса гидрораспора (давления нагнетания, коэффициента сжатия рабочей жидкости в зазоре и коэффициента потребного повышения давления). Результаты, полученные с применением аналитической зависимости, дают расхождение с экспериментальными данными не более 7 %.

2 Метод неразрушающего контроля прочности напрессовки колец буксовых подшипников на шейки осей колёсных пар, отличающийся использованием гидропрессовой технологии с торцовой подачей рабочей жидкости в зону сопряжения, позволяющий выполнять оценку натяга с учётом фактического состояния контактирующих поверхностей деталей соединения. Метод

применим как при новом формировании соединений, так и при контроле прочности ранее сформированных напрессовок.

3 Экспериментальная зависимость фактического натяга в сопряжении внутреннего кольца подшипника с шейкой оси колёсной пары от деформации его наружного диаметра, учитывающая влияние микро- и макрогеометрии сопрягаемых поверхностей (шероховатость сопрягаемых поверхностей, конусность, овальность и др.).

4 Метод неразрушающего контроля прочности напрессовки колец подшипников на шейки осей колесных пар при новом формировании, основанный на определении фактического натяга в сопряжении по установленной экспериментальной зависимости, позволяющий осуществлять контроль прочности напрессовки с учётом фактического состояния поверхностей сопряжения, включая погрешность измерений используемого подхода, достигающую 8 %.

5 Ресурсосберегающая технологическая оснастка для формирования и расформирования прессовых соединений узлов колёсных пар вагонов, позволяющая повысить эффективность сборочных процессов за счёт их бездефектной реализации и увеличения уровня надёжности.

Личный вклад соискателя. Изложенные положения, выводы и рекомендации получены автором лично. Совместно с руководителем осуществлялись выбор основного направления исследования, постановка задач и анализ результатов работы. Вклад соавторов в опубликованных работах заключается в научном руководстве, постановке целей и задач исследования и подготовке экспериментов.

Апробация результатов диссертации. Основные положения и результаты исследования были доложены и обсуждались на IV международной научно-технической конференции «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: управление, экономика» (Киев, 2008); II международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса» Белорусского государственного университета транспорта (Гомель, 2008), VII международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиноведения» Гомельского государственного университета имени П. О. Сухого (Гомель, 2008), XII международной конференции «Проблемы механики железнодорожного транспорта. Безопасность движения, динамика, прочность подвижного состава, энергосбережение» (Днепропетровск, 2008), III–VI Белорусских конгрессах по теоретической и прикладной механике (Минск, 2007, 2009, 2011), VI международной научно-технической конференции «Подвижной состав XXI века» (Санкт-Петербург, 2009), VI международном симпозиума по трибофатике МТСФ (Минск, 2010), V–VI международных научно-практических конференциях «Проблемы безопасности на транспорте» (Гомель, 2010, 2012), на международной научно-технической конференции «Инновации в машиностроении – 2012» (Минск, 2012).

Опубликованность результатов диссертации. Основное содержание диссертации опубликовано в 50 научных работах, в том числе 8 статьях в изданиях, рекомендованных ВАК Республики Беларусь (3 – за рубежом, 3 – без соавторов) объёмом 4,17 а. л., 6 статьях (2 без соавторов) в сборниках научных трудов и в материалах конференций, 18 тезисах докладов (11 – за рубежом, 1 – без соавторов), 12 патентов РБ и РФ на изобретения, 6 патентов на полезные модели.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений. Полный объём диссертации составляет 157 страниц. Диссертация содержит 49 рисунков, 16 таблиц, 4 приложения на 24 страницах. Библиографический список состоит из 127 наименований, включая 50 публикаций соискателя, и занимает 12 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе выполнен анализ публикаций по теме исследования. Процессы сборки и контроля прочности получаемых сопряжений узлов колёсных пар вагонов требуют совершенствования. Применяемый в настоящее время на практике метод контроля напрессовки колец буксовых подшипников колёсных пар вагонов не в полной мере учитывает влияние микро- и макрогеометрии сопрягаемых поверхностей, что вызывает необходимость разработки более эффективных методов определения величины натяга в сопряжениях узлов колёсных пар вагонов. Применяемые в узлах колёсных пар вагонов цилиндрические соединения с гарантированным натягом, обладая способностью передавать большие по величине и различные по направлению усилия при продолжительной работе в различных условиях нагружения, не допускают перегрузки. Определению НДС узлов колёсных пар, надёжности сопряжений с гарантированным натягом, совершенствованию их формирования и увеличению срока службы посвящены исследования учёных: И. В. Абрамова, Г. Я. Андреева, Г. А. Бобровникова, В. А. Веллера, Е. С. Гречищева, В. В. Иванова, А. А. Ильяшенко, И. В. Кудрявцева, В. В. Лукина, Б. С. Остренко, А. А. Попова, О. М. Савчука, Б. Ф. Фёдорова, В. Н. Цюренко, Л. М. Школьника, П. В. Шевченко, А. А. Щенятского и др.

В комплексе мероприятий направленных на повышение надёжности подвижного состава, одними из приоритетных задач являются: 1) улучшение технологии формирования и расформирования соединений и оценки прочности сопряжения узлов колёсных пар, 2) проведение работ по созданию новых технических средств контроля напряжённого состояния деталей соединений, а также по оценке качества напрессовки деталей и использование прогрессивных технологий для бездефектной разборки соединений. В машиностроении получают распространение соединения, осуществляемые с использованием масла под высоким давлением. Гидро-

прессовые соединения обладают более высокой надёжностью и ремонтпригодностью. Возможность выполнения многократного формирования и расформирования сопряжений с применением малогабаритных гидрофицированных устройств позволяет относить соединения с натягом к категории легкоразъёмных. Проведенный анализ по состоянию тепловых и механических запрессовок соединений показал: повышение надёжности соединений с гарантированным натягом узлов колёсных пар вагонов достигается при внедрении более совершенной технологической оснастки; актуальной проблемой является осуществление надёжного контроля прочности сопряжения при тепловых и механических запрессовках узлов колёсных пар; целесообразна разработка новых решений по эффективной технической диагностике (ТД) колёсных пар для оценки прочности их прессовых соединений с использованием ГПТТ, а также базирующихся на определении НДС напрессованной детали возникающего от контактного давления в сопряжении под воздействием полученного при сборке натяга в сформированном соединении; перспективным представляется использование гидропрессовой технологии при распрессовке соединений с гарантированным натягом колёсных пар вагонов с применением жидкой смазки под давлением, нагнетаемой с торца сопряжения.

Вторая глава посвящена теоретическому исследованию процесса гидропрессования с торцевым нагнетанием жидкой смазки в соединения с натягом для оценки воздействия рабочей жидкости (РЖ) при создании жидкостной расклинивающей прослойки в зоне сопряжения по длине контакта деталей. Установление аналитической зависимости распределения давления РЖ по длине сопряжения даёт возможность выбора рационального режима ГПТТ и определения количественных параметров процесса гидрораспора. При исследовании использовались: а) метод расчётно-экспериментальной оценки прочности соединений по уровню НДС охватывающей детали полученного сопряжения; б) основные закономерности гидродинамики при технологической опрессовке сопряжения высоким давлением рабочей жидкости; в) теоретический анализ на базе аналитических зависимостей Ляме-Гадолина; г) численное моделирование для уточнения расчётных данных с учётом факторов, оказывающих влияние на НДС. Одновременное воздействие совокупности факторов при гидропрессовом формировании и расформировании соединений не даёт возможности выделить один из них без учёта влияния на него остальных. Глубина проникновения РЖ от места её ввода по длине сопряжения зависит от величины деформации деталей в зоне их контакта обусловленных натягом, давления нагнетания с торца соединения и давления в непосредственной близости от opposite торца охватывающей детали. Достаточно объективным технологическим показателем может служить соотношение упомянутых величин, определяемых геометрическими параметрами деталей, микрогеометрией поверхностей контакта, при известной зависимости распределения давления РЖ по длине сопряжения.

Для установления зависимости распределения давления РЖ по длине сопряжения при реализации ГПТ рассмотрено решение контактно-гидродинамической задачи. При этом определяются радиальные деформации деталей от давления РЖ в зоне контакта, и рассматривается процесс её продвижения в образующемся деформированном зазоре при разности давлений РЖ на входе с торца сопряжения и в рассматриваемом поперечном сечении напрессовки. Для упрощения аналитического решения приняты следующие допущения: 1) отклонение цилиндрической формы зазора от воздействия высокого давления масла может быть оценено весьма незначительным углом конусности в сопряжении; 2) вязкость рабочей жидкости в диапазоне рассматриваемых давлений – величина постоянная; 3) отсутствуют отклонения в макрогеометрии деталей; 4) величина образующегося клиновидного зазора между поверхностями деформированных деталей зависит от давления РЖ; 5) скорость относительного скольжения поверхностей деталей равна нулю.

Рассматривается установившееся движение жидкой смазки в зазоре между деформируемыми поверхностями контакта деталей. На основании общих уравнений гидродинамики движения вязкой жидкости Навье-Стокса и неразрывности записывается зависимость для определения объёмного расхода жидкости Q .

$$Q = \frac{\pi R_1 [H(p)]^3}{6\eta(p)} \cdot \frac{\partial p}{\partial l}, \quad (1)$$

где R_1 – радиус сопряжения элементов собранных с натягом, м; $H(p)$ – зависимость зазора от давления p жидкой смазки в зазоре, $H(p) = m(p_{\text{мз}} - p_k)$; m – коэффициент суммарной радиальной деформации деталей в зоне контакта, м³/Н; $p_{\text{мз}}$ – давление РЖ в рассматриваемом сечении деформированного зазора, Па; p_k – контактное давление в сопряжении, обусловливаемое величиной натяга, Па; η – динамическая вязкость рабочей жидкости, Па·с; l – длина сопряжения, м.

