

МПС СССР

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
им. М. И. КАЛИНИНА

На правах рукописи

НЕЧВОЛОД Сергей Иванович

УДК 629.4.027.2:

ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ И РАЦИОНАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ РЕМОНТА ШАРНИРНЫХ УЗЛОВ ТЕЛЕЖЕК ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

05.22.07 — Подвижной состав и тяга поездов

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск — 1983

НТБ
ДНУЖТ

Работа выполнена в Харьковском институте инженеров железнодорожного транспорта имени С. М. Кирова.

Научный руководитель — доктор технических наук,
профессор

Шевченко Павел Васильевич

Официальные оппоненты — доктор технических наук,
профессор Серета Василий
Трофимович,
кандидат технических наук,
доцент Савчук Орест
Макарович.

Ведущее предприятие — Южная ордена Ленина
железная дорога.

Защита диссертации состоится „31“ марта
1983 г. в 15 часов на заседании специализированного
совета К 114.07.01 при Днепропетровском институте инже-
неров железнодорожного транспорта им. М. И. Калинина
по адресу: 320629, ГСП, г. Днепропетровск-10, ул. Акаде-
мика В. А. Лазаряна, 2, ДИИТ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
института

Автореферат разослан „24“ февраля 1983 г.

Отзывы на автореферат в одном экземпляре, заверен-
ные печатью, просим направлять по адресу совета инстй-
тута.

Ученый секретарь
Специализированного совета
кандидат технических наук
доцент

Л. В. Петрович

НТБ
ДНУЖТ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность тем. В решениях XXVI съезда КПСС, постановлениях ЦК КПСС и Совета Министров СССР по дальнейшему развитию железнодорожного транспорта предусматривается совершенствование перевозочного процесса за счет увеличения скоростей движения и массы поездов, повышения интенсивности использования подвижного состава при рациональном расходовании материальных ресурсов.

Однако интенсификация работы подвижного состава выдвигает ряд проблем. Одной из таких проблем является уменьшение срока службы шарнирно-сопряженных деталей вагонов и локомотивов, из-за чего значительно возрастают затраты на их ремонт. Наибольшее количество таких сопряжений работает в ответственных узлах-тормозных рычажных передачах (ТРП) и рессорном подвешивании тележек, где они подвергаются воздействию значительных статических и динамических нагрузок, а также интенсивных воздушных потоков, загрязненных абразивными частицами при больших колебаниях температуры. Возникающие в этих условиях концентрации контактных давлений и трение приводят к повышенному фрикционному износу и усталостному разрушению деталей шарнирных узлов. Изношенные или разрушенные таким образом детали при ремонте вагонов восстанавливаются электродуговой наплавкой, если это возможно, или заменяются новыми, что в целом по сети дорог связано с большими затратами средств. К тому же образование повышенных износов или разрушение этих деталей в эксплуатации создает прямую угрозу безопасности движения поездов.

Поэтому проведение исследований, направленных на выявление причин повреждаемости и выработку рациональных способов ремонта шарнирных узлов тележек пассажирских вагонов, становится в ряд актуальных, а их реализация может дать значительную экономию материальных, энергетических и трудовых ресурсов на транспорте, а также повысить безопасность движения поездов.

Цель работы. Работа посвящена исследованию перспективных направлений совершенствования способов ремонта шарнирных узлов при использовании прогрессивных антифрикционных материалов таких как спеченные материалы и полимеры. На его основе предстояло разработать методику расчета нагрузочной способности цилиндрических полимерных прослоек

Днепропетровский
институт инженеров
жел. дор. транспорта
им. М. Г. Кривоноса
БИБЛИОТЕКА

6680 а
погашено

толщины, найти распределение контактных давлений по образующей оси, втулки, а также расширить сведения об антифрикционных свойствах этих материалов с целью получения необходимых данных для выработки практических рекомендаций, направленных на увеличение срока службы и снижение затрат при ремонте шарнирных узлов тележек пассажирских вагонов.

Методика исследования. Исследование исходных аспектов проблемы выполнено на основе результатов наблюдений, статистического материала и анализа условий работы шарнирных узлов на подвижном составе в эксплуатации.

Зависимости нагрузочной способности от конструктивных параметров шарнирных узлов исследованы аналитически по предлагаемой методике расчета, а распределение контактных давлений по образующей оси и втулки определялись методом конечных элементов при использовании ЭВМ ЕС 1050, экспериментальная проверка гипотезы исследования производилась при помощи современных вероятностно-статистических методов.

Антифрикционные характеристики контактирующих материалов и конкретных конструкций получены при испытаниях на типовых и специально созданных установках и стендах, позволяющих моделировать рабочие процессы шарнирных узлов.

Для сравнительного анализа работоспособности существующих и модернизированных при ремонте шарнирных узлов в реальных условиях эксплуатации использован статистический материал, обработанный методами математической статистики.

Научная новизна. В диссертации показано, что для уменьшения уровня концентрации контактных давлений и фрикционного износа деталей шарнирных узлов эффективным средством при ремонте является разделение контактирующих стальных деталей и из опеченного материала полимерной прослойкой как твердой смазкой. Рациональным изменением ее формы и параметров можно добиваться оптимальных контактных давлений и улучшенных эксплуатационных характеристик шарнирных узлов.

Разработана новая методика расчета нагрузочной способности цилиндрических прослоек малой жесткости, которая в отличие от известных, позволяет получать достаточно точные расчетные данные при любых (без ограничения) реальных исходных конструктивных параметрах шарнирных узлов как для постоянной толщины слоя, так и переменной, ограниченной цилиндрическими поверхностями.

