

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIV TA‘LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI
ANDIJON MASHINASOZLIK INSTITUTI**

**MASHINASOZLIK
ILMIY-TEXNIKA JURNALI**

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И ИННОВАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
АНДИЖАНСКИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ**

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
МАШИНОСТРОЕНИЕ**

**MINISTRY OF HIGHER EDUCATION, SCIENCE AND INNOVATIONS REPUBLIC
OF UZBEKISTAN
ANDIJAN MACHINE-BUILDING INSTITUTE**

**SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL
MACHINE BUILDING**

O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar mahkamasi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasi (OAK) Rayosatining 2021-yil 30-dekabrda 310/10-son qarori bilan Andijon mashinasozlik institutining “Maashinasozlik” ilmiy-texnika jurnali “TEXNIKA” va “IQTISODIYOT” fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro‘yhatiga kiritilgan.

Ushbu jurnalda chop etilgan materiallar tahririyatning yozma ruxsatisiz to‘liq yoki qisman chop etilishi mumkin emas. Tahririyatning fikri mualliflar fikri bilan har doim mos tushmasligi mumkin. Ilmiy-texnika jurnalida yozilgan materiallarning haqqoniyligi uchun maqolaning mualliflari mas’uldirlar.

Transport	
Статические характеристики оптоэлектронных дискретных преобразователей перемещений с полыми и волоконными световодами <i>Холматов У.С.</i>	128
Use of the expert assessment method in technological equipment of automobile enterprises <i>Islomov Sh.E.</i>	136
Метод восстановления поверхности катания цельнокатных колес пассажирских вагонов <i>Зайнитдинов О.И., Абдуллаев Б.А., Галимова Ф.С., Гайинов А.Б.</i>	144
Karter moyining tarkibiy tahlili yordamida avtomobil dvigatellarini diagnostikalash usuli tahlili <i>Umirov I.I.</i>	155
Yuk vagon g'ildiraklariga kuch ta'sir qilganda, diskdan obodga o'tish qismida hosil bo'ladigan kuchlanishlarni solidworks dasturida aniqlash <i>Шоқучқоров Қ.С., Абдуллаев Б.А., Гайинов А.Б., Джаббаров Ш.Б., Хикматов Ф.Ф.</i>	161
Основные тенденции цифровизации транспортно-логистических провайдеров <i>Илхомов С.С.</i>	166
Avtomobil old oynasini avtomatik tozalash qurilmalarining tahlili <i>Saydaliyev I.N.</i>	173
Оценка устойчивости грузового вагона при движении на кривых участках пути <i>Намозов С.Б., Рахматов Х.А., Джаббаров Ш.Б.</i>	179
Iqtisodiyot	
Развитие системы менеджмента качества предприятий лёгкой промышленности и совершенствование методов её оценки в условиях цифровизации <i>Сафина Н.Т.</i>	186
Зарубежный опыт цифровой трансформации экономики <i>Сотволдиев А.А.</i>	200
“O‘zbekiston – 2030” strategiyasi: sanoat mahsulotlari eksportining istiqbollari <i>Pyosov A.A.</i>	209
Agroklastlar faoliyatini rivojlantirishda mehnat resurslaridan samarali foydalanish <i>Qobulova M.Y.</i>	216
Цифровая экономика в эпоху глобализации <i>Халилов Н.Х.</i>	224
Issiq iqlimli mintaqalarda foydalanishi mo'ljallangan avtomobillarini yonaki to'qnashuvda himoyalash tizimi sinov usullari <i>Qayumov B.A.</i>	232

Зайнитдинов Олмос Ирикович

Ташкентский государственный транспортный университет, к.т.н., доцент кафедры
«Вагоны и вагонное хозяйство»;
100001, г. Ташкент, ул. Темирийўлчилар, д. 1, кафедра «Вагоны и вагонное
хозяйство» +998977740150;
E-mail: zaynitdinovo@mail.ru

Абдуллаев Бахром Актамович

Ташкентский государственный транспортный университет, к.т.н., доцент кафедры
«Вагоны и вагонное хозяйство»;
100001, г. Ташкент, ул. Темирийўлчилар, д. 1, кафедра
«Вагоны и вагонное хозяйство» +998903721480;
E-mail: baxrom86@yandex.ru

Галимова Фарида Салаватовна

Ташкентский государственный транспортный университет, базовый докторант кафедры
«Вагоны и вагонное хозяйство»;
100001, г. Ташкент, ул. Темирийўлчилар, д. 1, кафедра «Вагоны и вагонное
хозяйство» +998903171289;
E-mail: farida.galimova.2020@inbox.ru

Гайипов Азиз Бахромович

Ташкентский государственный транспортный университет, к.т.н., доцент кафедры
«Вагоны и вагонное хозяйство»;
100001, г. Ташкент, ул. Темирийўлчилар, д. 1, кафедра «Вагоны и вагонное
хозяйство» +998908072589;
E-mail: AzizG89@yandex.ru

**МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ ЦЕЛЬНОКАТНЫХ
КОЛЕС ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ**

**YO‘LOVCHI VAGONLARNING BUTUN YUMALATILGAN G‘ILDIRAKNING
YUMALASH YUZASINI QAYTA TIKLASH USULI**

**THE METHOD OF RESTORING THE TIDING SURFACE OF SOLID ROLL
WHEELS OF PASSENGER CARRIES**

Аннотация

Статья посвящена продлению срока службы железнодорожных цельнокатанных колес пассажирских вагонов с применением полиуретановых покрытий на поверхности катания колеса. В статье проводится анализ существующих дефектов на поверхности катания цельнокатанных колес. Одним из опасных дефектов является глубокий откол обода колеса. Согласно предлагаемой методике, цельнокатаное колесо, имеющее на поверхности катания глубокий откол, обтачивается до нужных размеров, затем колесо помещается в специальную гипсовую форму для заливки жидкого полиуретана на обточенную поверхность катания. Проведены ряд теоретические расчеты с помощью

инженерных программ SolidWorks, для определения прочностных характеристик полиуретановых колец. На основании проведенных расчётов и анализов можно сказать, что полиуретановое покрытия (полиуретановые кольца) на поверхности катания колеса могут работать при определённых условиях эксплуатации.

Annotasiya

Maqola g'ildirakning dumalash yuzasini poliuretan qoplamalaridan foydalangan holda yo'lovchi vagonlarning temir yo'l qattiq g'ildiraklarining xizmat muddatini uzaytirishga bag'ishlangan. Maqolada g'ildiraklarining dumalash yuzalarida mavjud nuqsonlar tahlil qilingan. Xavfli nuqsonlardan biri g'ildirak dumalash yuzasida paydo bo'ladigan chuqur parchalanishidir. Taklif etilayotgan usulga ko'ra, g'ildirak dumalash yuzasidagi chuqur parchalangan yuzasini kerakli o'lchamlarga qadar yo'nib, so'ngra g'ildirak gips qolipiga joylashtirib poliuretan quyiladi. Poliuretan halqalarining mustahkamlik xususiyatlarini aniqlash uchun SolidWorks muhandislik dasturlari yordamida bir qator nazariy hisob-kitoblar amalga oshirildi. O'tkazilgan hisob-kitoblar va tahlillarga asoslanib, g'ildirakning dumalash yuzasida poliuretan qoplamasi (poliuretan halqalari) ma'lum ish sharoitida ishlashi mumkinligini nazariy isbotlandi.

Annotation

The article is devoted to extending the service life of railway solid-rolled wheels of passenger cars using polyurethane coatings on the rolling surface of the wheel. The article analyzes existing defects on the tread surface of solid-rolled wheels. One of the dangerous defects is a deep chipping of the wheel rim. According to the proposed methodology, a solid-rolled wheel with a deep chip on the tread surface is ground to the required size, then the wheel is placed in a special plaster mold for pouring liquid polyurethane onto the ground tread surface. A series of theoretical calculations were carried out using SolidWorks engineering programs to determine the strength characteristics of polyurethane rings. Based on the calculations and analyzes carried out, it can be said that the polyurethane coating (polyurethane rings) on the tread surface of the wheel can work under certain operating conditions.

Ключевые слова: железнодорожное колесо, откол, обточка, полиуретановая смола, гипсовая форма, полиуретановое кольцо, механические свойства, расчет на прочность, износ, высокопрочные армирующие волокна, продление срока службы колеса.

Kalit so'zlar: temir yo'l g'ildiragi, parchalanish, yo'nish, poliuretan qoplamasi, gips qolipi, poliuretan halqasi, mexanik xususiyatlar, mustahkamlikga hisoblash, yemirilish, yuqori mustahkamlikga ega bo'lgan aralashuvchi tolalar, g'ildirakning xizmat qilish muddatini uzaytirish.

Key words: railway wheel, spalling, turning, polyurethane resin, gypsum mold, polyurethane ring, mechanical properties, strength calculation, wear, high-strength reinforcing fibers, extending the service life of the wheel.

При взаимодействии колес с рельсом происходит необратимый процесс изнашивания поверхностей, как колес, так и рельсов. Состояние этих поверхностей в значительной степени оказывает влияние на безопасность движения подвижного состава и эффективность эксплуатации вагонов в целом. Колесные дефекты такие как

откол наружной грани обода колеса относится к местным секторным разрушениям в виде поверхностного откола металла у наружной грани в районе фаски обода колеса, которое характеризуется значительной глубиной и протяженностью вдоль поверхности катания, достигающей иногда длиной до 200 мм (рис. 1), и более. [1]. Откол обода колеса возникает в результате усталостных процессов: от действия нормальных и касательных сил путем развития трещин, образующихся на глубине 8-10 мм при наличии местного концентратора напряжений в виде раковины, неметаллического включения и других дефектов, представленных на рисунке 2. С помощью кронциркуля и линейки можно измерить ширину обода колеса и ширину оставшейся части обода колеса в месте откола. Ширина обода от откола до гребня колеса должна составлять не менее 120 мм и не более 135 мм [2].



