

УДК 629.488.2

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-2-168-179>

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ КАТАНИЯ КОЛЕСНЫХ ПАР ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВАГОНОВ

¹ В.В. Савинкин, ¹ И.В. Шагаев, ² С.В. Савинкин, ³ В.Н. Кузнецова, ⁴ А.В. Санду

¹ НАО «Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева»,
г. Петропавловск, Казахстан

² ФГБОУ ВО «Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС)»,
г. Омск, Россия

³ ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»,
г. Омск, Россия

⁴ «Технический университет Георге Асахи в Яссах»,
г. Яссы, Румыния

АННОТАЦИЯ

Введение. Проблема дефицита энергоэффективных технологий восстановления ставит первостепенной задачей разработку нового технологического оборудования для восстановления поверхностей катания железнодорожных колес с применением высококонцентрированных источников энергии. В настоящее время в практике ремонтного ДПО выбраковываемые безбондажные колеса все чаще заменяются новыми, но их ресурсный потенциал высок при эксплуатации. Такой подход технически и экономически не целесообразен.

Материалы и методы. В данной статье приведены результаты прочностного расчета основных моментов сил и динамических нагрузок, приходящихся на колесную пару. Сформулирована проблема эксплуатации ремонтного оборудования, связанная с отсутствием самостоятельных мобильных комплексов, обеспечивающих оперативное прибытие на место работ и высокое качество восстановления проектной геометрии поверхности катания колеса.

Результаты. Для решения данной проблемы был спроектирован и разработан мобильный комплекс, который позволяет восстанавливать проектную геометрию и обеспечивает высокие физико-механические свойства поверхности катания с оптимальными напряжениями в фазовой структуре основы колеса.

Обсуждение и заключение. Результаты проведенных исследований рекомендуется использовать для проектирования, создания и производства высокотехнологичного ремонтного оборудования.

КЛЮЧЕВЫЕ слова: мобильный комплекс, поверхность катания, восстановление, эффективность, железнодорожная колесная пара.

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы благодарят за работу редакцию научного рецензируемого журнала «Вестник СибАДИ», а также рецензентов статьи.

Поступила 09.04.21, принята к публикации 28.02.21.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Разработка технологического оборудования для восстановления поверхностей катания колесных пар железнодорожных вагонов / В.В. Савинкин, И.В. Шагаев, С.В. Савинкин, В.Н. Кузнецова, А.В. Санду. – DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-2-168-179> // Вестник СибАДИ. – 2021. – Т. 18, № 2(78). – С. 168-179.

© Савинкин В.В., Шагаев И.В., Савинкин С.В., Кузнецова В.Н., Санду А.В., 2021



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-2-168-179>

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR RESTORATION OF ROLLED WHEELED PAIRS OF RAILWAY WAGONS

¹ Vitalii V. Savinkin, ¹ Ivan V. Shagaev, ² Sergei V. Savinkin,
³ Viktoria N. Kuznetsova, ⁴ Andrei V. Sandu

¹M. Kozybaiev North Kazakhstan University, Kazakhstan, Petropavlovsk,

²Omsk State University of Railways and Communications, Russia, Omsk,

³Siberian State Automobile and Highway University, Russia, Omsk,

⁴Gheorghe Asachi Technical University in Iasi, Romania, Iasi

ABSTRACT

Introduction. The problem of the shortage of energy-efficient restoration technologies makes it a priority to develop new technological equipment for the restoration of the rolling surfaces of railway wheels using highly concentrated energy sources. Currently, in the practice of repair DPO, discarded non-bonded wheels are increasingly replaced with new ones, but their resource potential is high during the operation. This approach is not technically and economically feasible.

Materials and methods. This article presents the results of the strength calculation of the main moments of forces and dynamic loads per wheel pair. The problem of repair equipment related to the lack of the independent mobile complexes that ensure prompt arrival at the work site and high quality restoration of the design geometry of the wheel surface is formulated.

Results. To solve this problem, a mobile complex was designed and developed, which allows to restore the design geometry and modify the high physical and mechanical properties of the riding surface with optimal stresses in the phase structure of the wheel base.

Discussion and conclusion. It is recommended to use the results of the research carried out for the design, creation and production of high-tech repair equipment.

KEYWORDS: mobile complex, rolling surface, recovery, efficiency, railway wheel set.

Submitted 09.04.21 , revised 28.04.21

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation: Savinkin V.V., Shagaev I.V., Savinkin S.V., Kuznetsova V.N., Andrei V. Sandu. Development of technological equipment for restoration of rolled wheeled pairs of railway wagons. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2021; 18(2): 168-179. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-2-168-179>

© Savinkin V.V., Shagaev I.V., Savinkin S.V., Kuznetsova V.N., Sandu A.V., 2021



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Железнодорожный транспорт является основным для большого количества основных и смежных отраслей народного хозяйства, обеспечивая их эффективное функционирование и развитие. Роль железнодорожного транспорта трудно переоценить для строительного и машиностроительного производства с точки зрения обеспечения доставки строительных материалов, сырья, оборудования, инструментов, топлива.

Основной проблемой при эксплуатации железнодорожного транспорта является интенсивное изнашивание рельсов и поверхностей катания колесных пар. Причем такой вид изнашивания имеет место быть не только на горных перевальных участках железных дорог с подъемами и спусками, но и на железных дорогах, проложенных на равнинных участках местности [1, 2, 3, 4]. Основными причинами возникновения износа колесных пар и рельсов являются перегрузка и неравномерная загрузка вагонов; ударные нагрузки; нарушение рессорного подвешивания; нарушение технологии формирования колесных пар; статическая развеска колесных пар; естественный износ при взаимодействии колесных пар и рельсового пути [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13].