Подставляя в выражение (1) зависимость зазора от давления, для элементарного участка кольцевого сужающегося зазора записывается

$$\left. \begin{aligned} Q \int_0^{l_0} dl &= \frac{\pi R_1}{6\eta} \int_{p_k}^{p_{\text{мз}}} [H(p)]^3 dp \\ Q \int_0^{l_z} dl &= \frac{\pi R_1}{6\eta} \int_{p_{\text{мз}}}^{p_{\text{мз}}} [H(p)]^3 dp \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где l_0 – полная длина деформированного зазора, м; $p_{\text{мз}}$ – давление нагнетания РЖ в зону сопряжения, Па; l_z – расстояние до рассматриваемого сечения, м.

Совместное решение уравнений (2) позволило установить зависимость распределения давления рабочей жидкости в сопряжении в виде иррациональной функции

$$p_{mz} = p_k + (p_{mi} - p_k) \sqrt[4]{1 - (l_z / l_0)} \quad (3)$$

Вводятся параметры процесса гидрораспора:

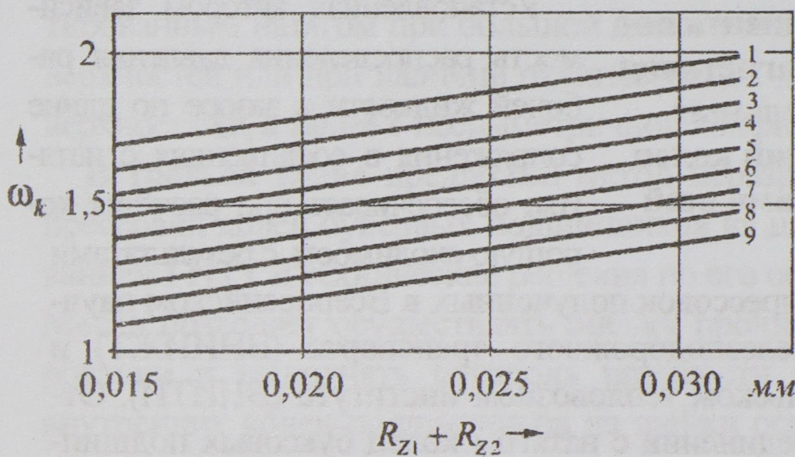
1) коэффициент сжатия рабочей жидкости в деформируемом зазоре при гидрораспоре в зоне сопряжения с торцевой подачей РЖ, который определяется из решения Ляме-Гадолина для расчёта величины контактного давления (рисунок 1)

$$\omega_k = p_{mz} / p_k = 1 + 2\delta^{-1}(R_{z1} + R_{z2}),$$

где δ – величина натяга в сопряжении диаметром d при наружном диаметре охватываемой детали d_2 , м; R_{z1} , R_{z2} – шероховатости сопрягаемых поверхностей, м;

2) коэффициент требуемого повышения давления нагнетания рабочей жидкости в сопряжение

$$\omega_i = p_{mi} / p_{mz} = 1 + [(\omega_k - 1) / \sqrt[4]{1 - (l_z / l_0)}];$$



1 – $\delta = 0,030$; 2 – $\delta = 0,035$; 3 – $\delta = 0,040$; 4 – $\delta = 0,045$;
5 – $\delta = 0,050$; 6 – $\delta = 0,055$; 7 – $\delta = 0,060$; 8 – $\delta = 0,065$;
9 – $\delta = 0,070$

Рисунок 1 – Зависимость коэффициента сжатия от суммарной высоты шероховатостей для соединений с натягом колец подшипников

и границы зоны жидкостного контакта.

Преобразуя зависимость (3) получим выражения для определения p_{mz} , p_{mi} , p_k :

$$p_{mz} = p_k \left[1 + (\omega_i - 1) \cdot \sqrt[4]{1 - \varepsilon_0} \right]; \quad (4)$$

$$p_{mi} = p_k \left[1 + \frac{1}{\sqrt[4]{1 - \varepsilon_0}} \cdot (\omega_k - 1) \right]; \quad (5)$$

$$p_k = (p_{mz} - p_{mi} \lambda_i) / (1 - \lambda_i). \quad (6)$$

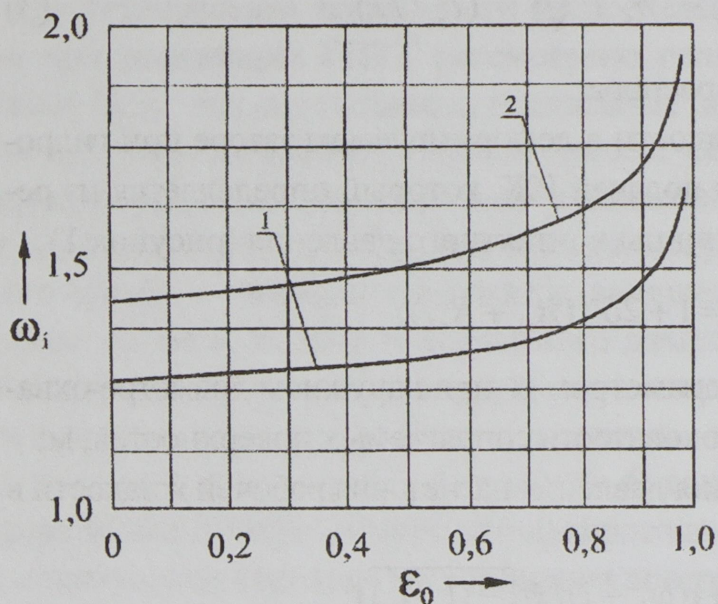
3) относительные координаты сечения (рисунок 2)

$$\varepsilon_0 = l_z / l_0;$$

4) коэффициент расклинивания при гидрораспоре

$$\lambda_i = \sqrt[4]{1 - \varepsilon_0}.$$

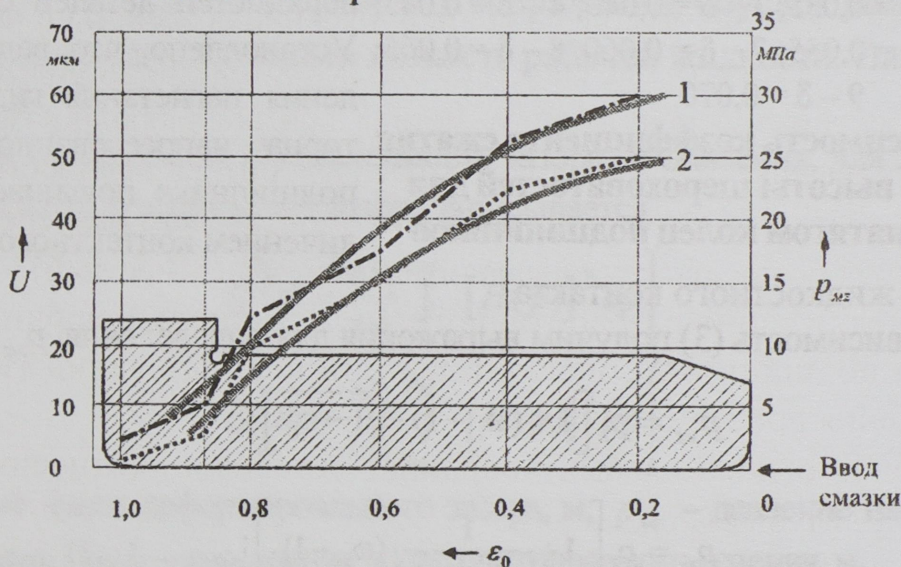
Коэффициент λ_i определяется формой и размерами, микро- и макрогеометрией поверхностей деталей соединений. Установлено, что величина давления нагнетания гидросреды с торца напрессованного кольца подшипника повышается с увеличением контактного давления



1 – при $(\omega_k)_{min} = 1,266$; 2 – $(\omega_k)_{max} = 1,433$

Рисунок 2 – Зависимость коэффициента потребного повышения давления нагнетания рабочей жидкости от относительных координат сечения для соединений колец буксовых подшипников с шейками осей колёсных пар вагонов

экспериментальных данных гидрозапрессовок полученных в Всероссийском научно-исследовательском институте железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ) и Всероссийском научно-исследовательском тепловозном институте (ВНИТИ). Отклонения не превышают 7 % для соединений с натягом колец буксовых подшипников с шейками осей колёсных пар.