Рисунок 1 – Общие виды отколов на обода колеса длиной более 120 мм и глубиной от 10 до 25 мм.

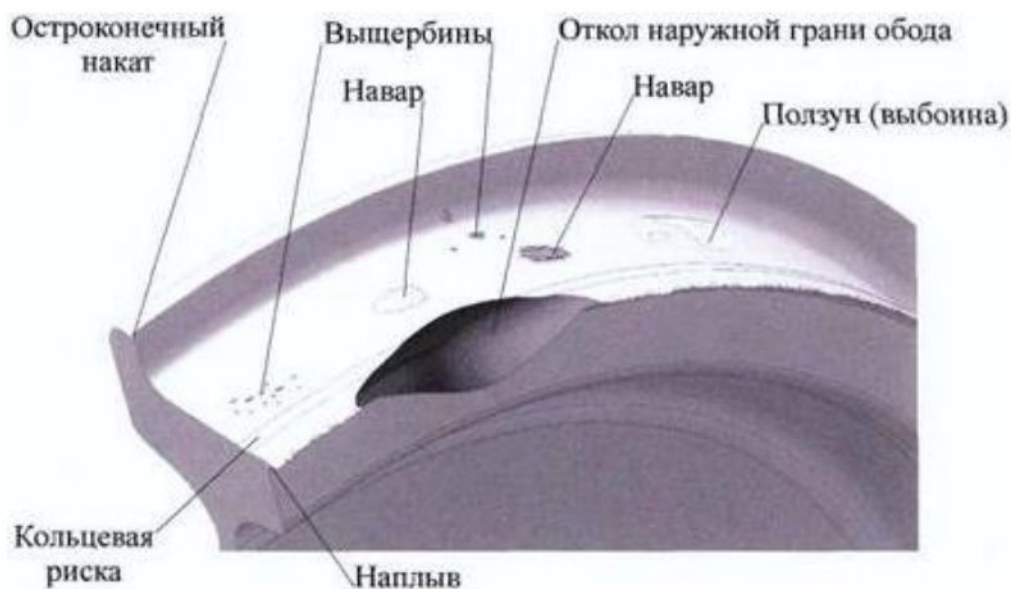


Рисунок 2 – Различные виды дефектов поверхности катания колеса.

Отколы на поверхности обода колеса, характеризуются двумя видами разрушений: вязкое и хрупкое. Эти виды разрушений металла имеют своеобразные последствия, связанные совокупностью различных поверхностных и внутренних дефектов превращающихся под действием высоких переменных напряжений в усталостные трещины. Внутренние дефекты металла колесного диска образуются

ввиду неоднородности составляющих химических элементов, а также значительным образом влияет технология изготовления колесных дисков на производстве.

Ученными и инженерами были проведены эксперименты и разработаны различные конструктивные решения, касательно улучшения динамических характеристик подвижного состава (смягчение вертикальных и боковых нагрузок, действующих от колесных пар на рельсы и обратно), снижения шума и вибрации, которые благоприятно влияют на срок службы колесных пар вагонов (RU2121928C1, CN212332273U, US10112437B2, CN104385842A, GB597284A, JPS6080905A, US1985144A, US6488324B1 [3-10] и др.).

На сегодняшний день повышение ресурса и продление срока службы железнодорожных колес при взаимодействии подвижного состава и рельса является актуальной задачей для железных дорог всего мира.

В связи с этим, разработка, а также совершенствование существующих комплексных методов, технологий и технологического оборудования, применяемых для увеличения ресурса колесных пар подвижного состава, направленных на повышение эффективности эксплуатации железнодорожного транспорта, является стратегически важной научно-технической задачей железнодорожной отрасли.

Разработка новых технических решений, связанных с продлением срока службы, эксплуатируемых колес вагонов с различными дефектами является невыполнимой ввиду отсутствия в стране первичного производства черного металла и производства колесных дисков и осей, что приводит к увеличению закупки колесных пар вагонов год за годом. Для обеспечения непрерывной работы пассажирских вагонов, железнодорожные компании вынуждены закупать колесные пары у соседних стран [11, 12]. В связи с этим, было принято решение исследовать возможность установки полиуретанового кольца на поверхность катания железнодорожного колеса соответственно после обточки до нужных размеров, что может способствовать продлению его срока службы. Данный метод может оправдать себя, за счет небольшой стоимости и доступности расходного материала в виде жидкого полиуретана.

Сущность разработанной методики представлена на рисунке 3, где приведены схемы обточки посадочной выемки на ободе цельнокатаного колеса (рис. 3а) до требуемых размеров и формирования в ней кольца из высокопрочного полиуретана (ПУ).

Важно отметить, что требуемым параметром является то, что для обточки выемки на поверхности катания рабочего колеса (рис. 3б) толщина обода не должна быть меньше 30 мм.