В мировой практике изношенные колесные пары выбраковываются и заменяются на новые, что экономически нецелесообразно [14, 15, 16, 17, 18]. Поэтому возникает необходимость в разработке и создании технологического оборудования для ремонта беговых дорожек колесных пар, способного оперативно и своевременно решить задачу восстановления их исправного и работоспособного состояния. Это позволит существенно снизить негативные последствия поломок и отказов колесных пар и повысить безопасность движения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На основе проведенного анализа доступного оборудования для восстановления поверхностей катания железнодорожного колеса было установлено, что в большинстве случаев оно стационарное и требует доставки колесной пары (с выкаткой из под вагона) или вагона на специально оборудованные площадки [19, 20]. Патентный поиск показал, что мобильных ремонтных комплексов, обеспечивающих

оперативное прибытие на место работ и высокое качество восстановления проектной геометрии гребня практически не существует, а имеющиеся аналоги крайне ограничены в функциональных возможностях.

Поверхность катания колеса вагона, контактирующая с рельсовым покрытием малой поверхностью (около 2,5 см²) испытывает постоянные и переменные статические и динамические нагрузки [20, 21, 22]. Основные силы и нагрузки, приходящиеся на колесную пару, могут быть определены по следующей методике¹. Расчетные схемы для определения основных параметров динамики изнашивания колеса приведены ниже на рисунках 1–8.

При расчете вертикальной статической нагрузки груженого вагона (брутто) необходимо учитывать коэффициент использования его грузоподъемности. Нагрузка, действующая на шейку оси вагона, вычисляется из зависимости

$$P_{ст} = \frac{1+\lambda}{2} \cdot \frac{m_{бр}-m_0 \cdot m_{кп}+2m_0 \cdot m_{кч}}{2m_0} g, \quad (1)$$

где $m_{бр}$ – масса вагона брутто, т; m_0 – количество колесных пар в вагоне; $m_{кп}$ – масса колесной пары, т; $m_{кч}$ – масса консольной части оси (от торца оси до плоскости круга катания колеса), т; λ – средняя величина коэффициента использования грузоподъемности.

$$P_{ст} = \frac{1+1}{2} \cdot \frac{94-4 \cdot 1,3+2 \cdot 4 \cdot 0,08}{2 \cdot 4} \cdot 9,81 = 109,5 \text{ кН.}$$

Динамическая нагрузка, действующая на шейку оси вагона

$$P_{д} = P_{ст} \cdot k_{дв}, \quad (2)$$

где $k_{дв}$ – коэффициент вертикальной динамики.

$$P_{д} = 109,5 \cdot 0,3 = 32,8 \text{ кН.}$$

Вертикальная нагрузка, действующая от центробежной силы, загружающей одну шейку и разгружающей другую, составляет

¹ РД 32 ЦВ 058–2016 Методика выполнения измерений при освидетельствовании колесных пар вагонов колеи 1520 мм. М., 2016.

$$P_{ц} = H_{ц} \cdot \frac{h_{ц}}{2b_2}, \quad (3)$$

где $h_{ц}$ – высота центра массы вагона от оси колесной пары, м; $2b_2$ – расстояние между серединами шеек осей, м; $H_{ц}$ – центробежная сила, приходящаяся на одну колесную пару, кН.

Величина центробежной силы (см. рисунок 1) определяется по следующей зависимости:

$$H_{ц} = 2P_{ст} \cdot \eta_{ц}, \quad (4)$$

где $\eta_{ц}$ – коэффициент влияния центробежной силы, для грузовых вагонов $\eta_{ц} = 0,075$.

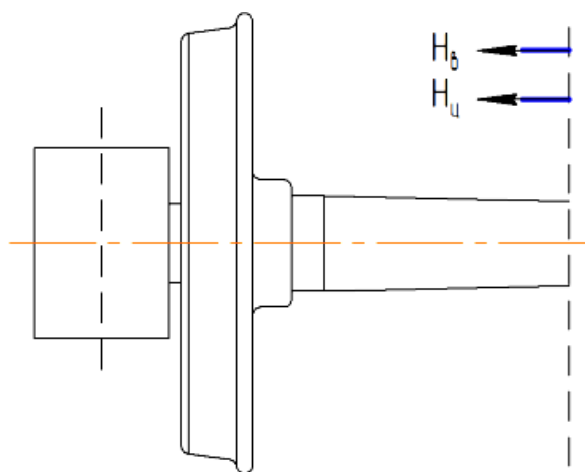


Рисунок 1 – Расчетная схема для определения давления ветра на вагон и центробежной силы

Figure 1 – Design diagram for determination of wind pressure per wagon and centrifugal force

$$H_{ц} = 2 \cdot 109,5 \cdot 0,075 = 16,4 \text{ кН},$$

$$P_{ц} = 16,4 \cdot \frac{1,5}{2,13} = 11,5 \text{ кН}.$$

Действие вертикальной нагрузки от давления ветра на боковую поверхность вагона, загружающей одну шейку оси и разгружающей другую, показано на рисунке 2 и определяется по следующей зависимости:

$$P_{в} = H_{в} \cdot \frac{h_{в}}{2b_2 \cdot m_0}, \quad (5)$$

где $H_{в}$ – давление ветра на вагон (см. рисунок 1).

$$H_{в} = \omega F, \quad (6)$$

где ω – давление ветра, перпендикулярное боковой стене вагона, $\omega = 500 \text{ Па}$; F – площадь боковой поверхности кузова, m^2 ; $h_{в}$ – расстояние от равнодействующей силы ветра до оси колесной пары, м.