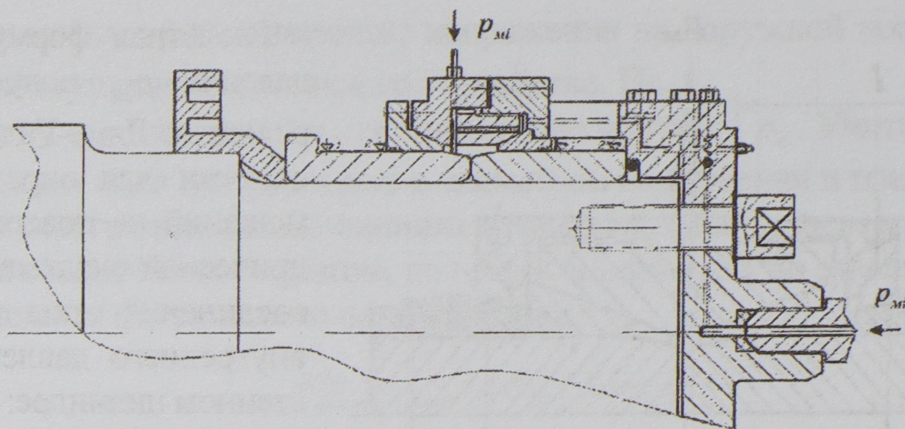


1 – при $p_{mi} = 35$ МПа; 2 – при $p_{mi} = 30$ МПа

Рисунок 3 – Зависимость деформации наружного радиуса кольца подшипника от относительной координаты сечения его контакта с шейкой оси колёсной пары

Для осуществления гидрораспора сопряженных элементов колёсных пар вагонов необходимо чтобы расчётное давление нагнетания p_{mi} в соединение превышало в 1,8–2,1 раза величину контактного давления p_k , вызываемого натягом в сопряжении. Характер деформаций U на поверхности кольца подшипника и предложенное устройство для опрессовки соединений представлено на рисунках 3 и 4.

Установленная автором зависимость распределения давления рабочей жидкости в зазоре по длине сопряжения в соединениях с натягом обеспечивает при расчётах хорошую сходимость с результатами



**Рисунок 4 – Схема устройства для контроля прочности напрессовки
(Патенты на изобретения BY 15308 C1, RU 2415391 C1)**

Это относится к случаям расформирования (формирования) соединений с гарантированным натягом при большой длине контакта сопряжённых (сопрягаемых) поверхностей или при наличии охватывающих деталей с фасонными наружными поверхностями, а также с несимметричной конфигурацией этих поверхностей.

В третьей главе предложен метод неразрушающего контроля прочности напрессовки колец буксовых подшипников на шейки осей колёсных пар с использованием ГПТТ и технические решения по его осуществлению [16–18, 23, 27–29, 32]. Метод позволяет осуществлять оценку прочности соединений при новом формировании и выполнять контроль прочности сопряжения напрессованных ранее внутренних колец подшипников на шейки осей. Сущность предлагаемого метода заключается в оценке натяга по замеряемым деформациям наружной поверхности напрессованного внутреннего кольца подшипника при воздействии на её внутреннюю поверхность высокого давления жидкой смазки, нагнетаемой в зону сопряжения. Схема осуществления данного метода контроля прочности соединений представлена на рисунке 5. В качестве критерия для оценки прочности полученного соединения с натягом используется величина контактного давления в сопряжении, определяемая по предложенной аналитической зависимости (6).

Методика реализации разработанного метода оценки прочности сопряжения кольца подшипника с шейкой оси при использовании гидрораспора в зоне сопряжения предусматривает:

- 1) определение относительных координат сечения ε_0 (относительное проникновение РЖ вглубь сопряжения);
- 2) расчёт гидродинамического давления $p_{лнз}$ в зазоре на удалении l_z с использованием данных, проводимых замеров деформаций на поверхности напрессованной детали;
- 3) определение создаваемого контактного давления p_k по установленной аналитической зависимости (6).

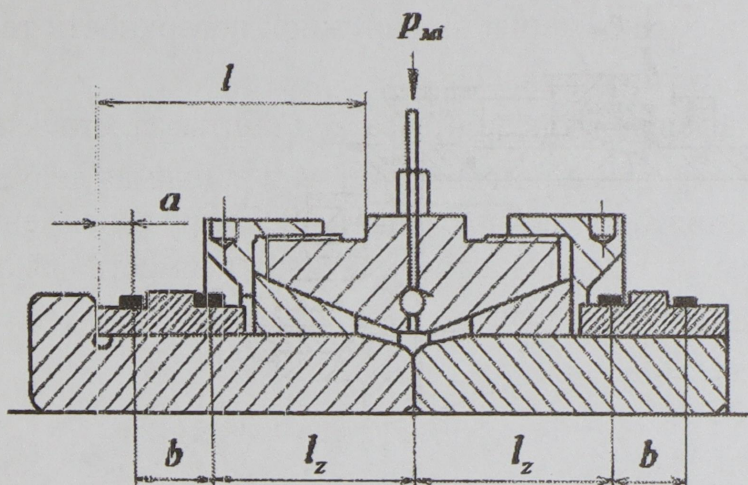


Рисунок 5 – Схема осуществления неразрушающего контроля прочности напрессовки колец подшипников (Патенты на изобретения ВУ 13116 С1, RU 2329478 С1)

Расчётная формула для определения p_{mz} получена согласно решению Ляме-Гадолина из зависимости для определения перемещений на поверхности цилиндрической охватывающей детали соединения под воздействием внутреннего давления в толстостенном цилиндре:

$$p_{mz} = \Delta d_2 (m_k^2 - 1) E / 2d_2, \quad (7)$$

где Δd_2 – средняя величина увеличения наружного диаметра d_2 , м; d_2 – наружный диаметр внутреннего кольца буксового подшипника, м; m_k – конструктив-

ный коэффициент, $m_k = d_2 / d$; d – диаметр сопряжения внутреннего кольца буксового подшипника с шейкой оси колёсной пары.

Значение Δd_2 устанавливается при помощи средств измерений, применяемых в депо и на заводах при изготовлении и ремонте колёсных пар вагонов.

Предложен способ контроля прочности сопряжения колец подшипников по величине нормированного аксиального усилия относительного сдвига и устройство для его осуществления. Применение данного способа технической диагностики основано на наличии корреляционной зависимости прочностных характеристик всего прессового узла от контактного давления в соединениях с гарантированным натягом. Критерием отбраковки соединений колец подшипников на шейке оси колёсной пары является смещение контролируемого кольца. Выполнена экспериментальная проверка масштабных образцов на лабораторной гидрофицированной установке.

В четвёртой главе приведена разработка метода неразрушающего контроля прочности напрессовки колец подшипников на шейки осей колёсных пар при новом формировании, основанный на определении фактического натяга в сопряжении по деформациям наружного радиуса внутреннего кольца буксового подшипника.

Использованный при проведении исследования метод тензометрического контроля позволил реализовать принципиально новые решения по технической диагностике при оценке НДС соединений с натягом колёсных пар, с использованием тензометрической втулки установленной на контролируемом кольце.

Для установления фактического натяга в сопряжении запишем выражение для определения p_k

$$p_k = \sigma_{\text{пл}} [1 - (d_2 / d)^2] / 2(d / d_2)^2,$$

где σ_{II} – нормальные растягивающие напряжения на наружной поверхности тензометрической втулки измерительного устройства, Па.

Зная величину σ_{II} , определяем давление в зоне контакта p_k . Учитывая, что величина натяга весьма мала по сравнению с диаметром сопряжения и принимая диаметры шейки, и отверстия кольца подшипника примерно равными диаметру сопряжения этих деталей в соединениях с натягом, получаем аналитическую зависимость для определения величины фактического натяга посадки

$$\delta_{\text{фактический}}^{\sigma_{\text{II}}} = (\sigma_{\text{II}} / E) m_k d_2,$$

где E – модуль упругости для сталей, Па.

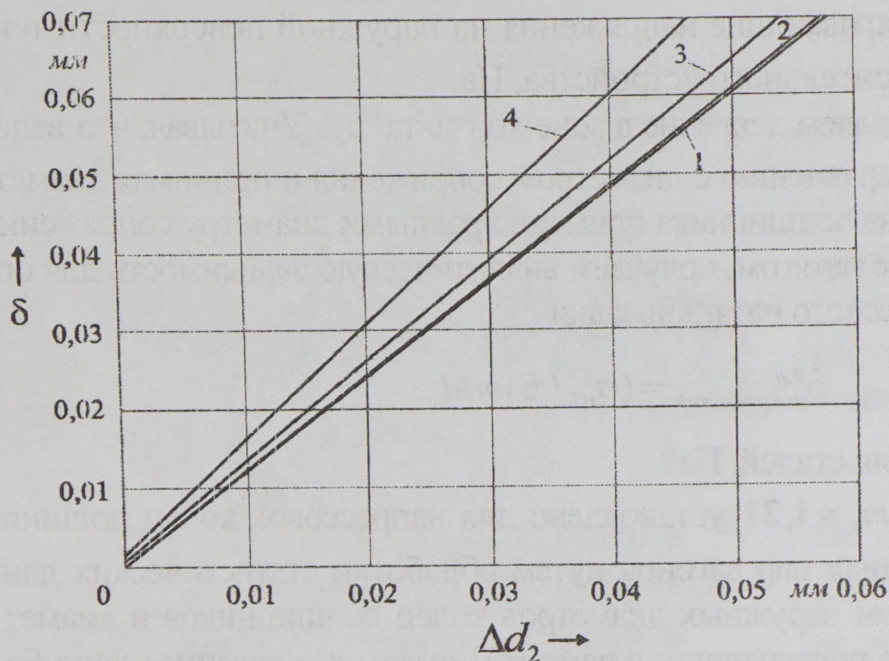
Значение коэффициента $m_k = 1,21$ установлено для напрессовок колец подшипников на шейки осей колёсных пар вагонов путем обработки статистических данных, полученных измерением наружных диаметров колец подшипников и диаметров шеек осей колёсных пар поступавших в ремонт (Гомельское вагонное депо Белорусской железной дороги).