НТБ
ДНУЖТ

При использовании предложенной методики расчета получены новые научные результаты по влиянию конструктивных параметров шарнирного узла на нагрузочную способность эксцентричной по толщине прослойки.

Получены уточненные аналитические данные по характеру распределения давлений вдоль контакта втулки и оси в случае жесткого взаимодействия и при разделении их упругой прослойкой.

Экспериментально исследованы и получены новые сравнительные результаты антифрикционных свойств пары трения капроноспеченный материал, пропитанный и не пропитанный смазкой при однонаправленном и циклическом возвратно-вращательном трении скольжении со скоростью до 0,04 м/с.

Теоретически обоснованы рациональные формы и оптимальные параметры полимерных прослоек для шарнирных узлов ТРП и тяг люлежного подвешивания (ТЛП). Показано, что применение таких прослоек позволяет упростить технологические процессы ремонта, увеличить срок службы и улучшить эксплуатационные характеристики шарнирных узлов тележек пассажирских вагонов.

Реализация работы и ее практическая ценность. Результаты выполненных исследований позволили научно обосновать и разработать рациональные конструктивные формы и оптимальные параметры полимерных прослоек, предназначенных для размещения в зоне передачи нагрузок и перемещений между металлическими деталями шарнирных узлов так, чтобы существенно уменьшить концентрацию контактных давлений и фрикционный износ. При этом важно то, что при внедрении разработанных прослоек в существующих шарнирах ТРП изменяется конструкция только оси, а в шарнирах ТЛП серийные детали остаются без изменений.

Практические рекомендации выполненных исследований сравнительно несложно внедряются на любом линейном предприятии по ремонту пассажирских вагонов, что подтвердили результаты внедрения предложенных мероприятий в пассажирских вагонных депо Харьков-Сортировочный и Лоботин Киевской железной дороги. Суммарный годовой экономический эффект от внедрения на этих предприятиях составил 30,4 тыс. руб. Предложенная модернизация существующих шарнирных узлов при ремонте ТРП и ТЛП одобрены и рекомендованы ВНИИЖТом и Главным управлением вагонного хозяйства МПС для внедрения на сети дорог.

НТБ
ДНУЖТ

Апробация. Основные положения диссертации докладывались и были одобрены: на Всесоюзной сетевой научно-технической конференции "Перспективы применения полимерных материалов в железнодорожной технике" (г.Воршиловград, 1976 г.); на Всесоюзном научно-техническом симпозиуме "Новые полимерные композиционные материалы в машиностроении" (г.Черкассы, 1978 г.); на совместном семинаре кафедр "Строительная механика", "Технология металлов", "Вагоны и вагонное хозяйство" ХИИТ"а (Харьков, 1978 г.); на ежегодных институтских научно-технических конференциях кафедр ХИИТ"а совместно с работниками Южной железной дороги (Харьков, 1973 ... 1982 г.г.).

Диссертационная работа в целом докладывалась, обсуждалась и получила положительную оценку на заседаниях кафедр "Вагоны и вагонное хозяйство" ХИИТ"а (1981 и 1982 г.г.), ДИИТа (1982 г) и научно-техническом совещании отделений автотормозного и вагонного хозяйства ВНИИЖТа (г.Москва, 1982 г).

Публикации. По теме диссертации опубликовано пять статей и получено авторское свидетельство на изобретение, направленное на снижение уровня концентрации контактных давлений и износа в шарнире ТЛП.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы и приложения. Текстовая часть работы (без рисунков, таблиц, списка литературы и приложения) изложена на 125 страницах машинописного текста. Работа содержит 37 рисунков, 7 таблиц, 4 приложения, список использованной литературы из 115 наименований работ отечественных и зарубежных авторов.

Основное содержание работы

В первой главе проанализированы особенности конструкции, условий работы и этапы совершенствования шарнирных узлов ТРП и ТЛП. Раскрыты причины и характерные особенности их износа и повреждаемости.

Выполненный анализ известных в науке и технике способов увеличения срока службы деталей шарнирных и подшипниковых узлов показал, что одним из наиболее эффективных путей решения этой проблемы применительно к конкретным условиям работы шарнирных узлов ТРП и ТЛП является разделение контактирующих металлических деталей шарнира полимерной прослойкой как твердой смазкой, позволяющей существенно уменьшить

НТБ
ДНУЖТ

износ.

Анализ литературных источников показал, что вопросы исследования, конструирования и использования таких прослоек в шарнирных узлах различных механизмов рассматриваются лишь в отдельных работах отечественных и зарубежных авторов. В практике отечественного машиностроения, в том числе и вагоностроения, имеются примеры как эффективного, так и неудачного применения полимерных прослоек в шарнирных узлах. Неудовлетворительные результаты получены в основном там, где подход к их применению не обосновывался, а производилось простое копирование металлических конструкций без учета всех основных особенностей поведения полимерных деталей под действием нагрузок в различных эксплуатационных условиях. Так, опыт применения капроновых втулок в ТРП показал, что наряду с положительными качествами имеются и недостатки. В настоящее время находят широкое применение втулки, изготовленные из спеченных материалов. Но и они имеют ряд недостатков, из-за которых в тяжелых условиях эксплуатации не обеспечивается достаточная надежность. В связи с этим все основные положительные и отрицательные свойства капроновых втулок и из спеченного материала в диссертации проанализированы с целью обоснования и выработки главных направлений исследования.