Обточка выемки обода колеса осуществляется до глубины 8-10 мм, а затем поверхность катания колеса обезжиривается и начинается процесс заливки жидкого ПУ. Двухкомпонентный высокопрочный ПУ (рис. 3б) заливается следующим образом: колесо 1 устанавливается на нижнюю часть гипсовой формы 2 (рис. 4), и наматывается на выемке высокопрочные волокна (рис. 3в) с диаметром не более 2,5 мм, для армирования ПУ. Затем, устанавливается резиновый уплотнитель 3, и закрывается верхняя крышка формы 4, имеющая две горловины 5 для заливки жидкого ПУ 6.

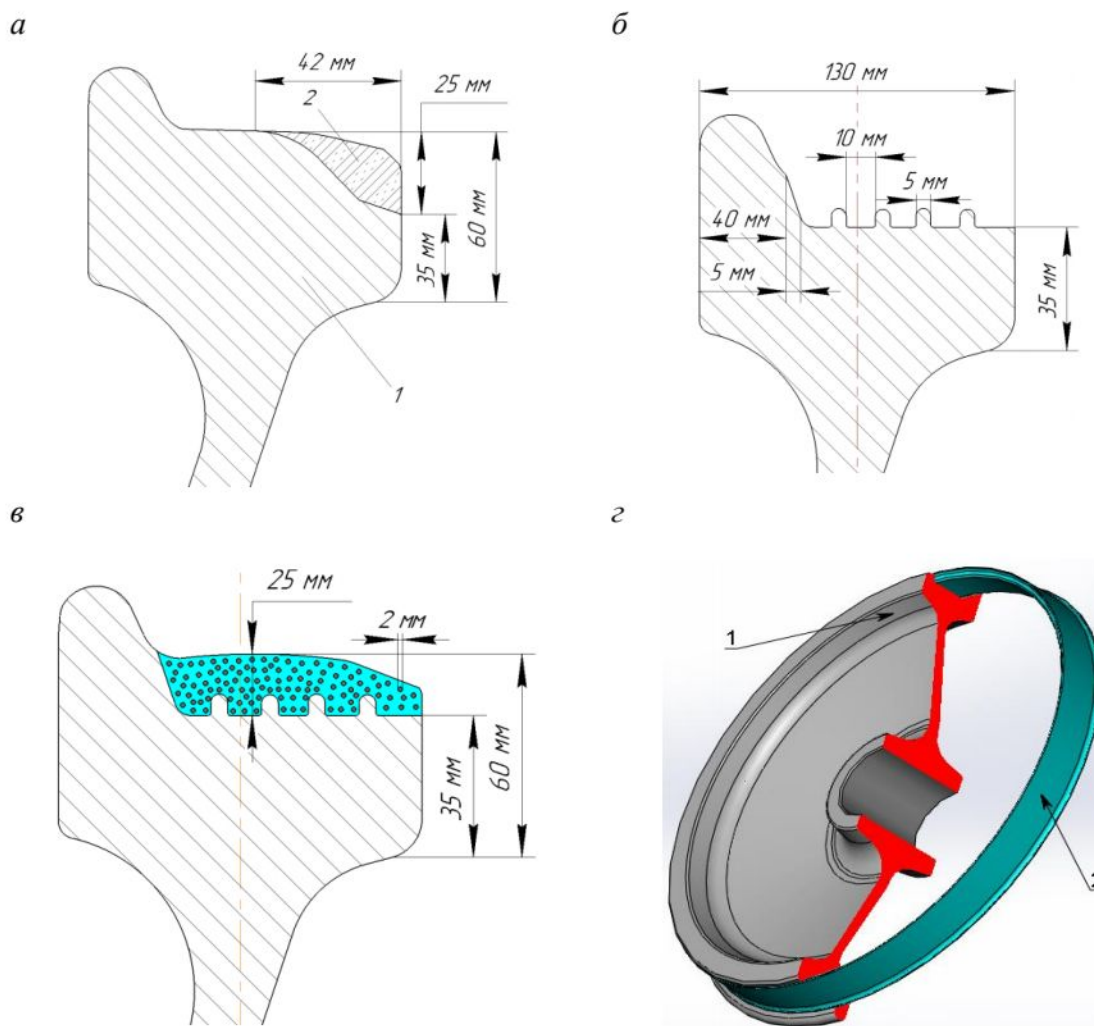


Рисунок 3 – Схема обточки выемки на ободе колеса и формирования кольца из ПУ:
а – обточка посадочной выемки на поверхности катания колеса до требуемых размеров;
б – формирование ПУ слоя в посадочной выемке: 1 – обод цельнокатаного колеса;
в – формирование ПУ слоя в посадочной выемке: 1 – обод цельнокатаного колеса;
г – армирующие высокопрочные волокна.