Установив величину радиальных перемещений Δd_2 для кольца подшипника на его наружной поверхности от воздействия натяга в сопряжении и используя зависимость (7) для расчёта величины $p_{\text{мз}}$, получаем зависимость для определения величины фактического натяга в сопряжении

$$\delta_{\text{фактический}}^{\Delta d_2} = m_k \Delta d_2. \quad (8)$$

Для обоснования установленной зависимости фактического натяга в сопряжении от деформации наружного диаметра внутреннего кольца подшипника разработана конечно-элементная модель соединения шейки оси с кольцами подшипников (переднего и заднего) с учетом влияния на величину фактического натяга отклонений макрогеометрии (конусности, овальности) деталей. Использовалась программа «DSMFem», разработанная в Брянском государственном техническом университете. Установлено, что на изменение натяга в сопряжении при одинаковых деформациях наружного диаметра внутреннего кольца подшипника наибольшее влияние оказывает наличие конусности и овальности в сопряжении (рисунок 6, зависимость 4).

Полученные экспериментальные данные (рисунок 7), о фактических натягах в соединениях по сравнению с натягами, замеряемыми перед сборкой традиционным способом (по разности диаметров сопрягаемых деталей) показывают приемлемую сходимость с результатами расчёта по найденным аналитическим зависимостям. Измерения выполнялись при наличии установленных в действующей нормативной документации отклонений по микро- и макрогеометрии поверхностей контакта деталей. Установлено, что погрешность измерений используемого подхода определения натяга по разности диаметров перед сборкой в сравнении с разработанным методом достигает 8 %.



1 — $\delta = 1,2092\Delta d_2 + 0,0004$ при отсутствии конусности и овальности; 2 — $\delta = 1,2195\Delta d_2 + 0,0001$ при конусности 0 мм и овальности 0,05 мм; 3 — $\delta = 1,2813\Delta d_2 + 0,0009$ при конусности 0,05 мм и овальности 0 мм; 4 — $\delta = 1,4781\Delta d_2 + 0,0015$ при конусности 0,05 мм и овальности 0,05 мм.

Рисунок 6 — Влияние конусности и овальности деталей на величину натяга

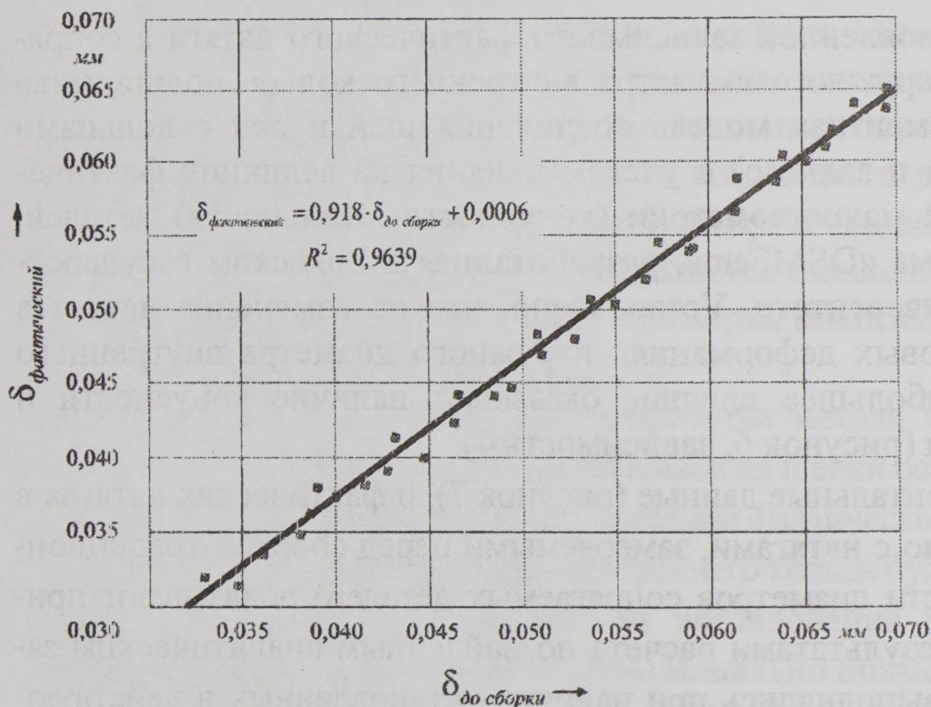
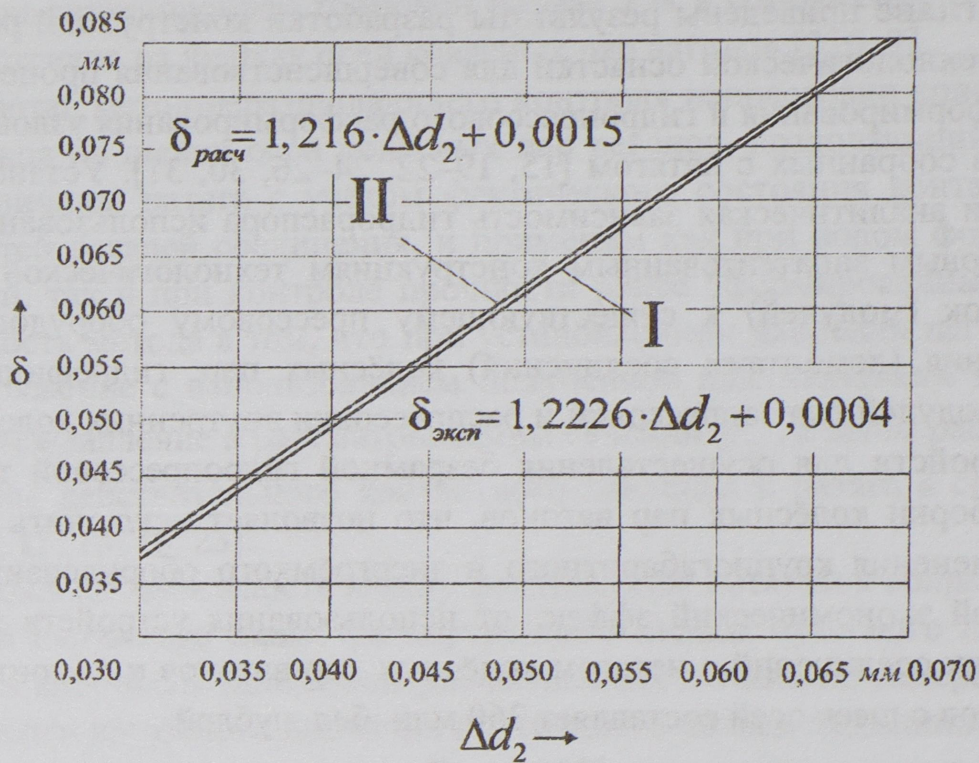


Рисунок 7 — Зависимость фактического натяга в соединении внутренних колец подшипников с шейками осей колёсных пар вагонов от натяга

Полученная зависимость натяга $\delta_{расч}$ от деформации наружного диаметра внутреннего кольца буксового подшипника верифицирована экспериментальной зависимостью натяга $\delta_{эксп}$, полученной по результатам замеров более 200 колёсных пар вагонов поступавших в Гомельское вагонное депо для ремонта (рисунок 8).

Как видно из рисунка 8 зависимость, полученная по результатам исследования конечно-элементной модели, практически совпадает с зависимостью, полученной при анализе данных эксперимента, а их отличие объясняется тем, что конечно-элементная модель не учитывает микрогеометрию сопрягаемых поверхностей.

Таким образом, получена номограмма для определения натяга при новом формировании посадок внутренних колец подшипников на шейки осей колёсных пар вагонов по деформациям наружного радиуса внутреннего кольца буксового подшипника ($U = \Delta d_2 / 2$), представленная на рисунке 9.



I – по результатам исследования на конечно-элементной модели; II – по результатам экспериментальных напрессовок

Рисунок 8 – Зависимости фактического натяга в зоне сопряжения деталей от деформации наружного диаметра напрессованного кольца подшипника