Установлено, что для разработки разделяющих полимерных прослоек в шарнирных узлах ТРП и ТЛП необходимо выполнить в первую очередь углубленные исследования способности слою воспринимать нагрузки, а также подобрать для них эффективные износостойкие материалы, которые обеспечили бы устойчивую работоспособность таких прослоек между плановыми видами ремонта вагонов и существенно увеличили бы срок службы основных деталей шарниров.

Во второй главе выполнены теоретические исследования нагрузочной способности цилиндрических полимерных прослоек.

Анализ методик, использующих решение контактной задачи И.Я.Шагера, а также методик В.Ф.Платонова, А.Н.Раевского и коллектива Ростовского госуниверситета (Ворович И.И., Александров В.И. и др.) показал, что они предложены в основном для подшипников скольжения, поэтому ограничены очень малыми величинами относительного радиального зазора (экс-

НТБ
ДНУЖТ

центриситета) и толщины слоя, кроме этого справедливы только для постоянной толщины прослойки. Отступления от этих ограничений вносят либо существенные погрешности в расчеты, либо расчетные уравнения теряют свой смысл.

В реферируемой работе предложена новая методика расчета, позволяющая получать аналитические значения нагрузки при любых реальных величинах эксцентриситета и толщины для трех разновидностей прослоек, расчетные схемы которых представлены на рис. 1.

При выводе расчетных уравнений были приняты следующие допущения: ось и стенка проушины являются абсолютно твердыми; касательные нагрузки в контакте отсутствуют и деформирование прослойки происходит в радиальном направлении; удельные давления по дуге контакта пропорциональны радиальным деформациям и прослойка испытывает одноосное сжатие, а вдоль образующей распределяется линейно.

Из расчетных схем видно, что нагружающая сила передается от оси радиусом z через прослойку на проушину радиусом R . Исходная толщина прослойки в тангенциальных направлениях симметрично увеличивается от середины к краям и зависит от текущей угловой координаты φ точек контакта, обеспечивая беззазорное прилегание деталей шарнирного узла с углом контакта $2\varphi_0$ при наличии эксцентриситета δ_H (рис. 1, а). В этом случае толщина прослойки при любом значении угловой координаты определяется по геометрическим соотношениям из треугольника BCD_1 , стороны которого можно выразить параметрами: $R; z+h(\varphi); \delta_H$. Из решения этого косугольного треугольника получено, что

$$[z+h(\varphi)]^2 = R^2 + \delta_H^2 - 2R\delta_H \cos \varphi, \quad (1)$$

откуда

$$h(\varphi) = \sqrt{R^2 + \delta_H^2 - 2R\delta_H \cos \varphi} - z. \quad (2)$$

Приложение силы P вызывает деформацию прослойки. Уравнению, определяющему ее толщину после деформации, получено из решения треугольника BCD_2

$$[z+u(\varphi)]^2 = R^2 + \delta^2 - 2R\delta \cos \varphi, \quad (3)$$

НТБ
ДНУЖТ

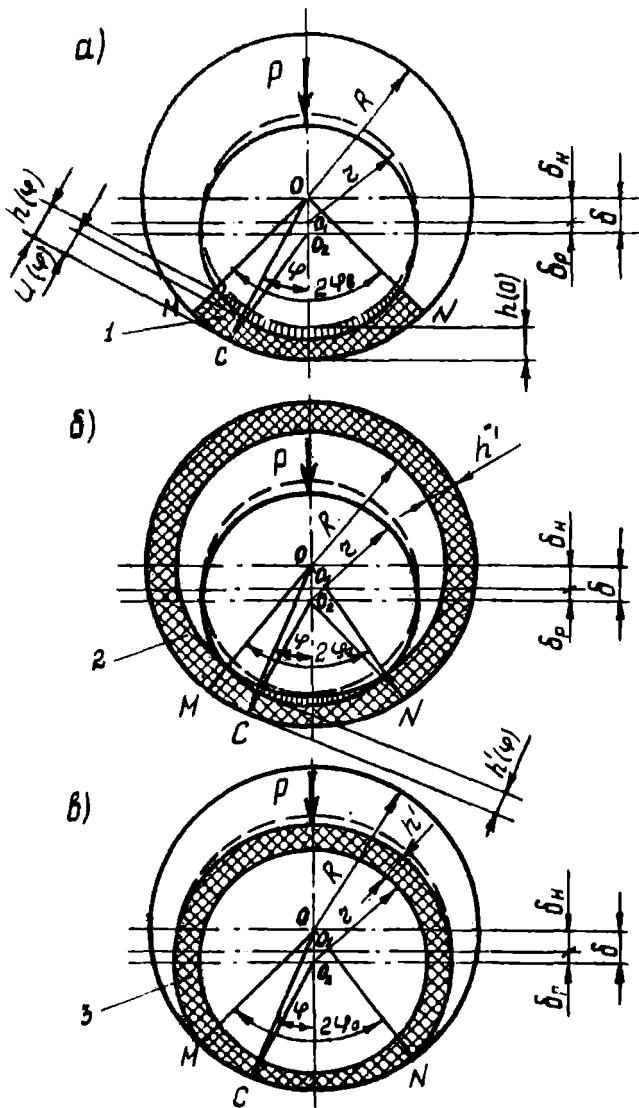


Рис. 1. Расчетные схемы исследуемых шарнирных узлов

- а) с эксцентричной прослойкой 1;
- б) с цилиндрической втулкой 2;
- в) с облицовочным слоем 3 на оси.