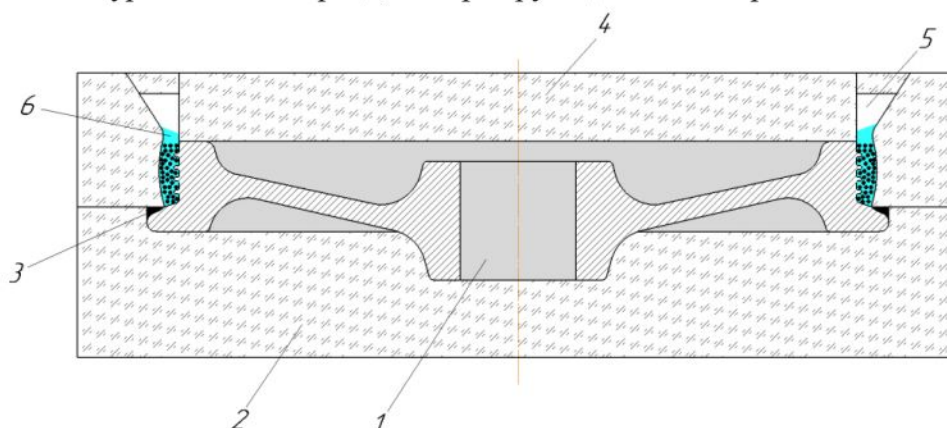


Рисунок 4 – Схема заливки жидкого ПУ на поверхность катания колеса:
1 – цельнокатаное колесо; 2 – нижняя часть формы; 3 – резиновый уплотнитель;
4 – верхняя часть формы; 5 – горловины для заливки ПУ;
6 – жидкий ПУ.

После полного затвердевания ПУ, образуется железнодорожное цельнокатаное колесо с высокопрочным полиуретановым кольцом (рис. 3з), которые выступают в качестве жертвенного элемента колеса, воспринимающего все статические и динамические нагрузки во время эксплуатации вагона.

Использование высокопрочного полиуретанового кольца в качестве жертвенного элемента колеса, обусловлено широким диапазоном физико-механических свойств (таб. 1) ПУ изделий, которое при определенном неравномерном износе, можно обточить с помощью колесотокарного станка по аналогичной стальным колесам технологии.

Таблица 1. Физико-механические свойства известных марок антифрикционных композиционных материалов.

Характеристики	Показатели композиционных материалов					
	Адипрен 100/167/300	СКУ-7Л СКУ-ПФЛ 74 СКУ-ПФЛ- 100М	НИЦ ПУ-5	ТТ 129/19 4	СУРЭЛ- 20Ф	ОКСАФЕН ОПМ-94
Плотность, кг/м ³	800-1300					1300-1400
Твердость по Шору, (А)	от 70 до 100					150 Бринелль (НВ)
Прочность при растяжении, МПа	30-50	45-65	32-45	35-58	37-60	80
Прочность при сжатии, МПа	в диапазоне 70-110					180
Рабочая температура, °С	от -40 до + 250					
Коэффициент сухого трения	0,20 - 0,40					0,10 - 0,23

Создание современных композиционных материалов и их применение в конструкции вагонов, стало возможным благодаря разработке высокопрочных и высокомодульных стеклянных, углеродных, борных и органических волокон, нитевидных кристаллов и волокон оксидов, карбидов, боридов и нитридов металлов, а также армирующих материалов на основе металлов, сталей и сплавов, обладающих высокой прочностью (2500-5000 МПа) и высоким модулем упругости [13]. Использование высокопрочных волокон для армирования ПУ кольца, связано с уменьшением внутренних напряжений от вертикальных и поперечных нагрузок при высоких скоростях движения, увеличением ресурса ПУ колец.

Таблица 2. Физико-механические свойства различных высокопрочных армирующих волокон

Характеристики	Марки высокопрочных волокон				
	САТУРН (УВ)	ХИТЕКС 46-Н (УВ)	KEVIAR 49 (АВ)	AVICO (БВ)	NICALON-200 (КВ)
Плотность, г/см ³	1,70-1,83	1,70-1,83	1,40-1,60	2,2-2,6	2,4-2,6
Прочность при растяжении, МПа	4650-4960	4500-5500	2550-3000	2545-3200	2500-3000
Удлинение при разрыве, %	1,5-2,0	1,5-2,0	2,5-3,0	0,8-1,2	1,0-1,8
Рабочая температура, °С	180-260	180-240	150-220	220-280	200-250

Схема нагружения рельса и цельнокатаным колесом с полиуретановым кольцом, представлена на рисунке 5.