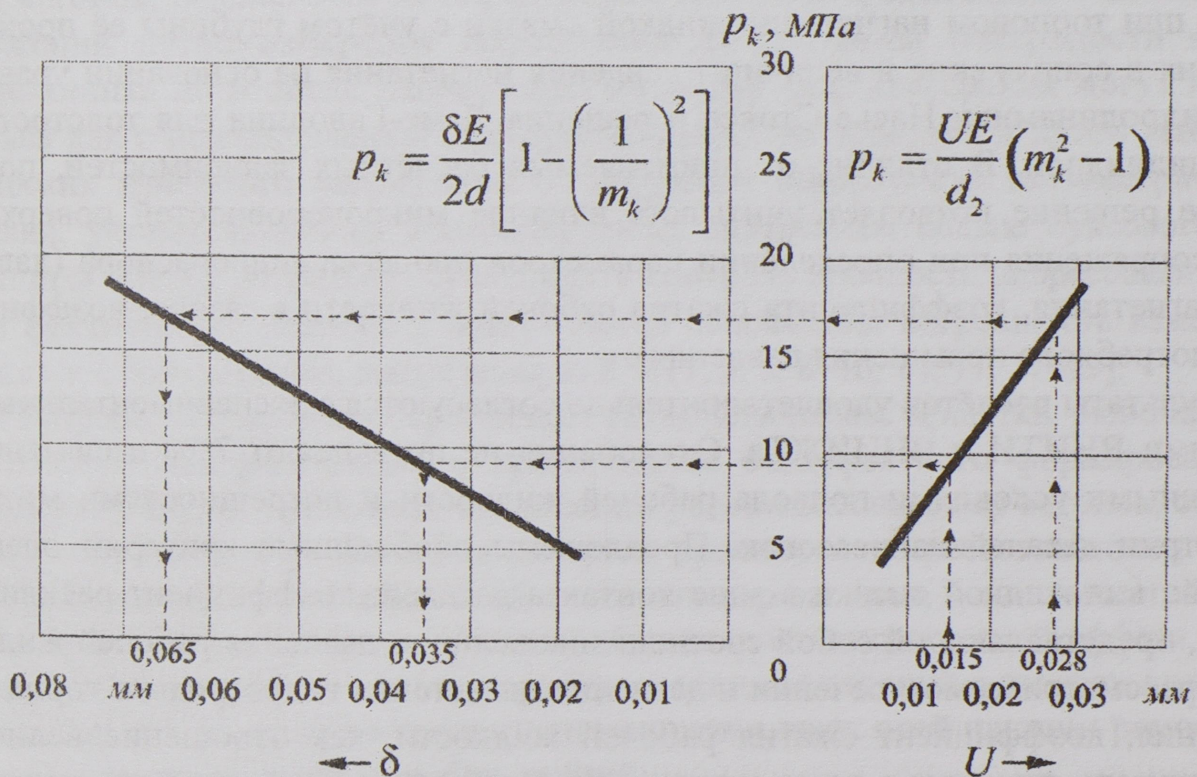


Рисунок 9 – Номограмма для определения натяга в контролируемом соединении по величине радиальной деформации охватываемой детали

В пятой главе приведены результаты разработки конструкций ресурсосберегающей технологической оснастки для совершенствования процессов механического формирования и гидропрессового расформирования узлов колёсных пар вагонов собранных с натягом [15, 19–22, 24–26, 30, 31]. Установленная в диссертации аналитическая зависимость гидрораспора использована при расчётах по новым запатентованным конструкциям технологической оснастки: гидроголовок (модулей) к существующему прессовому оборудованию для формирования (демонтажа соединений) колёсных пар; гидрофицированных навесных модулей для запрессовки и распрессовки внутренних колец подшипников; устройств для осуществления безрамной гидропрессовой технологии сборки-разборки колёсных пар вагонов, что позволяет исключить необходимость применения крупногабаритного и энергоёмкого оборудования. Условный годовой экономический эффект от использования устройств для гидро-распрессовки соединений с натягом колёсных пар вагонов и демонтажа колец подшипников с шеек осей составляет 360 млн. бел. рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации:

1 Получена аналитическая зависимость распределения давления рабочей жидкости по длине сопряжения соединений с натягом узлов колёсных пар вагонов при торцовом нагнетании жидкой смазки с учётом глубины её проникновения в сопряжение и величины давления нагнетания на основании уравнений гидродинамики Навье-Стокса и решения Ляме-Гадолина для толстостенных цилиндров. В отличие от применяемых расчётных зависимостей, полученное решение позволяет учитывать влияние микронеровностей поверхностей сопряжения при определении параметров процесса гидрораспора (давления нагнетания, коэффициента сжатия рабочей жидкости в зазоре, коэффициента потребного повышения давления).

Результаты расчётов удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными ВНИТИ и ВНИИЖТа. Отклонения не превышают 7 % и связаны с различными условиями подвода рабочей жидкости и погрешностями микрогеометрии деталей напрессовок. Предложены обобщённые критерии оценки воздействия жидкой смазки в зоне контакта деталей: коэффициент расклинивания, представляющий собой соотношение величин давления рабочей жидкости в рассматриваемом сечении и давления нагнетания гидросреды с торца соединения; коэффициент сжатия рабочей жидкости, как отношение величин упомянутого давления в рассматриваемом сечении и контактного давления от натяга в соединении. Впервые решена задача по расчёту процесса гидропрес-

сования при двухсторонней торцовой подаче РЖ в сопряжение с натягом колец подшипников на шейках осей колёсных пар вагонов [2, 6, 7].

2 Разработан метод неразрушающего контроля напрессовки колец буксовых подшипников на шейки осей колёсных пар вагонов, позволяющий выполнять оценку величины натяга с учётом фактического состояния контактирующих поверхностей деталей соединения, и применим как при новом формировании соединений, так и при контроле прочности ранее сформированных напрессовок. Сущность метода в том, что при установленном давлении нагнетания РЖ p_{mi} в сопряжение с использованием полученной аналитической зависимости определяется давление в рассматриваемом сечении p_{mz} , а затем рассчитываются величины действительного контактного давления и натяга в сопряжениях, [2, 4, 5, 12, 13, 16, 18, 23].

3 Установлена зависимость между фактическим натягом в сопряжении и деформацией наружного диаметра внутреннего кольца буксового подшипника, полученная аппроксимацией экспериментальных данных по замерам натягов с деформациями наружного диаметра внутреннего кольца подшипника обусловленных натягом с достоверностью $R^2 = 0,9683$, учитывающая влияние микро- и макрогеометрии (шероховатость сопрягаемых поверхностей, конусность, овальность, седлообразность, бочкообразность и др.).

Разработан метод неразрушающего контроля прочности напрессовки колец подшипников на шейки осей при новом формировании соединений колёсных пар вагонов, основанный на определении величины фактического натяга в сопряжении путём измерения деформаций на наружной поверхности кольца подшипника до и после напрессовки на шейку оси. Измерения могут выполняться как с использованием инструментальных замеров, так и путём тензометрических измерений напряжений на наружной поверхности тензометрической втулки, установленной на контролируемом внутреннем кольце буксового подшипника. Метод позволяет осуществлять контроль прочности напрессовки с учётом фактического состояния поверхностей сопряжения погрешность измерений используемого подхода, достигающую 8 % [1, 3, 5, 8–10, 14, 17, 27–29].

4 Разработана ресурсосберегающая технологическая оснастка, включающая: устройства для реализации в производстве бездефектного формирования и расформирования прессовых соединений узлов колёсных пар вагонов, собранных с натягом и устройства для контроля прочности напрессовки колец буксовых подшипников на шейки осей колёсных пар вагонов, основанные на предлагаемых методах контроля. Условный годовой экономический эффект от использования устройств для гидрораспрессовки соединений с натягом колёсных пар вагонов и демонтажа колец подшипников с шеек осей по двум ремонтным заводам составляет 360 млн. бел. рублей.

Разработан метод дополнительного прямого контроля прочности соединений внутренних колец подшипников с шейками осей колёсных пар вагонов и устрой-

ства для его реализации. Отличительной особенностью метода является оценка прочности напрессовки по величине прикладываемого согласно действующим нормативным документам аксиального усилия относительного сдвига кольца подшипника на шейке оси колёсной пары [8, 11, 14, 15, 16, 18, 20, 21, 24–26, 30–32].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1 Полученные теоретические зависимости могут быть использованы для расчёта параметров гидрораспора на стадии проектирования технологических процессов для формирования и расформирования соединений узлов колёсных пар, собранных с натягом, и разработки устройств для осуществления ГПТТ в вагоностроительном и вагоноремонтном производствах.

2 Устройства для неразрушающего контроля прочности напрессовок внутренних колец буксовых подшипников на шейках осей колёсных пар вагонов, разработанные на основе предлагаемых методов контроля, с использованием установленных теоретических зависимостей для определения параметров ГПТТ, могут быть рекомендованы к использованию в вагоностроительном и вагоноремонтном производствах для контроля соединений колец с шейками осей, как при новом формировании, так и при проведении ремонта без снятия колец. Использование предлагаемого метода и устройств для его осуществления позволит достичь достоверной оценки качества сборки соединений с натягом, а также сокращения браков в эксплуатационной работе по причинам разрушения колец буксовых подшипников и ослабления их посадки на шейках осей колёсных пар вагонов. Возможность практического использования подтверждается справкой вагоностроительного завода ОАО «Днепроввагонмаш», Украина.

3 Разработанный расчётно-экспериментальный метод контроля прочности напрессовок при новом формировании соединений колец подшипников с шейками осей колёсных пар вагонов и устройства для его реализации рекомендуются к внедрению в вагоноремонтном и вагоностроительном производствах для повышения уровня надёжности колёсных пар вагонов и снижения браков в эксплуатационной работе по причинам разрушения колец буксовых подшипников и ослабления их посадки на шейках, что подтверждается справкой Службы вагонного хозяйства Белорусской железной дороги.

4 Ресурсосберегающая технологическая оснастка для бездефектного формирования и расформирования узлов колёсных пар вагонов собранных с натягом с использованием ГПТТ рекомендуется к внедрению в механосборочные процессы при ремонте и изготовлении колёсных пар вагонов.

Результаты внедрены в учебный процесс УО «Белорусский государственный университет транспорта» при подготовке специалистов по специальности «Подвижной состав».

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в рецензируемых научных изданиях

1 Сенько, В.И. Оценка прочности сопряжения колец буксовых подшипников с шейками осей колёсных пар / В.И. Сенько, Р.И. Чернин, С.Ф. Гориченко // Вестн. Белорус. гос. ун-та. трансп. Наука и транспорт. – 2009. – № 1 (18). – С. 5–7.

2 Сенько, В.И. Конструктивно-технологические мероприятия по повышению надежности и срока службы колёсных пар вагонов / В.И. Сенько, И.Л. Чернин, Р.И. Чернин // Вестн. Днепропетровского национального ун-та ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – 2009. – № 30. – С. 223–229.