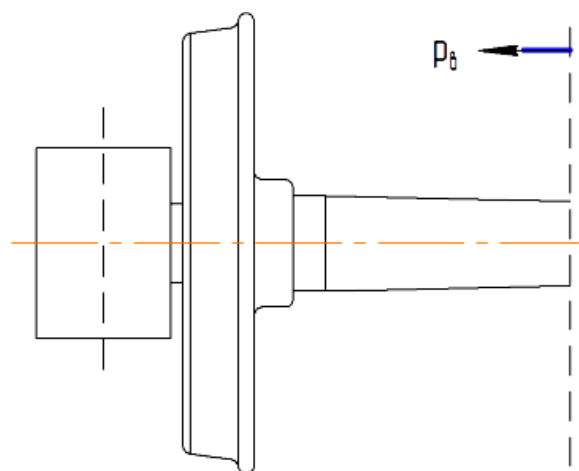


Рисунок 2 – Расчетная схема для определения вертикальной нагрузки от давления ветра на боковую поверхность

Figure 2 – Design diagram for determining the vertical lateral wind pressure load

$$H_{в} = 500 \cdot 24 = 12000 \text{ Па},$$

$$P_{в} = 12 \cdot \frac{1,8}{2,13 \cdot 4} = 2,5 \text{ кН}.$$

С учетом зависимостей (1), (3) и (5) определим суммарную вертикальную нагрузку:

– на левую шейку (см. рисунок 3)

$$P_1 = P_{ст}(1 + k_{дв}) + P_{ц} + P_{в}, \quad (7)$$

$$P_1 = 157,8 \text{ кН};$$

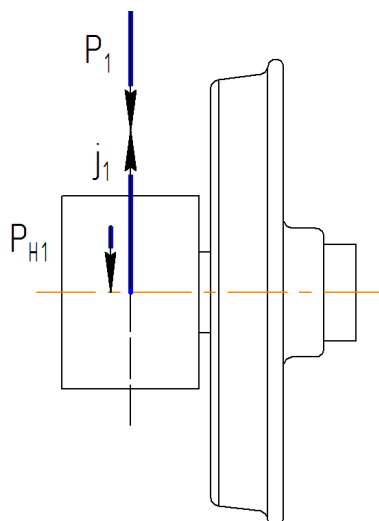


Рисунок 3 – Расчетная схема для определения суммарной вертикальной нагрузки, действующей на левую шейку

Figure 3 – Design diagram for determining the total vertical load applied to the left shaft

– на правую шейку (см. рисунок 4)

$$P_2 = P_{ст} - P_{ц} - P_{в}; \quad (8)$$

$$P_2 = 97,7 \text{ кН.}$$

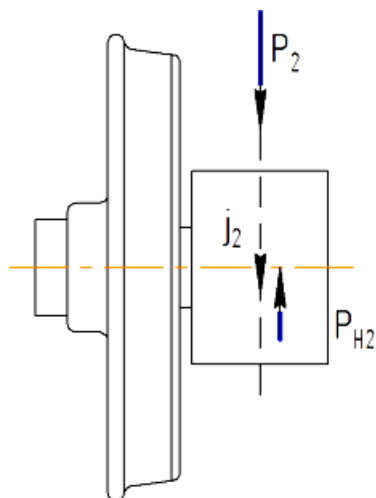


Рисунок 4 – Расчетная схема для определения суммарной вертикальной нагрузки, действующей на правую шейку

Figure 4 – Design diagram for determining the total vertical load applied to the right shaft

При расчете вертикальной нагрузки от сил инерции необрессоренных масс необходимо учитывать массы необрессоренных частей и ускорение буксового узла. Таким образом,

вертикальной нагрузки от сил инерции необрессоренных масс составит:

– на левую шейку оси (см. рисунок 3):

$$P_{H1} = m_1 \cdot j_1, \quad (9)$$

где m_1 – сумма масс необрессоренных частей, т; j_1 – ускорение левого буксового узла, м/с².

$$P_{H1} = 187 \text{ кН};$$

– на правую шейку (см. рисунок 4):

$$P_{H2} = m_2 \cdot j_2, \quad (10)$$

$$P_{H2} = 27,1 \text{ кН.}$$

Силу инерции левого колеса определим из расчетной схемы, приведенной на рисунке 5, и по зависимости

$$P_{HK} = m_k \cdot j_k, \quad (11)$$

где m_k – масса колеса, т.

$$P_{HK} = 49,7 \text{ кН.}$$

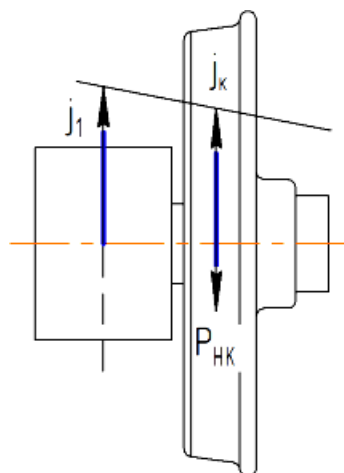


Рисунок 5 – Расчетная схема для определения силы инерции левого колеса

Figure 5 – Design diagram for determining the inertia force of the left wheel

Сила инерции средней части оси (см. рисунок 6):

$$P_{HC} = m_c \cdot j_c, \quad (12)$$

где m_c – масса средней части оси, т.

$$P_{HC} = 12,72 \text{ кН.}$$

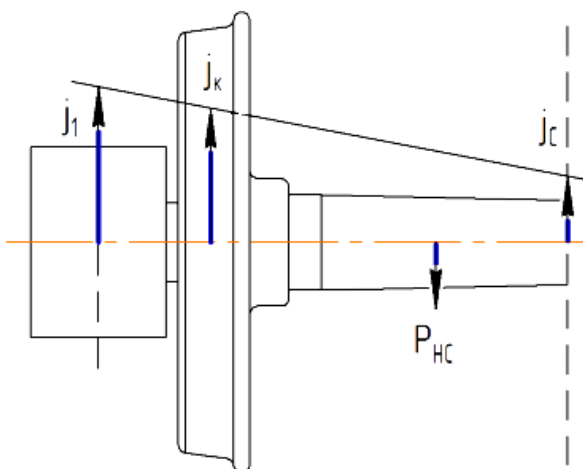


Рисунок 6 – Расчетная схема для определения силы инерции средней части оси

Figure 6 – Design diagram for determining the inertia force of the middle of the axle

Для расчета вертикальной реакции в опорах осей воспользуемся зависимостью, учитывающей выше приведенные значения сил:

– для левой опоры оси (см. рисунок 7):

$$N_H = P_1 \frac{l_2+2s}{2s} + P_{H1} \frac{l_5+l_2+2s}{2s} + H \frac{r+r_1}{2s} + P_{HK} + \frac{2}{3}P_{HC} - P_2 \frac{l_2}{2s} + P_{H2} \frac{l_2+l_5}{2s}, \quad (13)$$

где H – рамная сила; $2s$ – расстояние между кругами катания колесной пары; l_2 – расстояние от середины шейки оси до плоскости круга катания колеса; l_5 – расстояние от середины шейки оси до средней части оси на расстоянии $2/3$ длины участка от конца подступичной части до линии сопряжения галтели со средней частью; r – радиус колеса; r_1 – радиус шейки оси колесной пары.

$$H = \frac{m_{6p}}{m_0} g \cdot k_{дг}, \quad (14)$$

где $k_{дг}$ – коэффициент горизонтальной динамики;

$$H = 41,4 \text{ кН},$$

$$N_H = 509,8 \text{ кН}.$$

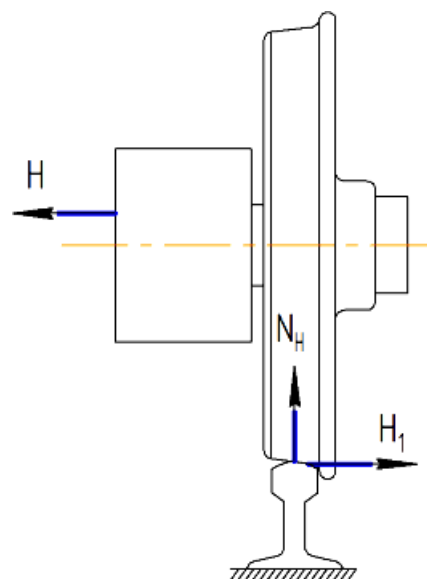


Рисунок 7 – Расчетная схема для определения вертикальной реакции левой опоры оси

Figure 7 – Design diagram for determining vertical reaction of left axle support

– для правой опоры оси (см. рисунок 8)

$$N_B = P_2 \frac{l_2+2s}{2s} - P_{H2} \frac{l_4+l_2+2s}{2s} - H \frac{r+r_1}{2s} + \frac{1}{3}P_{HC} - P_1 \frac{l_2}{2s} + P_{H1} \frac{l_2+l_4}{2s}, \quad (15)$$

где l_4 – расстояние от середины шейки оси до середины оси.

$$N_B = 14,7 \text{ кН}.$$

Сила трения в месте контакта колесо–рельс (см. рисунок 8) определяется из зависимости

$$H_2 = \mu N_B, \quad (16)$$

где μ – коэффициент трения скольжения, $\mu = 0,25$; N_B – вертикальная реакция в опоре оси.

$$H_2 = 0,25 \cdot 14,7 = 3,67 \text{ кН}.$$

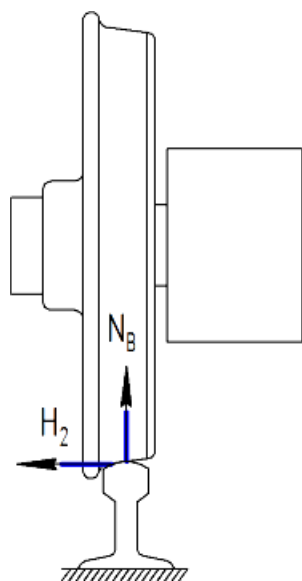


Рисунок 8 – Расчетная схема для определения силы трения контакта колесо–рельс

Figure 8 – Design diagram for determination wheel-rail contact friction force

Сила, приложенная к гребню колеса H_1 , определяется из зависимости (см. рисунок 7):

$$H_1 = H + H_2, \quad (17)$$

$$H_1 = 41,4 + 3,67 = 45,07 \text{ кН.}$$

РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные результаты исследований по увеличению напряженности в основе металла в зависимости от отклонения пятна контакта от проектной оси симметрии не противоречат ранее обоснованным зависимостям [23, 24]. Несмотря на незначительную площадь изнашивания пятна контакта колеса существенно возрастают моменты инерции и контактные напряжения, что приводит к разрушению металла колеса. Решить данную задачу позволит разработанный мобильный комплекс, который восстанавливает проектную геометрию изношенного гребня колеса и модифицирует высокие физико-механические свойства поверхности катания с оптимальными напряжениями в структуре основы колеса².

Мобильный ремонтный комплекс для восстановления колес (рисунок 9) содер-

жит гидравлическую станцию 21 с пультом управления 1, приводящую в движение гидравлические домкраты 16, гидравлический шток 17 гидроцилиндра выдвижной платформы и полно-поворотный круг 18. Комплекс имеет верхний ярус 2, на который с помощью электрического штабеллера 6 можно переместить дополнительную или восстановленную колесную тележку. На верхнем ярусе установлены электрические лебедки 3, которые по рельсовым направляющим вытягивают тележку со штабеллера на платформу. Электрический штабеллер оснащен электроприводом 20, винтовым стержнем 8 и пультом управления 7.

Комплекс содержит сварочную кабину 9, в которой установлена кран-балка 11, с закрепленным на ней многокоординатным наплавочным оборудованием. В его комплект входит сварочный автомат 14 с устройством для подачи проволоки и флюса, кассета для сварочной проволоки, бункер с флюсом, блок управления 5, сварочный трансформатор 4. Кран-балка имеет несколько степеней свободы и может быть отрегулирована по высоте с помощью рукояти 12 и под определенным углом. Также сварочная кабина оснащена механизмом 13, вращающим колесную пару, фрезеровочно-расточным устройством 19 и тепловыми отсекающими калориферами 10. Помимо этого комплекс имеет выдвижную рампу 15, которая необходима для подъема колесной тележки на платформу.

Мобильный ремонтный комплекс работает следующим образом. Подъем вагона осуществляется с помощью четырех переносных одностоечных домкратов (на рисунке не показаны), устанавливаемых по разные стороны напротив шкворневых балок вагона.