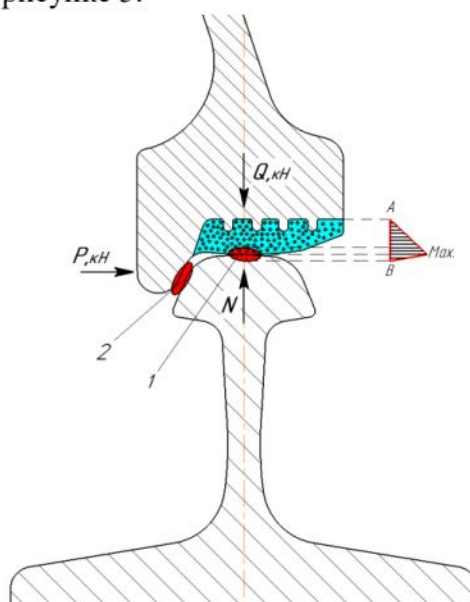


Рисунок 5 – Схема двухточечного контакта рельса и колеса с полиуретановым кольцом:
1 – вертикальная контактная точка «колесо-рельс»;
2 – горизонтальная контактная точка «колесо-рельс»;

Согласно представленной схеме двухточечного контакта рельса и колеса с полиуретановым кольцом (рис. 5), основные передаваемые вертикальные нагрузки 1 от вагона воспринимаются напрямую ПУ кольцом, считающимся жертвенным элементом колесных пар вагонов. Боковые нагрузки 2 воспринимаются гребнем колеса, который удерживает и направляет вагон при движении по рельсам даже при сильных центробежных качках, что сильно зависит от высокой прочности материала гребня, который делает его незаменимым.

Метод покрытия поверхности катания высокопрочным полиуретановым кольцом, дает возможность не только продлить срок службы цельнокатаных колес, а

также снижает вибрацию и удары, при этом повышает уровень комфорта в пассажирских вагонах.

Таблица 3. Аналитические данные при движении пассажирского вагона на различных скоростях.

<i>Диаметр колес в диапазоне 880-867 мм., с толщиной обода не менее 30 мм</i>																							
40 км/ч	об/мин		60 км/ч	об/мин		80 км/ч	об/мин		100 км/ч	об/мин		120 км/ч	об/мин		140 км/ч	об/мин		160 км/ч	об/мин		180 км/ч	об/мин	
	868	881		1302	1322		1736	1762		2170	2203		2604	2643		3084	3308		3472	3525		3907	3965

Таблица 4. Относительный износ полиуретанового кольца в зависимости от скорости движения пассажирского вагона массой брутто 65 т.

Скорость км/ч.	20	40	60	80	100	120	140	160	180
Относительный износ мм/ч.	0,25	0,4-0,45		0,6-0,70		0,75-0,85		0,9-1,5	
Начальная толщина ПУ кольца 14-15 мм.	0,04	0,04		0,12		0,45		0,74	

Однако, несмотря на имеющиеся достоинства, данный метод продления срока службы цельнокатаных колес имеет свои недостатки. Метод неприменим на грузовом подвижном составе, из-за тяжести массы груза. Применение метода возможно только при использовании системы дискового или башмачного (электромагнитного) торможения пассажирских вагонов или трамваев. Такая зависимость от тормозных систем обусловлена тем, что при использовании системы колодочного торможения, поверхность колеса и тормозная колодка нагреваются до температуры 450-500 °С, что может привести к потере работоспособности полиуретанового кольца.

Полиуретановое кольцо, установленное на поверхности катания цельнокатаного колеса, при движении поезда испытывает различные колоссальные нагрузки. За счет своей небольшой эластичности, полиуретановые кольца демпфируют и поглощают все вертикальные нагрузки. На рисунке 6 представлены схемы нагружения поверхности катания колеса с ПУ кольцом. При движениях поезда, полиуретановые кольца, кроме вертикальных и горизонтальных нагрузок, так же испытывают воздействие и центробежных сил колеса при скоростях более 160-180 км/ч.