3 Чернин, И.Л. О контроле прочности соединений с гарантированным натягом колец подшипников с шейками осей колёсных пар / И.Л. Чернин, Р.И. Чернин, Н.Г. Сенько, В.А. Руденок // Вестн. Белорус. гос. ун-та. трансп. Наука и транспорт. – 2010. – № 1 (20). – С. 5–9.

4 Сенько, В.И. Методологические основы нового способа неразрушающего контроля прочности сопряжения деталей соединений с натягом колёсных пар / В.И. Сенько, И.Л. Чернин, Н.Г. Сенько, Р.И. Чернин // Вестн. Белорус. гос. ун-та. трансп. Наука и транспорт. – 2010. – № 2 (21). – С. 5–9.

5 Сенько, В.И. Совершенствование контроля соединений с натягом подшипников колёсных пар / В.И. Сенько, И.Л. Чернин, Н.Г. Сенько, Р.И. Чернин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2010. № – 3 (27). – С. 18–22.

6 Чернин, Р.И. Совершенствование формирования и демонтажа колёсных пар вагонов / Р.И. Чернин // Вестн. Белорус. гос. ун-та. трансп. Наука и транспорт. – 2011. – № 1 (22). – С. 19–23.

7 Чернин, Р.И. Распрессовка соединений с гарантированным натягом и контроль напрессовок колец буксовых подшипников колёсных пар вагонов / Р.И. Чернин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2011. – № – 2 (30). – С. 62–67.

8 Чернин, Р.И. Контроль прочности посадки колец роликовых подшипников на шейках осей колёсных пар / Р.И. Чернин // Вестн. Белорус. гос. ун-та. трансп. Наука и транспорт. – 2011. – № 2 (23). – С. 12–15.

Статьи в сборниках статей

9 Чернин, Р.И. К вопросу оценки прочности тепловой напрессовки колец буксовых подшипников на шейки осей колёсных пар вагонов / Р.И. Чернин // Сб. студенческих науч. работ / Белорус. гос. ун-та трансп. – Гомель, 2005. – Вып. 12. – С. 126–129.

10 Чернин, Р.И. Повышение технического ресурса подвижного состава / Р.И. Чернин, В.И. Сенько // Сб. науч. работ студентов высших учебных заведений Республики Беларусь «НИРС 2003–2004». – Минск, 2005. – Ч. 1. – С. 146–148.

11 Чернин, И.Л. Гидропрессовая сборка соединений с гарантированным натягом / И.Л. Чернин, Н.Г. Сенько, Р. И. Чернин // Теоретическая и прикладная механика. – 2007. – Вып. 22. – С. 197–199.

12 Сенько, В.И. Обоснование расчёта основных характеристик нового процесса неразрушающего контроля напрессовок / В.И. Сенько, И.Л. Чернин, Н.Г. Сенько, Р.И. Чернин // Механика 2009: сб. науч. тр. IV Белорусского конгресса по теоретической и прикладной механике, Минск, 22–24 дек. 2009 г. / ОИМ НАН Беларуси ; редкол.: М.С. Высоцкий [и др.]. – Минск, 2009. – С. 305–309.

13 Сенько, В.И. Совершенствование сборки-разборки соединений с гарантированным натягом колёсных пар / В.И. Сенько, И.Л. Чернин, Н.Г. Сенько, Р.И. Чернин // Трибофатика. Труды VI междунар. симпозиума по трибофатике МТСФ. 25 окт. – 1 нояб.. 2010 г. / БГУ ; редкол.: М.А. Журавков [и др.]. – Минск, 2010. – Ч. II. – С. 183–185.

14 Чернин Р.И. Испытание на прочность сопряжения элементов соединений с гарантированным натягом колёсных пар вагонов / Р.И. Чернин // Механика 2011: сб. науч. тр. V Белорусского конгресса по теоретической и прикладной механике/ Минск, 26–28 окт. 2011 г. / ОИМ НАН Беларуси ; редкол.: М.С. Высоцкий [и др.]. – Минск, 2011. – Т. II. – С. 62–67.

Патенты на изобретения

15 Устройство для разборки соединений колец буксовых роликовых подшипников с шейками осей колёсных пар вагонов : пат. 7609 Респ. Беларусь, МПК7 В23Р 191/02 / И.Л. Чернин, Н.Г. Сенько Р.И. Чернин ; заявитель Белорус. гос. ун-т трансп. – № а 20011079 ; заявл. 19.12.2001 ; опубл.30.12.2005 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2005. – № 4 (47) Ч. I. – С. 142–143.

16 Способ неразрушающего контроля прочности напрессовки колец подшипников на шейке оси колёсной пары : пат. 2329478 Российской Федерации, МПК8 G01L 1/22 / В.И. Сенько, И.Л. Чернин, Р.И. Чернин, Н.Г. Сенько ; заявитель Белорус. гос. ун-т. трансп. – № 2006134798/28 ; заявл. 02.10.2006; опубл. 20.07.2008 – 2008. Бюл. – № 20.

17 Устройство для контроля прочности тепловой напрессовки двух смежных колец буксовых подшипников на шейку оси : пат. 10353 Респ. Беларусь, В 23 Р 11/00, G01L 1/18 / В.И. Сенько, И.Л. Чернин, Р.И. Чернин, С.Ф. Гориченко ; заявитель Белорус. гос. ун-т. трансп. – № а 20051007 ; заявл. 20.10.2005 опубл. 28.02.2008 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 1 (60). – С. 77.

18 Способ неразрушающего контроля прочности напрессовки колец подшипников на шейку оси колёсной пары и устройство для его осуществления :

пат. 13116 Респ. Беларусь, В 23 Р 11/02, G 01 L 1/20 / В.И. Сенько, И.Л. Чернин, Р.И. Чернин, Н.Г. Сенько ; заявитель Белорус. гос. ун-т. трансп. – № а 20060353 ; заявл. 17.04.2006 опубл. 30.04.2010 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 2 (73). – С. 70–71.

19 Устройство для смазки поверхностей сопряжения осей и колёс при механической запрессовке колёсных пар : пат. 13117 Респ. Беларусь, В 60 В 37/00, F 16 H 57/04 / И.Л. Чернин, Р.И. Чернин ; заявитель Белорус. гос. ун-т. трансп. – № а 20071081 ; заявл. 31.08.2007 опубл. 30.04.2010 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 2 (73). – С. 73–74.

20 Устройство для распрессовки оси колеса : пат. 13903 Респ. Беларусь, В 23 Р 19/02 / В.И. Сенько, И.Л. Чернин, Р.И. Чернин ; заявитель Белорус. гос. ун-т. трансп. – № а 20080127 ; заявл. 02.05.2008 опубл. 30.12.2010 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 6 (77). – С. 80.

21 Устройство для распрессовки колец буксовых подшипников колёсной пары : пат. 13904 Респ. Беларусь, В 23 Р 19/02 / В.И. Сенько, И.Л. Чернин, Р.И. Чернин ; заявитель Белорус. гос. ун-т. трансп. – № а 20080460 ; заявл. 10.04.2008 опубл. 30.12.2010 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 6 (77). – С. 81.

22 Устройство для распрессовки оси колеса : пат. 13912 Респ. Беларусь, В 23 Р 19/02 / В.И. Сенько, И.Л. Чернин, Р.И. Чернин ; заявитель Белорус. гос. ун-т. трансп. – № а 20080306 ; заявл. 14.03.2008 опубл. 30.12.2010 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 6 (77). – С. 80–81.

23 Устройство для неразрушающего контроля прочности напрессовки колец подшипников на шейке оси колёсной пары : пат. 2415391 Российской Федерации, МПК8 G01L 1/22 / В.И. Сенько, И.Л. Чернин, Р.И. Чернин ; заявитель Белорус. гос. ун-т. трансп. – № 2009134209/28 ; заявл. 11.09.2009; опубл. 27.03.2011 – 2011. Бюл. – № 9.

24 Устройство для разборки соединений с натягом двух колец подшипников с шейкой оси колёсной пары : пат. 14334 Респ. Беларусь, В 23 Р 19/02 / В.И. Сенько, И.Л. Чернин, Р.И. Чернин, С.Ф. Гориченко ; заявитель Белорус. гос. ун-т. трансп. – № а 20081155 ; заявл. 08.09.2008 опубл. 30.04.2011 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 2 (79). – С. 74–75.

25 Устройство для разборки соединений с натягом кольца подшипника с шейкой оси колёсной пары : пат. 14335 Респ. Беларусь, В 23 Р 19/02 / В.И. Сенько, И.Л. Чернин, Р.И. Чернин, С.Ф. Гориченко ; заявитель Белорус. гос. ун-т. трансп. – № а 20081181 ; заявл. 17.09.2008 опубл. 30.04.2011 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 2 (79). – С. 75.

26 Устройство для гидрораспрессовки и гидронапрессовки переднего и заднего колец подшипников с шейкой оси колёсной пары : пат. 2429959 Рос-

сийской Федерации, МПК8 В23Р 19/02, В23Р 11/02, В61К 5/00, В60В 29/00 / В.И. Сенько, И.Л. Чернин, Р.И. Чернин ; заявитель Белорус. гос. ун-т. трансп. – № 2009134210/02 : заявл. 11.09.2009; опубл. 27.09.2011 – 2011. Бюл. – № 27.