Колесная тележка выкатывается из-под вагона и перемещается с помощью электрической лебедки 3 по рельсовым направляющим выдвижной рампе 15 на полноповоротный круг 18. Рампа, приводимая в движение гидравлическими штоками 17, перемещается по валикам (на рисунке не показаны).

В поворотном круге установлены гидравлические домкраты 16, которые поднимают на нужную высоту обрабатываемую колесную пару.

² Пат. № 5935 Республики Казахстан, В23Р 6/00 В23К 9/04. Мобильный ремонтный комплекс для восстановления колесных пар железнодорожных вагонов / Савинкин В.В., Шагаев И.В., Жумекенова З.Ж. – опубли. 19. 03. 2021. Бюл. № 11.

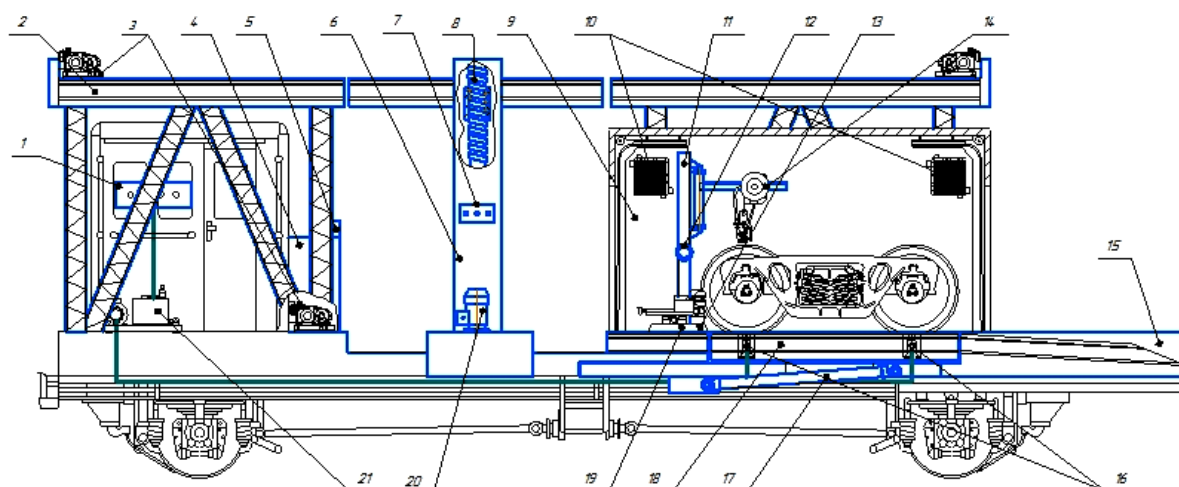


Рисунок 9 – Мобильный комплекс для восстановления колесных пар железнодорожных вагонов:

- 1 – пульт управления гидравлической станцией; 2 – верхний ярус; 3 – электрическая лебедка;
 4 – сварочный трансформатор; 5 – блок управления сварочным автоматом; 6 – штабеллер электрический;
 7 – пульт управления штабеллером; 8 – винтовой стержень подъемника; 9 – сварочная кабинка;
 10 – тепловой отсекатель-калорифер; 11 – кран-балка; 12 – рукоятка; 13 – вращательный механизм;
 14 – сварочный автомат; 15 – выдвижная рампа; 16 – гидравлический домкрат;
 17 – гидравлический шток гидроцилиндра выдвижной платформы; 18 – полноповоротный круг;
 19 – колесное фрезеровочно-расточное устройство; 20 – электропривод; 21 – гидравлическая станция

Figure 9 – Mobile system for the restoration of railway wagon wheels:

- 1 – hydraulic station control panel; 2 – upper tier; 3 – electric winch;
 4 – welding transformer; 5 – welding machine control unit; 6 – electrical stacker;
 7 – the stacker control panel; 8 – the screw rod of the hoist; 9 – the welding booth;
 10 – heat cut-off-calorifer; 11 – tap-beam; 12 – handle; 13 – rotational mechanism;
 14 – welding machine; 15 – ramp; 16 – hydraulic jack; 17 – hydraulic rod of hydraulic cylinder of sliding platform; 18 – full circle;
 19 – wheel milling device; 20 – electric drive; 21 – hydraulic station

С помощью передвижной кран-балки 11 многокоординатный сварочный автомат 14 устанавливается в рабочее положение. Режимы сварки задаются на блоке управления 5, питание происходит от сварочного трансформатора 4. Колесную пару приводят в движение с помощью вращательного механизма 13, на котором задают необходимую скорость вращения. После процесса наплавки проводится расточка поверхности катания до заданных размеров колесным фрезеровочно-расточным устройством 19. Наплавка и расточка проходит в сварочной кабине, в которой калориферы поддерживают оптимальную температуру и влажность над сварочной ванной, установленной над входами. Для восстановления про-

тивоположной части колесной пары тележка поворачивается на 180° с помощью полноповоротного круга 18.

Наиболее близким техническим решением к данному мобильному комплексу является установка для восстановления колесных пар железнодорожного подвижного состава, содержащая механизм вывешивания колесной пары в виде самоходного электрического домкрата, смонтированного на тележке, размещенной на боковых железнодорожных путях, уложенных внутри основного железнодорожного пути, отдельную тележку с устройством для зажигания дуги, привод подачи сварочной проволоки и флюса в зону дуги и устройство для обточки наплавленных колес³.

³ Пат. RU2124974C1 B23P 6/00, B22D 19/10, B23K 9/04. Способ восстановления колесных пар железнодорожного подвижного состава и установка для его осуществления / Соловьев П.Н., Дмитренко В.Н., Дмитренко Г.В. Лазебный А.С., Карпенко В.Н. – опубл. 20.01.1999. Бюл. № 3.