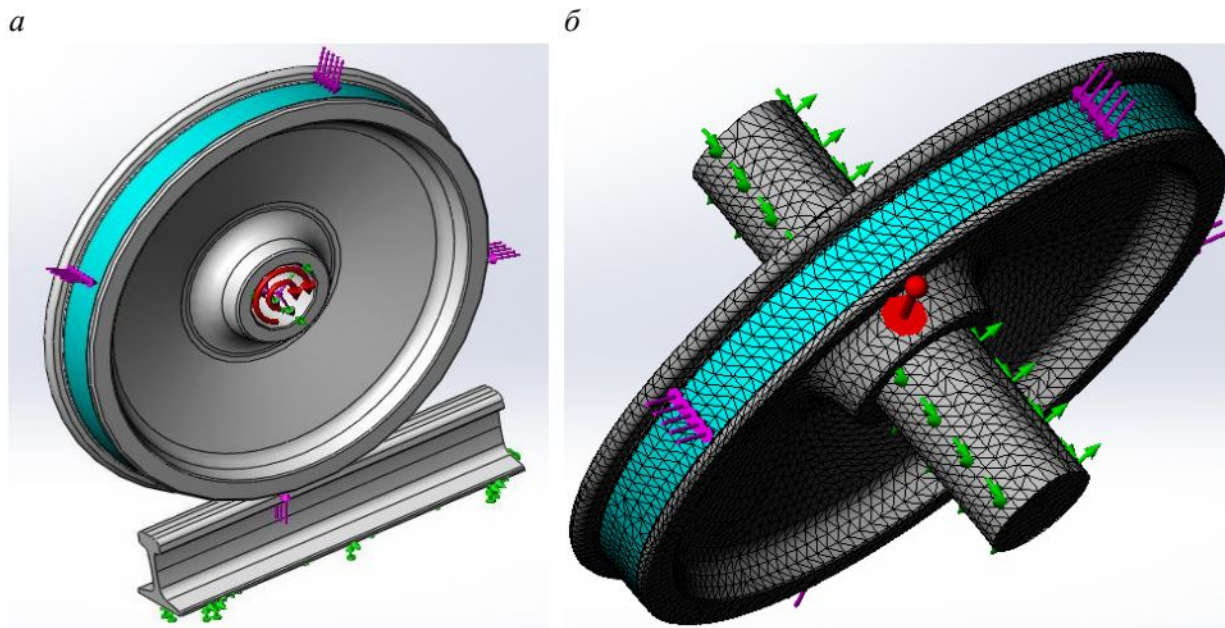
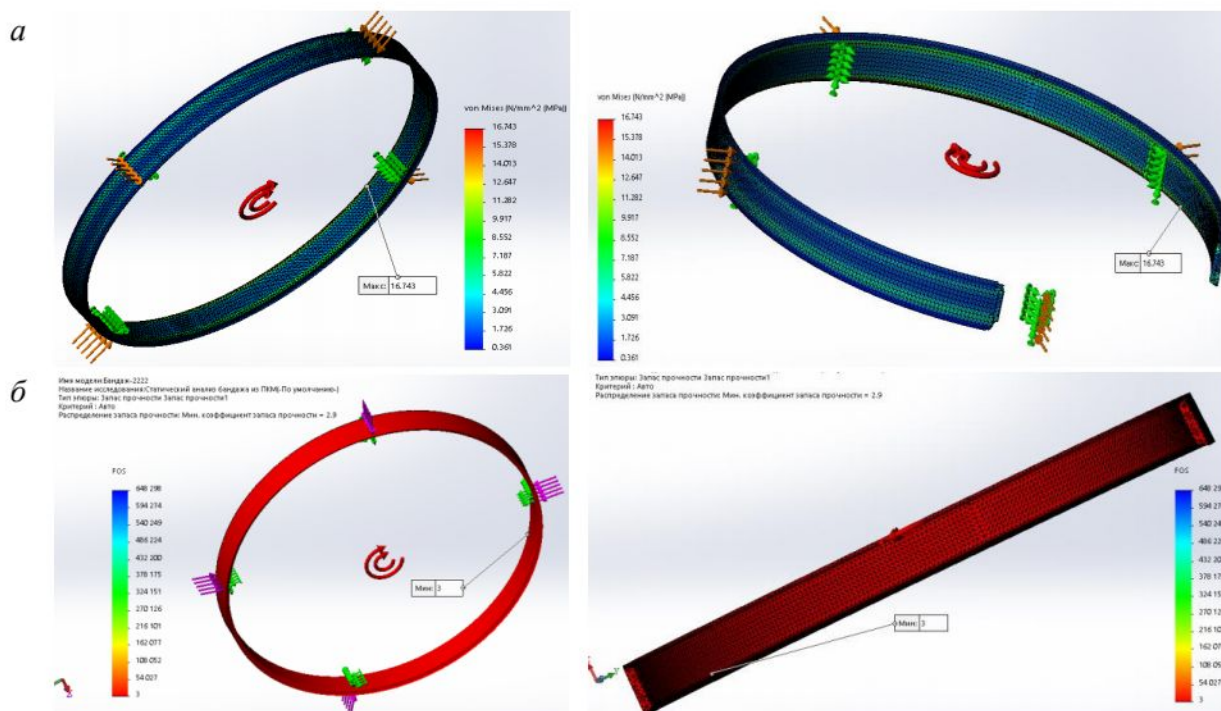


Рисунок 6 – Схемы нагружения поверхности катания колеса с ПУ кольцом:
а – нагруженное состояние колеса при взаимодействии с рельсом;
б – конечно-элементная модель нагруженного колеса и оси.

Прочностные расчеты полиуретанового кольца (рис. 7) проводились согласно технико-нормативным документам ГОСТ 33211 – 2014, ГОСТ 33788-2016 [14, 15] и др., в инженерной программе SolidWorks 2016. Результаты прочностных испытаний полиуретанового кольца приведены в таблице 4.