Патенты на полезные модели

27 Устройство для контроля прочности тепловой напрессовки на шейку оси колёсной пары кольца подшипника : пат. 1587 Респ. Беларусь, МПК7 В23Р 11/02, G01BL 5/30, G 01L 1/22 / И.Л. Чернин, М.А. Скачко, Р.И. Чернин ; заявитель Белорус. гос. ун-т трансп. – № и 20040031 ; заявл. 29.01.2004 ; опубл. 30.09.2004 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2004. – № 3 (24). – С. 222.

28 Устройство для контроля тепловой напрессовки кольца подшипника на шейку оси колёсной пары : пат. 1656 Респ. Беларусь, МПК7 В23Р 11/02, G 01L 1/22 / В.И. Сенько, И.Л. Чернин, Р.И. Чернин ; заявитель Белорус. гос. ун-т трансп. – № и 20040072 ; заявл. 24.02.2004 ; опубл. 30.12.2004 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2004. – № 4 (43). – С. 235.

29 Устройство для контроля прочности механической напрессовки колеса на ось колёсной пары : пат. 2431 Респ. Беларусь, МПК7 В23Р 11/02, G 01L 1/22 / В.И. Сенько, И.Л. Чернин, Р.И. Чернин, С.Ф. Гориченко ; заявитель Белорус. гос. ун-т трансп. – № и 20050254 ; заявл. 02.05.2005 ; опубл. 28.02.2006 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2006. – № 1(48). – С. 172–173.

30 Устройство для разборки соединений колец подшипников с шейками осей колёсных пар : пат. 4806 Респ. Беларусь, МПК7 В 23 Р 11/02, В 23 Р 19/02 / И.Л. Чернин, Р.И. Чернин, С.Ф. Гориченко ; заявитель Белорус. гос. ун-т. трансп. – № и 20080227 ; заявл. 24.03.2008 ; опубл. 30.10.2008 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 5 (64). – С. 182.

31 Устройство для распрессовки осей колёс : пат. 4805 Респ. Беларусь, МПК7 В 23 Р 11/02, В 23 Р 19/00, D 60 D 37/00 / И.Л. Чернин, Р.И. Чернин, С. Н. Тагай ; заявитель Белорус. гос. ун-т. трансп. – № и 20080169 ; заявл. 28.02.2008 ; опубл. 30.10.2008 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 5 (64). – С. 181.

32 Устройство для контроля прочности на сдвиг и распрессовки колец подшипников колёсных пар : пат. 7009 Респ. Беларусь, В 23 Р 11/02, В 23Р 19/02, G 01L 1/22 / И.Л. Чернин, Р.И. Чернин, В. А. Руденок, Д.И. Костюков ; заявитель Белорус. гос. ун-т. тр-та. – а 20100634 ; заявл. 14.07.2010 опубл. 28.02.2011 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 1 (78). – С. 178–179.

Тезисы докладов

33 Гориченко, С.Ф. К вопросу о контроле прочности сопряжения при формировании колёсных пар вагонов / С.Ф. Гориченко, Р.И. Чернин // Новые ма-

териалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы Респ. науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Могилёв, 26 янв. 2006 г. / Белорус. Рос. гос. ун-т. ; редкол.: И.С Сазонов [и др.]. – Могилёв, 2006. – С. 251.

34 Чернин, Р.И. Контроль прочности сопряжения тепловых напрессовок колец буксовых подшипников на шейках осей колёсных пар / Р.И. Чернин // Trans-mech-art-chem : труды IV Междунар. студенческой конф., Москва, 11–12 мая 2006 г. / Московский гос. ун-т путей сообщения ; под ред. Проф. А.А. Выгнанова. – Москва, 2006. – С. 173–174.

35 Сенько, В.И. Совершенствование контроля и демонтажа прессовых соединений колёсных пар вагонов / В.И. Сенько, И.Л. Чернин, Н.Г. Сенько, Р.И. Чернин // Наука, инновации, образование: актуальные проблемы развития транспортного комплекса России : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Екатеринбург, 16–17 нояб. 2006 г. / УрГУПС ; редкол.: В.М. Сай [и др.]. – Екатеринбург, 2006. – С. 245–246.

36 Чернин, И.Л. Оценка прочности сопряжения прессовых соединений колёсных пар вагонов / И.Л. Чернин, С.Ф. Гориченко, Р.И. Чернин // Экология и энергоресурсосберегающие технологии на транспорте : материалы V Всерос. Науч.-техн. конф., Красноярск, 21–23 нояб. 2007 г. / Сибирский федер. ун-т; Политехн. ин-т ; редкол.: В.Н. Катаргин [и др.]. – Красноярск, 2007. – Ч. II. – С. 140–148.

37 Чернин, И.Л. Устройство для смазки поверхностей сопряжения осей и колёс при механической запрессовке колёсных пар / И.Л. Чернин, Р.И. Чернин // Проблемы безопасности на транспорте : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 15–16 нояб. 2007 г. / Бел. гос. ун-т. трансп. ; редкол.: В.И. Сенько [и др.]. – Гомель, 2007. – С. 103–105.

38 Чернин, Р.И. Совершенствование технологии монтажа-демонтажа колёсных пар механической запрессовкой / Р.И. Чернин // Проблемы и перспективы развития транспортных систем в условиях реформирования железнодорожного транспорта: управление, экономика и технологии : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Киев, 26–27 февр. 2008 г. / Гос. экономико-технологический ун-т трансп. ; редкол.: В.К. Мироненко [и др.]. – Киев, 2008. – С. 110–111.

39 Гориченко, С.Ф. Повышение эксплуатационной надёжности прессовых соединений / С.Ф. Гориченко, Р.И. Чернин // Проблемы механики железнодорожного транспорта: Безопасность движения, динамика, прочность подвижного состава, энергосбережение : тез. докл. XII Междунар. конф., Днепропетровск, 28–30 мая 2008 г. / Днепропетровский нац. ун-т ж-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна ; редкол.: Е.П. Блохин [и др.]. – Днепропетровск, 2008. – С.53.

40 Чернин, И.Л. Совершенствование контроля прочности напрессовки колец подшипников / И.Л. Чернин, С.Ф. Гориченко, Р.И. Чернин // Проблемы механики железнодорожного транспорта: Безопасность движения, динамика, прочность подвижного состава, энергосбережение : тез. докл. в XII Междунар. конф., Днепропетровск, 28–30 мая 2008 г. / Днепропетровский нац. ун-т ж-д.

трансп. им. акад. В. Лазаряна ; редкол.: Е.П. Блохин [и др.]. – Днепропетровск, 2008. – С.169.

41 Чернин, И.Л. Распрессовка соединений колёсных пар с использованием гидрораспора от высокого давления масла / И.Л. Чернин, Н.Г. Сенько, Р.И. Чернин // Проблемы механики железнодорожного транспорта: Безопасность движения, динамика, прочность подвижного состава, энергосбережение : тез. докл. XII Междунар. конф., Днепропетровск, 28–30 мая 2008 г. / Днепропетровский нац. ун-т ж-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна ; редкол.: Е.П. Блохин [и др.]. – Днепропетровск, 2008. – С.170.

42 Гориченко, С.Ф. Совершенствование технологии разборки соединений с натягом колёсных пар / С.Ф. Гориченко, Р.И. Чернин // Современные проблемы машиноведения : тез. док. VII Междунар. науч.-техн. конф., науч. чтения. Посвящ. П.О. Сухому, Гомель, 23–24 окт. 2008 г. / Гомельский гос. техн. ун-т им. П.О. Сухого ; редкол. С.И. Тимошина [и др.]. – Гомель, 2008. – С. 22–23.

43 Чернин, И.Л. Контроль прочности напрессовки колец буксовых подшипников на шейки осей колёсных пар / И.Л. Чернин, С.Ф. Гориченко, Р.И. Чернин // Современные проблемы машиноведения : тез. докл. VII Междунар. науч.-техн. конф., науч. чтения. Посвящ. П.О. Сухому, Гомель, 23–24 окт. 2008 г. / Гомельский гос. техн. ун-т им. П.О. Сухого ; редкол. С.И. Тимошина [и др.]. – Гомель, 2008. – С. 23–24.

44 Чернин, И.Л. Совершенствование демонтажа соединений с гарантированным натягом колёсных пар вагонов / И.Л. Чернин, С.Ф. Гориченко, Н.Г. Сенько, Р.И. Чернин // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса : материалы II Междунар. науч. практ. конф., Гомель, 30–31 окт. 2008 г. / Бел. гос. ун-т. трансп. ; редкол.: В.И. Сенько [и др.]. – Гомель, 2008. С. 188–189.

45 Сенько, В.И. Новый способ контроля напрессовки деталей соединений с натягом колёсных пар / В.И. Сенько, Р.И. Чернин, И.Л. Чернин, Н.Г. Сенько // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты : тез. докл. VI Междунар. науч.-техн. конф. Посвящ 200-летию ПГУПС, 80-летию механического факультета ПГУПС и 100-летию заслуженного деятеля науки и техники РСФСР д.т.н., профессора И.И. Челнокова, Санкт-Петербург, 8–12 июля 2009 г. / Петербургский гос. ун-т путей сообщения ; редкол.: Ю.П. Бороненко [и др.]. – СПб., 2009. – С. 169–171.

46 Чернин, И.Л. Повышение безопасности движения за счёт совершенствования оценки прочности соединений с натягом колёсных пар / И.Л. Чернин, Н.Г. Сенько, Р.И. Чернин, В.А. Руденок // Проблемы безопасности на транспорте : материалы V Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 25–26 нояб.