Недостатком известного оборудования является необходимость установки дополнительных железнодорожных путей, что не всегда возможно при работе на пути в удалении от ремонтного ДПО. К существенным недостаткам относятся отсутствие сварочной кабинки с климатическим контролем над сварочным постом, невозможность автоматического управления процессом восстановления проектной геометрии и физико-механических свойств поверхности катания с последующим снятием внутренних напряжений, что снижает качество восстановленной поверхности катания при работе на открытом воздухе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на значительный ресурс колес железнодорожных вагонов в процессе износа происходит разрушение микрообъемов поверхностного слоя, которое при трении и интенсивных статических и динамических нагрузках приводит к изменению размеров, формы и физико-механических свойств поверхности [25, 26]. Для повышения межремонтного ресурса необходимо разработать новые методы сверхточного прогнозирования. Их концепция должна быть основана на выявлении структурно-фазовых изменений металла на стадии зарождения дефекта [27].

Разработанный мобильный ремонтный комплекс обеспечит высокое качество восстановления проектной геометрии гребня и высокие физико-механические свойства модифицированной поверхности катания колесной пары.

Оригинальные конструктивно-технологические решения обеспечивают возможность автоматически регулировать оптимальные режимные параметры восстановления, что ведет к повышению эффективности и качества восстановления изношенных колес железнодорожных вагонов без установки дополнительных железнодорожных путей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шибeko P.B., Захаров E.A. Система контроля колесных пар железнодорожных вагонов // Молодой ученый. 2014. № 18. С. 314–317.
2. Левчук H.A. Обеспечение безопасной эксплуатации колес // Железные дороги мира. 2018. № 1. С. 59–63.
3. Савоськин A.H., Васильев A.П. Дислокационная модель взаимодействия колеса и рельса при реализации вращающего момента и при боковых колебаниях экипажей // Известия ПГУПС. 2017. № 1. С. 103–109.
4. Sun, YQ, Cole, C, McClanachan, M. The calculation of wheel impact force due to the interaction between vehicle and a turnout. Proc IMechE, Part F: J Rail and Rapid Transit 2010; 224:391–403.
5. Максимов И.Н. Профиль поверхности катания колес для высокоскоростных поездов // Железнодорожный транспорт. 2014. № 11. С. 50–52.
6. Lin F., Dong X., Wang. Y. Multiobjective optimization of CRH3 EMU wheel profile // Adv Mech Eng. 2015; 7:1-8.
7. Kokhanovskii V.A., Maiba I.A., Glazunov D. V., Bol'shikh I. V. Lubricator casings for locomotive wheel rims // Russian Engineering Research. 2016; 36(5): 364-365.
8. Kokhanovskii V.A., Glazunov D.V. Control of lubricant performance // Russian Engineering Research. 2017; 37(9): 768-773.
9. Jingmang X, Ping W, Li W, Rong Ch. Effects of profile wear on wheel-rail contact conditions and dynamic interaction of vehicle and turnout // Advances in Mechanical Engineerin. 2016; 8 (1). doi. org/10.1177/1687814015623696.
10. Aniolek, K, Herian, J. Numerical modeling of load and stress on the contact surface of a turnout and a railway vehicle. J Transport Eng 2013; 139: 533–539.
11. Aalami, MR, Anari, AS, Shafighard, T. A robust finite element analysis of the rail-wheel rolling contact. Adv Mech Eng 2013; 5: 1–9.
12. Zeng, Z, Yu, Z, Chen, X. Analysis on spatial vibration of train-turnout-continuous frame bridge with train running through turnout branch. J Vib Shock 2009; 28: 40–45.
13. Sebes, M, Ayasse, JB, Chollet, H. Application of a semi-Hertzian method to the simulation of vehicles in high-speed switches. Vehicle Syst Dynam 2006; 44: 341–358.
14. Журавлев Д.В. Система раннего диагностирования как гарантия безотказной работы буксового узла колесной пары // В мире неразрушающего контроля. 2017. № 4. С. 71–76.
15. Герасимова А.А., Керопян А. М., Гиря А. М. Исследование системы колесо-рельс карьерных локомотивов в режиме тяги // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2018. № 1. С. 39–42.
16. Воробьев А. А., Керенцев Д.Е., Федоров И.В. Испытания колесных сталей на износ и контактную усталость // Изв. Петерб. ун-та путей сообщения. 2017. Т. 14. № 4. С. 628–636.
17. Губенко С.И., Иванов И.А., Кононов Д.П. Влияние качества стали на усталостную прочность цельнокатанных колес // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. М. : Изд-во «Тест-зл». 2018. Т. 84. № 3. С. 52–60.
18. Михеев Г.В., Погорелов Д.Ю., Родиков А.Н. Методы моделирования динамики железнодорожных колесных пар с учетом упругости // Вестник Брянского государственного технического университета. 2019. № 4 (77). С. 40–51.
19. Леоненко Е.Г. Взаимодействие пути и порожних грузовых вагонов при движении в прямых и кривых участках пути // Современные технологии.

Системный анализ. Моделирование. 2019. Т. 63. № 3. С. 148–154.

20. Ромен Ю.С., Суслов О.А., Балева А.А. Определение сил взаимодействия в системе колесо–рельс на основании измерения напряжений в шейке рельса // Вестн. ВНИИЖТ. 2017. Т. 76. № 6. С. 354–361.

21. Шевченко Д. В., Савушкин Р.А., Кузьминский Я.О. [и др.] Разработка новых методов определения силовых факторов воздействия подвижного состава на путь // Техника железных дорог. 2018. № 1 (41). С. 38–51.

22. Kuznetsova, V.N., Savinkin, V.V., Ratushnaya, T.Yu., Sandu, A.V., Vizureanu, P. Study of the spatial distribution of forces and stresses on wear surfaces at optimization of the excavating part of an earthmoving machine transverse profile. *Coatings*, 2021, 11(2), стр. 1–16, 182

23. Kuznetsova, V.N., Savinkin, V.V. More efficient rotation of excavator platforms. *Russian Engineering Research*, 2017, 37(8), стр. 667–671.