НТБ
ДНУЖТ

откуда

$$U(\varphi) = \sqrt{R^2 + \delta^2 + 2R\delta \cos \varphi} - z, \quad (4)$$

где δ - эксцентриситет шарнира после нагружения, равный $\delta_n + \delta_p$

Уравнения (2) и (4) позволяют определять деформацию прослойки в любой точке дуги контакта:

$$\Delta h(\varphi) = \sqrt{R^2 + \delta_n^2 - 2R\delta_n \cos \varphi} - \sqrt{R^2 + \delta^2 - 2R\delta \cos \varphi}. \quad (5)$$

Величина максимальной деформации δ_p определяется из условия не превышения допускаемых деформаций и удельного давления в самой напряженной зоне, характерной тем, что при $\varphi=0$ $p(\varphi) = p_{\max} = p_{\text{доп}}$ т.е.

$$\delta_p = \frac{h(0)p_{\text{доп}}}{E(t)}, \quad (6)$$

где $h(0)$ - толщина прослойки при $\varphi=0$;

$p_{\text{доп}}, E(t)$ - соответственно допускаемое удельное давление и модуль упругости материала прослойки во временной зависимости.

Таким образом величину удельного давления в зависимости от угловой координаты с использованием уравнений (2) и (5) можно определять по уравнению

$$p(\varphi) = - \frac{\sqrt{R^2 + \delta_n^2 - 2R\delta_n \cos \varphi} - \sqrt{R^2 + \delta^2 - 2R\delta \cos \varphi}}{\sqrt{R^2 + \delta_n^2 - 2R\delta_n \cos \varphi} - z} E(t). \quad (7)$$

Интегрирование удельного давления по площади контакта позволяет определить нагрузочную способность прослойки

$$P = \int_0^{\varphi_0} \int_{-\varphi_0}^{\varphi_0} p(\varphi) \cos \varphi d\varphi d\varphi. \quad (8)$$

Подынтегральную функцию этого уравнения невозможно выразить через элементарные функции, поэтому, воспользовавшись известными приближенными методами вычисления определенных интегралов, окончательно получим:

$$P = 2\mathcal{L} \Delta \ell \left[p(\varphi_1) \cos \varphi_1 + p(\varphi_2) \cos \varphi_2 + \dots + p(\varphi_n) \cos \varphi_n \right], \quad (9)$$

или

$$P = 2\mathcal{L} \Delta \ell \sum_{i=1}^n p(\varphi_i) \cos \varphi_i, \quad (10)$$

где $\mathcal{L}$ - длина контакта по образующей ;

$\Delta \ell$ - длина дуги контакта в частном интервале ;

n - число равных между собой частных интервалов.

Эта же методика позволила получить расчетные уравнения для концентричной прослойки в виде втулки (рис. I, б) или облицовочного слоя на оси (рис. I, в) в следующем виде:

для удельного давления

$$p'(\varphi) = \frac{(z+h)\sqrt{R^2+\delta^2-2R\delta\cos\varphi}}{h}, \quad (11)$$

для нагрузочной способности

$$P' = \int_{\varphi_0}^{\varphi_0} \int_{\sigma}^{\varphi_0} p'(\varphi) d\sigma d\varphi \quad \text{или} \quad P' = 2\Delta\ell \sum_{i=1}^n p'(\varphi_i) \cos \varphi_i \quad (12)$$

Основной отличительной особенностью по сравнению с (10) здесь является то, что область контакта, а значит и угол $2\varphi_0$ — переменная величина, зависящая от геометрических параметров и деформационно-механических характеристик прослойки.

Предложенная методика позволила получить уравнение для определения угла контакта в зависимости от конструктивных параметров шарнира и величины деформации прослойки под нагрузкой в следующем виде:

$$\varphi_0 = \arccos \frac{R^2 + (\delta_n + \delta_p)^2 - (z+h)^2}{2R(\delta_n + \delta_p)}. \quad (13)$$

Здесь δ_p определяется уравнением (6) при постоянном значении толщины h .

Уравнение (13) справедливо как для втулки, так и для облицовочного слоя на оси. Основной отличительной особенностью здесь является то, что для втулки дуга контакта имеет радиус z (рис. I, б), а для облицовочного слоя на оси — $(z+h)$ (рис. I, в).

Полученные расчетные зависимости и уравнения методики В.Ф. Платонова и коллектива РГУ были введены в специально разработанную программу для ЭЦМ. В программе применялись такие приемы в организации счета, которые позволили получить численные результаты, дающие возможность раскрыть следующие зависимости нагрузочной способности:

$$P = f(R) \quad \text{при} \quad (h, \delta_n, E, \rho_{дон}, \varphi_0) = \text{const}; \quad P = f(\delta_n) \quad \text{при} \\ (R, h, E, \rho_{дон}, \varphi_0) = \text{const}; \quad P = f(\rho_{дон}) \quad \text{при} \quad (R, \delta_n, h, E, \varphi_0) = \text{const}.$$

НТБ
ДНУЖТ

$$P = f(h) \text{ при } (R, \delta_n, \rho_{\text{дон}}, E, \varphi_\theta) = \text{const}; \quad P = f(E) \text{ при } (R, \delta_n, h, \rho_{\text{дон}}, \varphi_\theta) = \text{const};$$

Анализ полученных расчетных данных позволил сделать выводы о характере влияния основных конструктивных параметров шарниров и деформационно-прочностных характеристик материала прослойки на нагрузочную способность, а также о степени расхождения расчетных данных, полученных по различным методикам. Они же использовались для обоснования рациональных конструктивных форм и оптимальных параметров прослоек.

Для выявления характера распределения давлений по длине контакта использовался метод конечных элементов (МКЭ) и вычислительная программа МКЭ, применяющаяся для аналогичных задач кафедрой "Вагоны и вагонное хозяйство" ДИИГА, и реализуемая на ЭВМ ЕС 1050.