2010 г. / Бел. гос. ун-т. трансп. ; редкол.: В.И. Сенько [и др.]. – Гомель, 2010. – С. 156–157.

47 Чернин, И.Л. Устройство для контроля прочности на сдвиг и распрессовки колец подшипников колёсных пар вагонов / И.Л. Чернин, Р.И. Чернин, Д.И. Костюков, В.А. Руденок // Проблемы безопасности на транспорте : материалы V Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 25–26 нояб. 2010 г. / Бел. гос. ун-т. трансп. ; редкол.: В.И. Сенько [и др.]. – Гомель, 2010. – С. 157–158.

48 Чернин, И.Л. Контроль соединений колец подшипников с шейками осей колёсных пар вагонов / И.Л. Чернин, Р.И. Чернин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта : материалы 71 Междунар. научн.-практ. конф., Днепропетровск, 14–15 апр. 2011 г. / Днепропетровский нац. ун-т ж-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна ; редкол.: С.В. Мямлин [и др.]. – Днепропетровск, 2011. – С. 86

49 Сенько, В.И. Повышение безопасности движения и снижения расходов за счёт совершенствования контроля прочности и демонтажа соединений колёсных пар вагонов / В.И. Сенько, И.Л. Чернин, Р.И. Чернин, Н.Г. Сенько // Проблемы и перспективы развития транспортных систем в условиях реформирования железнодорожного транспорта: управление, экономика и технологии : материалы V Междунар. науч.-практ. конф., Киев, 24–25 марта 2011 г. / Гос. экономико-технологический ун-т трансп. ; редкол.: В.К. Мироненко [и др.]. – Киев, 2011. – С. 127 – 129.

50 Чернин, И.Л. Контроль прочности на прессовку колец буксовых подшипников колёсных пар по величине аксиального усилия сдвига / И.Л. Чернин, Н.Г. Сенько, Р.И. Чернин, В.А. Руденок // Проблемы и перспективы развития транспортных систем в условиях реформирования железнодорожного транспорта: управление, экономика и технологии : материалы V Междунар. науч.-практ. конф., Киев, 24–25 марта 2011 г. / Гос. экономико-технологический ун-т трансп. ; редкол.: В.К. Мироненко [и др.]. – Киев, 2011. – С. 144–146.

РЭЗЮМЕ

Чарнін Расціслаў Ігаравіч

Павышэнне эфектыўнасці фарміравання і расфарміравання вузлоў колавых пар вагонаў, сабраных з нацягам

Ключавыя словы: колавыя пары, буксы, падшыпнікі, злучэнні, нацяг, фарміраванне, расфармаванне, ціск, вадкасць, гідраразпрэсаванне, кантроль, спалучэнне, трываласць, зрух, бяспека, надзейнасць.

Мэта працы: распрацоўка навукова абгрунтаваных тэхнічных рашэнняў для павышэння эфектыўнасці фарміравання і расфарміравання злучэнняў з гарантаваным нацягам колавых пар вагонаў з выкарыстаннем ГПТТ і кантролю трываласці злучэнняў ўнутраных кольцаў буксовых падшыпнікаў.

Метады даследавання: тэарэтычнае даследаванне па вызначэнні заканамернасці размеркавання ціску вязкай вадкасці ў зазоры паміж кантактуючымі паверхнямі дэталей пры гідрараспору з тарцовым нагнятаннем змазкі ў спалучэнне, мадэляванне злучэнняў двух сумежных кольцаў падшыпнікаў, злучаных з нацягам з шыйкай восі колавай пары, разлікова-эксперыментальны метады адзнакі трываласці спалучэння па напружаным стане, якая ахоплівае дэталі злучэння з нацягам.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: упершыню тэарэтычна абгрунтавана размеркаванне ціску вадкай змазкі ў зоне спалучэння дэталей з нацягам з улікам велічыні мікранярэўнасцяў паверхняў іх кантакту, што дазваляе больш дакладна вызначыць патрэбную велічыню ціску нагнятання гідраасяродзя; распрацавана з выкарыстаннем атрыманых аналітычных залежнасцяў метадыка разліку асноўных характарыстак працэсу гідрараспору пры тарцовым нагнятанні працоўнай вадкасці ў спалучэнне; распрацавана чатыры новых спосабы кантролю велічыні нацягу ў злучэннях; дадзены прапановы па ажыццяўленню бездэфектнага фарміравання-расфарміравання злучэнняў з нацягам і новай тэхналогіі разпрэсоўкі (па прынцыпе «станок-на-дэталі») колавых пар вагонаў.

Рэкамендацыі да выкарыстання: вынікі даследавання могуць быць скарыстаны ў вытворчых працэсах фарміравання-расфарміравання і кантролю трываласці злучэнняў з гарантаваным нацягам колавых пар вагонаў.

Галіна выкарыстання: вагонабудаванне; планавыя і бягучыя (па запатрабаванні) рамонтны грузавых і пасажырскіх чыгуначных вагонаў.

РЕЗЮМЕ

Чернин Ростислав Игоревич

Повышение эффективности формирования и расформирования узлов колёсных пар вагонов, собранных с натягом

Ключевые слова: колёсные пары, буксы, подшипники, соединения, натяг, формирование, расформирование, давление, жидкость, гидрораспрессовка, контроль, сопряжение, прочность, сдвиг, безопасность, надёжность.

Цель работы: разработка научно обоснованных технических решений для повышения эффективности формирования и расформирования соединений с гарантированным натягом колёсных пар вагонов с использованием ГПТТ и контроля прочности соединений внутренних колец буксовых подшипников.

Методы исследования: теоретическое исследование по определению зависимости распределения давления вязкой жидкости в зазоре между контактирующими поверхностями узлов колёсных пар вагонов собранных с натягом при гидрораспоре с торцовым нагнетанием смазки в сопряжение, моделирование соединений двух смежных колец подшипников, соединённых с натягом с шейкой оси колёсной пары, расчётно-экспериментальный метод оценки прочности сопряжения по напряжённому состоянию охватывающей детали соединения с натягом.

Полученные результаты и их новизна: впервые теоретически обосновано распределение давления жидкой смазки в зоне сопряжения деталей с натягом с учётом величины микронеровностей поверхностей их контакта, что позволяет более точно определить потребную величину давления нагнетания гидросреды; разработана с использованием полученных аналитических зависимостей методика расчёта основных характеристик процесса гидрораспора при торцовом нагнетании рабочей жидкости в сопряжение; разработано четыре новых способа контроля величины натяга в соединениях; даны предложения по осуществлению бездефектного формирования-расформирования соединений с натягом и новой технологии распрессовки (по принципу «станок-на-деталь») колёсных пар вагонов.

Рекомендации к использованию: результаты исследования могут быть использованы в производственных процессах формирования-расформирования и контроля прочности соединений с гарантированным натягом колёсных пар вагонов.

Область применения: вагоностроение; плановые и текущие (по потребности) ремонты грузовых и пассажирских железнодорожных вагонов.

SUMMARY

Chernin Rostislav Igorevich

Improving the efficiency of formation and dissolution of assemblies car wheel pairs, assembled with interference

Keywords: wheel pairs, axle boxes, bearings, joints, a tightness, formation, dissolution, pressure, a liquid, hydropressing-out, the control, mating, strength, shift, safety, reliability.

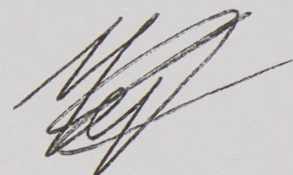
Research objective: development of science-based technological solutions to improve the efficiency of formation and dissolution of compounds with guaranteed interference car wheel pairs with GPTT strength and control connections of the inner rings bearing axle boxes.

Research methods: theoretical research by definition regularity of distribution of pressure of a viscous fluid in a positive allowance between contacting surfaces of details at a hydrothrust with face discharge under pressure of greasing in mating, modelling of joints of two contiguous rings of the bearings connected to a tightness with a neck of an axis of the wheel pair, a settlement-experimental method of an estimation of strength of mating on an intense condition of an external member of the joint with a tightness.

The received results and their novelty: for the first time distribution of pressure of lubricating liquid in a zone of mating of details with a tightness with the account of magnitude of microroughnesses of surfaces of their contact that allows to define the necessary magnitude of a discharge pressure of hydromedium more precisely is theoretically proved; the design procedure of the basic characteristics of process of a hydrothrust is developed with use of the gained analytical dependences at face discharge under pressure of operating fluid in mating; it is developed (in the co-authorship) four new ways of the control of magnitude of a tightness in joints suggests ways to implement the zero-defect formation, dissolution of compounds with interference and new technology decompression (on a "machine-to-detail") car wheel pairs.

Recommendations to use: The results can be used in the production process of formation, dissolution and control the strength of connections with guaranteed interference car wheel pairs.

Field of application: car building; planned and leaking (on requirement) repairs of cargo and passenger railway vehicles.



Научное издание

ЧЕРНИН Ростислав Игоревич

**Повышение эффективности формирования и расформирования узлов
колёсных пар вагонов, собранных с натягом**

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

Автореферат диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 21.03.2013 г. Формат бумаги 60x84 ¹/₁₆.

Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать на ризографе.

Усл. печ. л. 1,62. Тираж 100. Зак. 941

Издатель и полиграфическое исполнение

Белорусский государственный университет транспорта:

ЛИ №02330/0552508 от 09.07.2009 г.

ЛП №02330/0494150 от 03.04.2009 г.

246033, г. Гомель, ул. Кирова, 34.