24. Казанская Л. Ф. Оптимизация критериев эффективного управления безопасностью движения в железнодорожной компании // Учен. зап. Междунар. банковск. ин-та. 2017. № 21. С. 146–158.

25. Хабилова С. Проблемы ремонта подвижного состава // РЖД-Партнер. 2006. С. 114–120.

26. Savinkin, V.V., Kuznetsova, V.N., Ratushnaya, T.Yu., Kiselev, L.A. Method of integrated assessment of fatigue stresses in the structure of the restored blades of CHP and HPS. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering*, 2019, 330(8), стр. 65–77.

REFERENCES

1. Shibeko R.V., Zaharov E.A. Sistema kontrolya kolesnyh par zheleznodorozhnyh vagonov [Railway car wheelset control system] // *Molodoj uchenyj*. 2014; № 18: 314–317. (in Russian)

2. Levchuk N.A. Obespechenie bezopasnoj ekspluatatsii koles [Ensuring the safe operation of the wheels] // *ZHeleznnye dorogi mira*. 2018; 1: 59–63. (in Russian)

3. Savos'kin A.N., Vasil'ev A.P. Dislokatsionnaya model' vzaimodejstviya koleasa i rel'sa pri realizatsii vrashchayushchego momenta i pri bokovyh kolebaniyah ekipazhej [Dislocation model of interaction of a wheel and a rail at realization of a torque and at lateral fluctuations of carriages] // *Izvestiya PGUPS*. 2017; 1: 103–109. (in Russian)

4. Sun, YQ, Cole, C, McClanachan, M. The calculation of wheel impact force due to the interaction between vehicle and a turnout. *Proc IMechE, Part F: J Rail and Rapid Transit* 2010; 224: 391–403.

5. Maksimov I. N. Profil' poverhnosti kataniya koles dlya vysokoskorostnyh poezdov [Rolling surface profile for high-speed trains] // *ZHeleznodorozhnyj transport*. 2014; 11: 50–52 (in Russian)

6. Lin F., Dong X., Wang. Y. Multiobjective optimization of CRH3 EMU wheel profile // *Adv Mech Eng*. 2015; 7:1–8.

7. Kokhanovskii V.A., Maiba I.A., Glazunov D.V., Bol'shikh I.V. Lubricator casings for locomotive wheel rims // *Russian Engineering Research*. 2016; 36(5): 364–365.

8. Kokhanovskii V. A., Glazunov D. V. Control of lubricant performance // *Russian Engineering Research*. 2017; 37(9): 768–773.

9. Jingmang X, Ping W, Li W, Rong Ch. Effects of profile wear on wheel–rail contact conditions and dynamic interaction of vehicle and turnout // *Advances in Mechanical Engineering*. 2016; 8(1) doi.org/10.1177/1687814015623696.

10. Aniołek, K, Herian, J. Numerical modeling of load and stress on the contact surface of a turnout and a railway vehicle. *J Transport Eng* 2013; 139: 533–539.

11. Aalami, MR, Anari, AS, Shafighfar, T. A robust finite element analysis of the rail-wheel rolling contact. *Adv Mech Eng* 2013; 5: 1–9.

12. Zeng, Z, Yu, Z, Chen, X. Analysis on spatial vibration of train-turnout-continuous frame bridge with train running through turnout branch. *J Vib Shock* 2009; 28: 40–45.

13. Sebes, M, Ayasse, JB, Chollet, H. Application of a semi-Hertzian method to the simulation of vehicles in high-speed switches. *Vehicle Syst Dynam* 2006; 44: 341–358.

14. ZHuravlev D.V. Sistema rannego diagnostirovaniya kak garantiya bezotkaznoj raboty buksovogo uzla kolesnoj pary [Early diagnosis system as a guarantee of trouble-free operation of the wheelset axle assembly] // *V mire nerazrushayushchego kontrolya*. 2017; 4: 71–76. (in Russian)

15. Gerasimova A.A., Keropyan A.M., Giryay A.M. Issledovanie sistemy koleso-rel's kar'ernykh lokomotivov v rezhime tyagi [Investigation of the wheel-rail system of quarry locomotives in traction mode] // *Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin*. 2018; 1: 39–42. (in Russian)

16. Vorob'ev A.A., Kerencev D.E., Fedorov I. V. Ispytaniya kolesnyh stalej na iznos i kontaktnuyu ustalost' [Wheel steel wear and contact fatigue tests] // *Izvestiya PGUPS*, 2017; 14(4): 628–636. (in Russian)

17. Gubenko S.I., Ivanov I.A., Kononov D.P. Vliyanie kachestva stali na ustalostnuyu prochnost' cel'nokatanykh koles [Influence of steel quality on fatigue strength of solid-rolled wheels] // *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*. 2018; 84(3): 52–60. (in Russian)

18. Miheev G.V. Pogorelov D.YU., Rodikov A.N. Metody modelirovaniya dinamiki zheleznodorozhnykh kolesnyh par s uchetom uprugosti [Methods for modeling the dynamics of railway wheel sets with allowance for elasticity] // *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2019; 4 (77): 40–51. (in Russian)

19. Leonenko E.G. Vzaimodejstvie puti i porozhnykh gruzovykh vagonov pri dvizhenii v pryamykh i krivykh uchastkakh puti [Interaction of the track and empty freight cars when moving in straight and curved sections of the track] // *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie*. 2019; 63(3): 148–154.

20. Romen Y.U. S. Opredelenie sil vzaimodejstviya v sisteme koleso-rel's na osnovanii izmereniya napryazhenij v shejke rel'sa / YU. S. Romen, O. A. Suslov, A. A. Balyaeva // *Vestn. VNIIZHT*. 2017; 76(6): 354-361.

21. SHEvchenko D. V. Razrabotka novyh metodov opredeleniya silovykh faktorov vozdeystviya podvizhnogo sostava na put' / D. V. SHEvchenko, R. A. Savushkin, YA. O. Kuz'minskij, T. S. Kuklin, E. A. Rudakova, A. M. Orlova // *Tekhnika zheleznykh dorog*. 2018; 1 (41): 38-51.