Методика определения контактных давлений построена на основе совместного применения МКЭ и обобщенного метода сил. Уравнения метода сил использовались в матричной форме

$$GX + \bar{G}_p = 0, \quad (14)$$

где G - матрица коэффициентов размером $(n \times n)$;
 $X, \bar{G}_p$ - векторы неизвестных сил и грузовых членов размером n ;
 n - число линий неизвестных;
 0 - нулевой вектор.

Для определения жесткости элементов использовались матрицы вида

$$k^e = \int_V B^T D B t dx dy, \quad (15)$$

где B - матрица перехода от перемещений к деформациям;
 D - матрица упругости;
 t - толщины элемента;
 T - знак транспонирования матрицы.

Затем составлялась система уравнений МКЭ

$$K\delta = F, \quad (16)$$

где K - квадратная ленточная матрица жесткости;
 δ - матрица искоемых перемещений;
 F - матрица единичных и внешних нагрузок.

НТБ
ДНУЖТ

Матрицы исходных перемещений формировались в следующем виде:

$$[S | \bar{S}_p] = S_i = \left[\begin{array}{cccc|c} \delta_{11} & \delta_{12} & \dots & \delta_{1n} & \Delta_{1p} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \dots & \delta_{2n} & \Delta_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_{n1} & \delta_{n2} & \dots & \delta_{nn} & \Delta_{np} \\ \delta_{11} & \delta_{12} & \dots & \delta_{1n} & \Delta_{1p} \end{array} \right], \quad (17)$$

где δ_{ij} и δ_{ip} — перемещения по направлению i от единичной силы j и внешней нагрузки P

Окончательные матрицы коэффициентов для уравнения (14)

$$G = S_i^{(e)} - S_i^{(o)}, \quad (18)$$

а вектор грузовых членов

$$\bar{G}_p = \bar{S}_p^{(e)} - \bar{S}_p^{(o)}, \quad (19)$$

где $S_i^{(e)}$ и $S_i^{(o)}$ — матрицы искомых радиальных перемещений от единичных сил соответственно для втулки и оси;

$\bar{S}_p^{(e)}$ и $\bar{S}_p^{(o)}$ — векторы искомых радиальных перемещений от внешних сил.

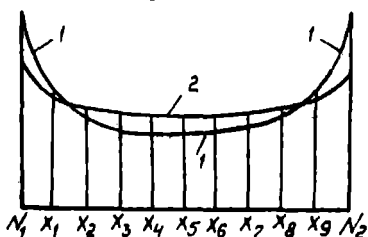


Рис. 2. Распределение давлений вдоль контакта втулки и оси: 1 — без прослойки; 2 — с прослойкой.

Результаты расчетов показали (рис. 2), что при непосредственном взаимодействии жесткой втулки и стальной оси наблюдается большая неравномерность распределения контактных давлений (кривая 1) и на кромках втулки концентрируются значительные давления. При введении в зону контакта упругой прослойки пониженной жесткости

($E = 2 \cdot 10^3$ МПа) контактные давления перераспределяются (кривая 2) и становятся более благоприятными для работы втулки и оси.

В третьей главе работы освещены основные результаты экспериментальных исследований.

Для проведения обширной экспериментальной проверки полученных теоретических зависимостей было разработано и изготовлено приспособление к гидравлическому прессу, позволяющее

выполнять загрузку фиксированной нагрузкой прослоек различных конструкций и с точностью до 0,001 см измерять величину максимальной деформации в соответствии с расчетными схемами, приведенными на рис. 1. Испытания проводились на образцах трех видов: эксцентричных прослойках, втулках и облицовочного слоя на осях. Количество образцов для испытаний определялось путем корреляционного анализа и проверки воспроизводимости результатов эксперимента по соответствию расчетного и табличного значений критерия Кохрена. Экспериментальная проверка адекватности теоретических зависимостей экспериментом производилась по критерию согласия Фишера. Полученные таким образом данные полностью подтвердили гипотезу исследования и показали, что предложенная методика позволяет получать достаточно точные результаты в тех диапазонах исходных данных, при которых существующие методики расчета дают большие погрешности (например, при увеличении толщины слоя или эксцентриситета), или вообще не могут быть применены (в случае переменной эксцентричной толщины слоя).

Для подбора эффективных пар трения в шарнирные узлы ТРП и ТЛП при применении разделяющей прослойки были проведены испытания на износостойкость. Выполненный анализ различных способов таких испытаний в сопоставлении с реальными условиями эксплуатации исследуемых шарниров показал необходимость проведения комплексного исследования влияния различных факторов на износостойкость. В составленной программе экспериментального исследования было предусмотрено проведение испытаний в три этапа:

а) на машине трения типа МИ-1М при однонаправленном трении скольжения с пониженной скоростью до 0,04 м/с;

б) на специальной установке при возвратно-вращательном (циклическом) трении скольжения;

в) стендовые испытания в условиях максимально приближенных к эксплуатационным.

Испытания на машине МИ-1М показали, что износ спеченного материала (ИГР1, 2Д2, 5 К 0,4-13) ТУ-32, ЦВ 225-74 при трении по стали 35 нарастает несколько медленнее, чем термообработанной стали Ст.5 НВ130-160. Однако износостойкость пары трения спеченный материал - сталь 35 нельзя считать хорошей в сравнении с высокой износостойкостью пар трения спеченный материал - капрон и сталь - капрон. Особенно хорошие анти-

НТБ
ДНУЖТ

фрикционные свойства получены при испытаниях пары трения спеченный материал – капрон: коэффициент трения в среднем равен 0,09 при наличии смазки в порах материала и 0,15 – при отсутствии смазки, а износ ничтожно мал.