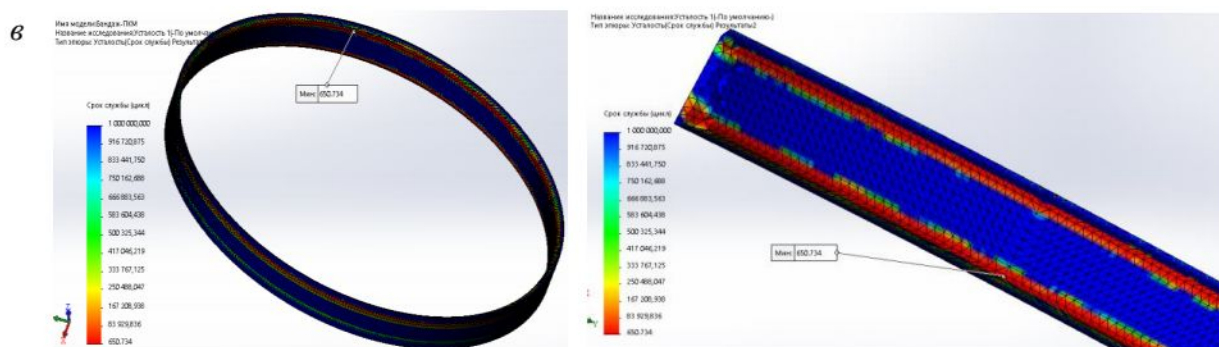


Рисунок 7 – Результаты прочностных испытаний полиуретанового кольца:

a – максимальные эквивалентные напряжения ПУ кольца по Мизесу;

б – запас прочности ПУ кольца при максимальной нагрузке;

в – длительность срока службы ПУ кольца.

Таблица 4. Результаты прочностных испытаний полиуретанового кольца

Параметры испытания	Фактические	Допустимые
Приложенная нагрузка на ПУ кольцо, кН	80,0	74-76
Максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу, МПа	16,8	32-45
Минимальный коэффициент запаса прочности	2,9	2-2,2
Минимальный срок службы, количество циклов, тыс.	650	1 ⁶
Размер сетки конечно-элементной модели ПУ кольца, мм	10	10

С ростом цен на колесные пары вагонов и на основании проведенного обзора и анализа исследований различных конструкций колес с улучшенными демпфирующими характеристиками, была разработана конструкция и методика продления срока службы цельнокатаных колес с использованием полиуретановых колец на поверхности катания. Результаты прочностных расчетов подтвердили высокую надежность и выносливость полиуретановых колец к нагрузкам. Разработанный и предложенный метод, дает возможность частично продлить срок службы цельнокатаных колес тем, сэкономить ресурсы на покупку новых дорогостоящих колес, и при этом повысить комфортабельность пассажирских перевозок.

Список использованной литературы

1. Бороненко, Ю.П., Орлова А.М., Лесничий В.С., Рудакова Е.А. Комплексные теоретико-экспериментальные исследования взаимодействия пути и порожних вагонов. Проведение вариантных расчетов устойчивости от сходов вагонов с различными формами износа колес. Рекомендации по нормированию и отбраковке опасных форм износа колес. Отчёт по теме НИОКР МПС 19.5.00 ЦТех (78р-02). Санкт-Петербург, 2002 г. – 274 с.

2. Гайипов, А.Б. Влияние надежности колесных пар инновационных вагонов в эксплуатации на потребность в новых колесах / Ю. П. Бороненко, А. Б Гайипов, Т. М.

Белгородцева // Транспорт Российской Федерации. СПб.: – 2020. – № 1 (86). – С. 48 – 53.

3. RU2121928C1 Составное железнодорожное колесо и способ его изготовления / опуб. 20.11.1998 // Вальдюн, Жак Брук, Франсуа Д.

4. CN212332273U Эластичное колесо, способное предотвратить относительное смещение обода колеса и сердечника колеса / опуб. 12.01.2021 // Лью В., Янг Г.

5. US10112437B2 Эластичное колесо для железнодорожного транспорта / опуб. 30.10.2018 // Ландабериа Р.

6. CN104385842A Эластичное колесо / опуб. 04.03.2015 // Янг В., Лиу Ю.

7. GB597284A Эластичные колеса вагонов / опуб. 22.01.1948 // ACEA AB.

8. JPS6080905A Эластичное колесо / опуб. 08.05.1985 // Сакамото М.

9. US1985144A Эластичное колесо для железнодорожных транспортных средств / опуб. 18.12.1934 // Бугатти Э.

10. US6488324B1 Колесо железнодорожного транспорта с улучшенными демпфирующими характеристиками / опуб. 28.10.1999 // Хеннинг Х.В., Хилверсюм.
<https://www.xn--33-1lcd4a.xn--plai/goods/101148235-kolesnyye-pary-nonk-ru-1sh-957g-novaya-os-povyue-kolesa>

11. Гозбенко В.Е., Бонго Т., Снижение износа гребней колесных пар грузовых вагонов // Modern technologies. System analysis. Modeling, 2017 – 159-168 ст.

12. Словиков С.В. Методика исследования зависимости механических свойств полиуретановых изделий от температуры // Вестник, ПНИПУ Пермь 2012 / 177-189 ст.

13. ГОСТ 33211 – 2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. Введ. – 2014-12-30 – Минск.: ЕАСС – 2014. – 57 с.

14. ГОСТ 33788-2016. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытания на прочность и динамические качества. Введ. – 2017-05-01 – М.: Стандартиформ. – 2017. – 44 с.