22. Kuznetsova V.N., Savinkin, V.V., Ratushnaya, T.Yu., Sandu, A.V., Vizureanu, P. Study of the spatial distribution of forces and stresses on wear surfaces at optimization of the excavating part of an earthmoving machine transverse profile. *Coatings*, 2021; 11(2):182 <https://doi.org/10.3390/coatings11020182>

23. Kuznetsova V.N., Savinkin, V.V. More efficient rotation of excavator platforms. *Russian Engineering Research*, 2017, 37(8): 667–671. DOI: <http://doi.org/10.3103/S1068798X1708010X>

24. Kazanskaya L.F. Optimizatsiya kriteriev effektivnogo upravleniya bezopasnost'yu dvizheniya v zheleznodorozhnoy kompanii / L.F. Kazanskaya // *Uchen. zap. Mezhdunar. bankovsk. in-ta*. 2017; 21: 146-158.

25. Habirova S. Problemy remonta podvizhnogo sostava [Problems of rolling stock repair] // *RZHD-Partner*. 2006: 114–120.

26. Savinkin V.V., Kuznetsova, V.N., Ratushnaya, T.Yu., Kiselev, L.A. Method of integrated assessment of fatigue stresses in the structure of the restored blades of CHP and HPS. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering*, 2019, 330(8): 65–77.

ВКЛАД СОАВТОРОВ

1. Савинкин В.В. Концептуализация, формулирование и исследование научной гипотезы, привлечение проектом. Формулирование проблемы исследований. Руководство процессом разработки темы. Выбор методологии и методов исследования (20%).

2. Шагаев И.В. Обзор результатов предыдущих исследований. Постановка задач исследования. Обозначение алгоритма аналитических исследований. Формулировка результатов и выводов (20%).

3. Савинкин С.В. Аналитика результатов исследования, редактирование, формирование выводов, графическая редакция схем (20%).

4. Кузнецова В.Н. Валидация данных, курирование и рецензирование результатов, проверка теоретических предположений, корреспонденция данных с иностранными авторами (20%).

5. Sandu A.V. Формулировка направления и темы исследования. Программное исследование расчета прочности (20%).

AUTHORS' CONTRIBUTION

1. Vitalii V. Savinkin – Conceptualization, formulation and research of a scientific hypothesis, project management. Formulation of the research problem. Guide the theme development process. Choice of research methodology and methods (20%);

2. Ivan V. Shagaev – Review of the results of previous studies. Setting research objectives. The designation of the analytical research algorithm. Formulation of results and conclusions (20%);

3. Sergei V. Savinkin – Analysis of research results, editing, drawing conclusions, graphic editing of schemes (20%);

4. Viktoria N. Kuznetsova – Data validation, curation and review of results, verification of theoretical assumptions, correspondence of data with foreign authors (20%);

5. Andrei V. Sandu – Statement of the research direction and topic. Software study of strength calculation (20%).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кузнецова Виктория Николаевна – д-р техн. наук, проф., ORCID ID: 0000-0003-3546-0894, Scopus Author ID 8671569200, проф. кафедры «Эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин и комплексов в строительстве» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, Россия, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: dissovetsibadi@bk.ru).

Савинкин Виталий Владимирович – д-р техн. наук, доц., ORCID ID: 0000-0002-7748-3720, Scopus Author ID 57195726895, доц. кафедры «Транспорт и машиностроение» НАО «СКУ им. М. Козыбаева» (150000, Северо-Казахстанская область, г. Петропавловск, ул. Пушкина, 86, e-mail: cavinkin7@mail.ru).

Шагаев Иван Владимирович – магистрант кафедры «Транспорт и машиностроение» НАО «СКУ им. М. Козыбаева» (150000, Северо-Казахстанская область, г. Петропавловск, ул. Пушкина, 86, e-mail: shagaevv@mail.ru).

Савинкин Сергей Владимирович – аспирант кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» ФГБОУ ВО «ОмГУПС» (644046, Россия, г. Омск, пр. Маркса, 35, e-mail: syava-sv@yandex.ru).

Andrei Victor Sandu – д-р PhD, ORCID ID: 0000-0002-9292-749X, проф. факультета материаловедения и инженерии, Технический университет Георге Асачи в Яссах (700050, г. Яссы, бул. Д. Мангерон, № 51, Румыния; sav@tuiasi.ro).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Victoria N. Kuznetsova, Dr. of Sci., Professor of the Operation and Service of Transport and Technological Machines and Complexes in Construction Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Siberian State Auto-

mobile and Highway University (SibADI), ORCID ID: 0000-0003-3546-0894, Scopus Author ID 8671569200 (644080, Omsk, Mira ave., 5 e-mail: dissovetsibadi@bk.ru).

Vitaliy V. Savinkin, Dr. of Sci., Associate Professor, ORCID ID: 0000-0002-7748-3720, Scopus Author ID 57195726895, Associate Professor of the Transport and Mechanical Engineering Department, M. Kozybayev North Kazakhstan University (150000, North Kazakhstan region, Petropavlovsk, Pushkin 86, e-mail: cavinkin7@mail.ru).

Ivan V. Shagaev, Graduate Student of the Transport and Mechanical Engineering Department, M. Kozy-

bayev North Kazakhstan University (150000, North Kazakhstan region, Petropavlovsk, Pushkin str., 86, e-mail: shagaevv@mail.ru).

Sergey V. Savinkin, Post-graduate Student of the Technology of Transport Engineering and Repair of Rolling Stock Department, Omsk State University of Railways and Communications (644046, Russia, Omsk, Marks ave., 35, e-mail: syava-sv@yandex.ru).

Andrei V. Sandu, PhD, Professor, the Materials science and engineering Department, ORCID ID: 0000-0002-9292-749X, Gheorghe Asachi Technical University in Iasi (Boulevard D. Mangeron, No. 51, 700050 Iasi, Romania; sav@tuiasi.ro).