Результаты испытаний при возвратно-вращательном трении показали сходство качественных характеристик износо – стойкости, полученных при однонаправленном и возвратно – вращательном трении. Количественный износ в условиях циклического трения в 1,5–2 раза больше при одном и том же пути трения. Причем, в этом случае менее износостойкие пары трения показали большую степень нарастания износа (почти в 2 раза), а более износостойкие – меньшее увеличение износа (около 1,5 раза).

Для проведения испытаний деталей шарнирных узлов в условиях, близких к эксплуатационным, был разработан и изготовлен специальный стенд, позволяющий имитировать: силовые нагружения, относительные перемещения, возмещение вибрации, абразивную среду и интенсивный воздушный поток. На стенде проведены сравнительные испытания на износостойкость спеченных и капроновых втулок при контактировании со стальными осями и в паре с облицовочным капроновым слоем толщиной 2 мм, нанесенным на стальную ось.

Результаты испытаний позволили установить, что износ спеченных втулок при контактировании с облицовочным полимерным слоем в 4–6 раз меньше по сравнению с износом при работе со стальной поверхностью оси. При этом полимерный облицовочный слой на осях показал устойчивую работоспособность.

Для сравнительной оценки работоспособности прослоек (вкладышей) в шарнирах ТЛП были проведены испытания на специально созданной установке, позволяющей моделировать работу этих шарниров. Результаты испытаний позволили установить, что эксцентричные по толщине вкладыши в отличие от концентричных устойчиво удержались в рабочей зоне шарнира без дополнительных закреплений и показали повышенную работоспособность (в 3–5 раз).

По результатам проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработаны рациональные способы ремонта шарнирных узлов ТРП и ТЛП.

Для ТРП предложено (см.рис.3) облицовывать оси I слоем полимера 2 толщиной 1,5–2 мм и использовать спеченные втулки 3 в рычагах 4.

НТБ
ДНУЖТ

В этом случае устраняются все основные недостатки спеченных втулок, проявляющиеся при контактировании со стальными осями в существующей конструкции.

В шарнир ТЛП предложено устанавливать эксцентричный вкладыш (рис. 4). Он имеет минимальную толщину в средней части с постепенным увеличением в тангенциальных направлениях. Такая конструкция обладает рядом положительных свойств: ликвидируется концентрация контактных давлений в шарнире; зона трения закрыта от попадания абразивных частиц; предохраняются от износа основные несущие детали шарнира; обеспечивается самозакрепление вкладыша в рабочей зоне без каких-либо изменений основных его деталей; вкладыш дешевый и не сложный в изготовлении; монтаж и замена таких вкладышей представляет элементарную операцию при ремонте тележки.

На такое шарнирное соединение автором работы получено авторское свидетельство на изобретение.

В четвертой главе приведены результаты эксплуатационных испытаний модернизированных при ремонте и существующих шарнирных узлов. За период работы контрольных вагонов изучался характер изнашиваемости и повреждаемости деталей шарнирных узлов. Изложена методика сбора и обработки статистических данных, которые использовались для определения параметров вероятности безотказной работы.

Установлено, что спеченные втулки в зоне контактного взаимодействия со стальными осями получают быстро нарастающую в зависимости от пробега вагона одностороннюю выработку ($0,038-0,047$ мм/ 10^4 км пробега вагона), кроме того, наблюдались случаи усталостного хрупкого разрушения таких втулок (около 9% за год эксплуатации). Такие же втулки при контактировании с облицовочным полимерным слоем показали ничтожно малый износ ($0,007-0,01$ мм/ 10^4 км) и хрупкого разрушения втулок не наблюдалось. Облицовочный слой на осях в сравнении с капроновыми втулками при работе в ТРП показал более устойчивую работу: не было случаев его ослабления на цилиндрической поверхности оси; зафиксировано значительно меньшее количество случаев хрупкого разрушения полимерного слоя; получены меньшие величины фрикционного износа и пластического деформирования.

В эксцентричных полимерных вкладышах, установленных в шарниры ТЛП, наблюдалось постепенное уменьшение толщины

НТБ
ДНУЖТ

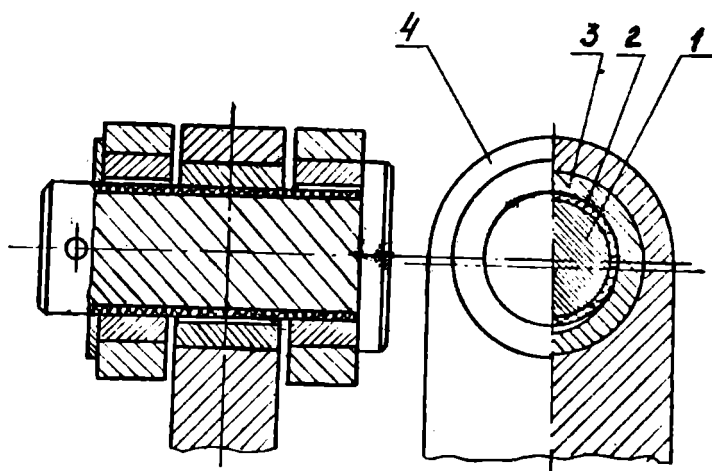


Рис. 3. Предлагаемая модернизация шарнира ТРП
1- стальная ось; 2- полимерный облицовочный
слой оси; 3- спеченная втулка; 4- рычаги.

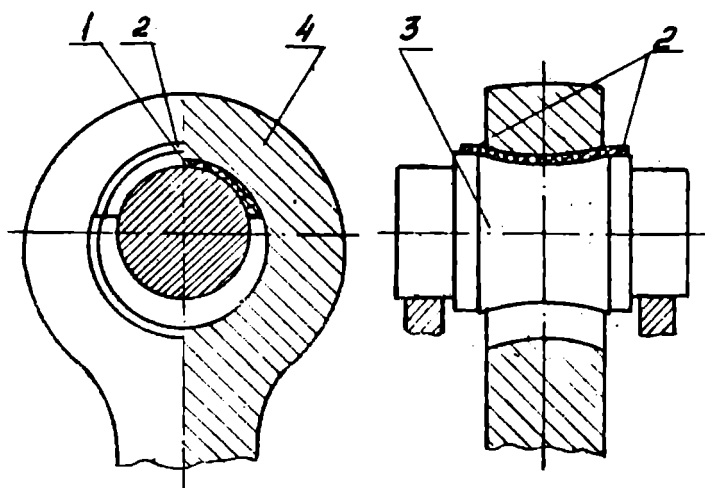


Рис. 4. Шарнир ТЛП с эксцентричным вкладышем
1- вкладыш; 2- буртики вкладыша; 3- валик; 4- головка
подвески.

НТБ
ДНУЖТ

стенки из-за фрикционного износа и пластического деформирования (в среднем $0,14 \text{ мм}/10^4 \text{ км}$ пробега вагона). При этом стальные детали шарнира ТЛП после года эксплуатации (пробег 250 тыс. км) практически не имели износа.

Количественные параметры работоспособности деталей шарниров определялись общей вероятностью безотказной работы

$$P(t) = P_s(t) \cdot P_n(t), \quad (20)$$

где $P_s(t)$ и $P_n(t)$ — вероятности отсутствия внезапных и соответственно износных отказов за определенный период эксплуатации детали.

Полученные расчетные данные показали, что срок службы спеченных втулок, работающих в контакте с полимерным облицовочным слоем на оси в 4–6 раз больше по сравнению с такими же втулками, но работающими в контакте с необлицованными стальными осями. Срок службы облицовочного капронового слоя, нанесенного на ось, в 1,5–1,7 раза больше, чем капроновых втулок. Капроновые эксцентричные вкладыши в шарнирах ТЛП с вероятностью 0,71 обеспечили работоспособность в течение года эксплуатации при пробеге пассажирских вагонов 250 тыс. км.

В пятой главе изложены особенности разработанной оснастки и технологии облицовки полимерным слоем осей для ТРП и изготовления эксцентричных по толщине вкладышей для ТЛП. Рассмотрены особенности изменения технологии ремонта ТРП и ТЛП при модернизировании и ремонте шарнирных узлов. Приведены расчеты экономического эффекта от применения предлагаемых конструкций.

В связи с тем, что срок службы спеченных втулок увеличился более чем в 4 раза, то при депоовском ремонте пассажирских вагонов отпадает необходимость полного демонтажа ТРП. В этом случае ремонт ТРП можно существенно упростить и свести только к замене тех осей, которые имеют предельный износ или повреждения облицовочного слоя.

Существующий технологический процесс ремонта ТЛП значительно упрощается и сводится к нетрудоемкой работе — замене изношенных вкладышей на новые при депоовских ремонтах вагонов.

Экономический эффект от увеличения срока службы шарнирных узлов ТРП и ТЛП определяется путем сопоставления годовых приведенных затрат по сравниваемым вариантам в соответствии с действующими "Методическими указаниями по определению

НТБ
ДНУЖТ

экономической эффективности новой техники, изобретений и рационализаторских предложений на железнодорожном транспорте". Расчеты показали, что экономический эффект от внедрения предлагаемых конструкций на каждые 1000 пассажирских вагонов составляет 15, 96 тыс. руб. в год. При полном внедрении разработок на сети дорог он превысит 1 млн. руб. в год.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. В результате выполненного анализа установлено, что контактирующие детали шарнирных узлов тормозных рычажных передач и тяг лопатного подвешивания имеют недостаточный срок службы, а прогрессивные износостойкие материалы, такие как спеченные материалы и полимеры, применяющиеся в них, используются малоэффективно.

2. Показано, что рациональным способом увеличения срока службы большого количества шарниров, применяющихся на эксплуатируемом подвижном составе, является разделение контактирующих металлических и спеченных деталей специально разработанными полимерными прослойками при условии, что основные несущие детали шарнирных узлов останутся без особых конструктивных изменений.

3. Установлено, что основными параметрами, обуславливающими устойчивую работоспособность полимерных прослоек в шарнирных узлах, является их нагрузочная способность, характер распределения контактных давлений и износостойкость.

4. Выполнен сравнительный анализ существующих методик аналитических расчетов нагрузочной способности полимерных деталей шарнирных и подшипниковых узлов. При этом установлено, что в известных методиках расчета использованы допущения, свойственные подшипниковым узлам с относительно малым радиальным зазором, поэтому их расчетные выражения не позволяют определять нагрузочную способность сложенных по конструкции цилиндрических полимерных прослоек при различных параметрах шарнирных узлов.

5. Разработана новая методика расчета нагрузочной способности полимерных прослоек для цилиндрических шарнирных узлов. Предложенная методика отличается большей точностью, универсальностью и позволяет получать расчетные данные как для обычных шарнирных узлов, так и для сложенных по конструкции цилиндрических полимерных прослоек при достаточно широком диапазоне параметров.

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІОТЕКА
ДОНЕЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

ДОНЕЦЬКИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

66899

изменении конструктивных параметров шарнира.

6. С использованием вероятностно-статистических методов подтверждена адекватность полученных теоретических зависимостей по определению нагрузочной способности экспериментальными данными.

7. Составлен алгоритм и программа для ЭЦВМ, с помощью которой получены расчетные данные нагрузочной способности при широком варьировании основными конструктивными формами и параметрами деталей шарнирных узлов, а также прочностными характеристиками материалов прослоек.

8. В результате выполненных расчетов методом конечных элементов установлено, что при непосредственном взаимодействии жесткой втулки и стальной оси в шарнире тормозной рычажной передачи контактные давления вдоль втулки распределяются неравномерно и создаются большие концентрации на кромках. При разделении этих деталей прослойкой пониженной жесткости давления на кромках втулки значительно снижаются и вдоль контакта распределяются более равномерно.

9. Использование полученных в работе результатов теоретических исследований позволило на стадии разработки и проектирования прослоек для шарнирных узлов обосновать рациональные конструктивные формы и установить оптимальные параметры деталей, воспринимающих нагрузки, и прогнозировать их работоспособность в эксплуатации.

10. Проведены экспериментальные исследования конструкций и материалов для шарнирных узлов, позволившие уточнить нагрузочные и износные характеристики контактирующих деталей. Установлено, что срок службы спеченных втулок увеличивается в 4-6 раз, а контактирующего с ними полимерного облицовочного слоя на стальной оси в 1,5-1,7 раза. Эксцентричные по толщине вкладыши устойчиво удерживаются в рабочей зоне шарнира тяги люлечной подвески за счет увеличивающейся в тангенциальных направлениях толщины их стенок и предохраняют от износа стальные детали.

11. Выполненные теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать рациональные способы ремонта шарниров тормозных рычажных передач и тяг люлечной подвески, на что получено авторское свидетельство на изобретение.

12. Разработаны технология и оснастка для серийного производства предложенных конструкций на существующем техно-

НТБ
ДНУЖТ

логическом оборудовании пассажирских вагонных депо Харьков-Сортировочный и Люботин Ордена Ленина железной дороги, где налажено их массовое внедрение.

Годовой экономический эффект от внедрения на этих предприятиях составил 30,4 тыс.руб. за счет сокращения расходов энергетических; материальных и трудовых ресурсов. При полном внедрении разработок на сети дорог он превысит 1 млн. руб. в год.

13. Разработанные методики расчета и способы ремонта шарнирных узлов могут применяться и дать экономический эффект в других отраслях техники (автомобилях, погрузочно-разгрузочных механизмах, сельскохозяйственных машинах и пр.).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. Нечволод С.И. К исследованию возможностей применения антифрикционных полимерных материалов в цилиндрических шарнирных узлах тележек вагонов. - В кн.: Перспективы применения полимерных материалов в железнодорожной технике. Тез. докл. Всесоюзной науч.-техн. конф. ЦП НТО жел.дор.трансп., Ворошиловград, 1976, с.61-63.

2. Шевченко П.В., Нечволод С.И. Пластмассы в узлах трения вагонов. Информ. листок Л77-0425, УкрНИИТИ Госплана УССР, Киев, 1977, с.4.

3. Нечволод С.И. О путях повышения эффективного использования новых полимерных материалов в машиностроении. - В кн.: Новые полимерные композиционные материалы в машиностроении. Тез. докл. Всесоюзного науч.-техн.симпоз. ЦП НТО МАШИРОМ. - М.: 1978, с.153-156.

4. Шевченко П.В., Нечволод С.И. К исследованию повышения долговечности шарнирных соединений путевых и транспортных машин. В кн.: Повышение надежности и износостойкости путевых и строительных машин технологическими и конструктивными методами. : Мехвуз Сб.науч.тр., вып.142.-Ростов-на-Дону: РИИЛТ, 1978, с.49-55.

5. Шевченко П.В., Нечволод С.И. Исследование нагрузочной способности полимерных вкладышей для шарниров ленточного подвешивания тележек. - В кн.: Вопросы улучшения технического

НТБ
ДНУЖТ

содержания вагонов и совершенствования ходовых частей.:
Мажвуз.сб.науч.тр., вып. 212/6.- Днепропетровск: ДИИП, 1980,
с. 79-83.

6. А.С. 842012 (СССР) Подвеска шарнирных соединений
Харьк. ин-т инж.жел.дор.тр-та им.С.М.Кирова;авт. изобрет.
С.И. Нечволод. - Заявл.04.01.78 №2569674/25-27; Оpubл. в
Б.И., 1981, №24.

(Мерк)

НТБ
ДНУЖТ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

УДК 629.4.027.2: 629.45

ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ И РАЦИОНАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ
РЕМОНТА ШАРНИРНЫХ УЗЛОВ ТЕЛЕЖЕК
ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

НЕЧВОЛОД Сергей Иванович

Ответственный за выпуск
с. н. с. БОРЗИЛОВ Иван Дмитриевич

Корректор Куренкова Н. П.

БЦ № 15607 от 10/II-1993 г. Подписано к печати 10/II-83 г.
Формат бумаги 60×84¹/₁₆. Бумага писчая.
Печать офсетная. Усл. -печ. лист. 1,5. Уч.-изд. лист. 1,75.
Тираж 100, Зак. 154р. Бесплатно.

Издание ДИИТа. 320629, ГСП, г. Днепронегровск-10,
ул. Акад. В. А. Лазаряна, 2.
Тип. ХИИТа, 316050, г. Харьков-50, пл. Фейербаха, 7.