

## Разработка и моделирование автоматизированной линии ремонта колесных пар

Е. А. Рожкова, И. В. Ковригина, Д. Г. Налабордин✉

*Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита, Российская Федерация*

✉ denis\_gn@mail.ru

### Резюме

С каждым годом вагонный парк все больше совершенствуется, проектируются и внедряются новейшие вагоны. Растет количество единиц подвижного состава и увеличивается оборот вагона. Все эти и множество других факторов, безусловно, требуют улучшения обслуживания и ускорения ремонта, при этом затраты на ремонт необходимо минимизировать, а его качество не должно ухудшаться. Самым лучшим решением является внедрение автоматизации в процесс ремонта вагонов, что позволит повысить производительность труда и тем самым прийти к увеличению объема готовой продукции, облегчить условия труда работников и повысить качественные показатели деятельности вагоноремонтной отрасли. В работе рассматривается повышение эффективности процессов обточки колесных пар за счет их автоматизации. Улучшение производственного процесса происходит путем назначения оптимальных режимов (в частности, автоматизации измерения поверхности катания колесных пар) и параметров обточки. Приведенный статистический анализ отцепок вагонов в текущий ремонт показал, что ежегодно на сети дорог во внеплановый ремонт отцепляется более 800 тыс. вагонов, из которых 48 % имеют неисправность колесных пар. Поэтому вопросы, связанные с изучением показателей надежности работы колесных пар в эксплуатации и организации их ремонта, остаются актуальными для вагонного хозяйства железных дорог. В результате статистического моделирования доказано, что наработка колесной пары до первой обточки подчиняется нормальному закону распределения, а математическое ожидание наработки до первой обточки составляет 86 тыс. км.

### Ключевые слова

ресурс колесной пары, автоматизированная линия, обточка колесной пары, параметры колесных пар, дефект колес, механизм подачи, токарный станок, пневмопривод, отцепки вагонов, сетевая статистика, математическое моделирование, закон распределения, наработка на отказ, подъемно-поворотный механизм, кассетный подшипник

### Для цитирования

Рожкова Е.А. Разработка и моделирование автоматизированной линии ремонта колесных пар / Е.А. Рожкова, И.В. Ковригина, Д.Г. Налабордин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – № 3(67). – С. 32–40. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.3(67).32-40

### Информация о статье

поступила в редакцию: 21.04.2020, поступила после рецензирования: 15.05.2020, принята к публикации: 22.10.2020

## Development and modeling of an automated wheelset repair line

E. A. Rozhkova, I. V. Kovrigina, D. G. Nalabordin✉

*The Trans-Baikal Institute of Railway Transport, Chita, the Russian Federation*

✉ denis\_gn@mail.ru

### Abstract

Every year the railcar fleet is being improved more and more, the latest railcars are being designed and implemented. There is an increase in the number of units of rolling stock and an increase in the railcar turnaround. All these and many other factors, of course, require improved maintenance and faster repairs. In this case, the cost of repair and its quality should not deteriorate. The best solution is to introduce automation in the railcar repair process, which will increase labor productivity, thereby increasing the volume of finished products, ease working conditions for the staff and improve the quality indicators of the railcar repair industry. The present work considers an increase in the efficiency of wheelsets turning processes due to the introduction of automation of the process itself. The possibility of improving the production process is achieved by assigning optimal process conditions, in particular, by automating the measurement of the wheelset tread and assigning turning parameters. The above statistical analysis of railcar uncouplings for routine repairs showed that annually more than 800 thousand railcars are uncoupled on the road network for unscheduled repairs, of which 48 % are wheelset malfunctions. Thus the issues associated with studying the reliability indicators of wheelsets in operation and their organization repairs remain relevant for the railcar economy of railways. As a result of statistical modeling, it was proved that the running time of the wheelset before the first turning obeys the normal distribution law, and the mathematical expectation of working hours before the first turning is 86 thousand km.

### Keywords

wheelset expected life, automated line, wheelset turning, measurement of wheelset parameters, wheel defects, feeding mechanism, lathe machine, pneumatic drive, rail car uncoupling, network statistics, mathematical modeling, distribution law, running time between failure, elevating-and-traversing mechanism, cassette bearing

**For citation**

Rozhkova E. A., Kovrigin I. V., Nalabordin D. G. Razrabotka i modelirovanie avtomatizirovannoi linii remonta kolesnykh par [Development and modeling of an automated wheelset repair line]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemy analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2020, No. 3(67), pp. 32–40. 10.26731/1813-9108.2020.3(67).32-40

**Article Info**

Received: 21.04.2020, Revised: 15.05.2020, Accepted: 22.10.2020

**Введение**

Данная работа посвящена решению теоретических, конструктивных и экономических задач, а также разработке и внедрению средств автоматизации в вагонном хозяйстве. С каждым годом вагонный парк все больше совершенствуется, проектируются и внедряются новейшие вагоны. Происходит рост количества единиц подвижного состава и увеличивается оборот вагона. Все эти и множество других факторов, безусловно, требуют улучшения обслуживания и ускорения ремонта. При этом необходимо минимизировать затраты на ремонт, а его качество не должно ухудшаться. Самым лучшим решением является внедрение автоматизации производственных процессов в вагоноремонтную отрасль [1–5], что сформирует условия для роста качественных характеристик работы вагоноремонтных предприятий.

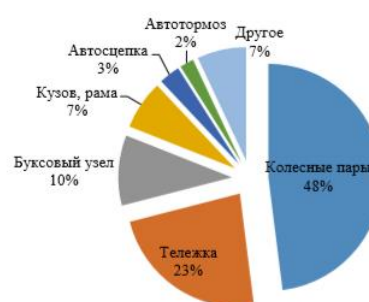
**Статистическое моделирование ресурса колесной пары**

Статистический анализ отцепок вагонов в текущий ремонт показывает, что ежегодно на сети дорог во внеплановый ремонт отцепляется более 800 тыс. вагонов, 48 % из них имеют неисправности колесных пар (рис. 1). Естественно, что вопросы, связанные с изучением показателей надежности работы колесных пар в эксплуатации и организации их ремонта были и остаются актуальными для вагонного хозяйства железных дорог [6–10].

Для математического моделирования ресурса колесной пары до первой обточкой в эксплуатации (после проведения текущего или среднего ремонта) воспользуемся сетевой статистикой (табл. 1).

Статистическое моделирование будем строить на гипотезе о том, что наработка колесной пары до первой обточкой распределена по нормальному зако-

ну (закону Гаусса). Порядок выравнивания эмпирических данных представлен далее (табл. 2), а также параметры статистического распределения (табл. 3) и гистограмма распределения (рис. 2).



**Рис. 1.** Поступление вагонов в текущий ремонт по видам неисправностей

**Fig. 1.** Reception of railcars for routine repairs by type of malfunction

**Таблица 1.** Статистическое распределение наработки колесных пар до первой обточкой

**Table 1.** Statistical distribution of wheelset running time before the first turning

| Наработка, тыс. км. | Интервалы |         |         |         |         |          |           |           |           |           |
|---------------------|-----------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                     | (0–25)    | (25–40) | (40–55) | (55–70) | (70–85) | (85–100) | (100–115) | (115–130) | (130–145) | (145–160) |
| Частота             | 4         | 8       | 12      | 16      | 19      | 16       | 12        | 7         | 4         | 2         |

**Таблица 2.** Выравнивание наработок колесных пар до первой обточкой в соответствии с нормальным законом распределения

**Table 2.** Alignment of the wheelset running time before the first turning in accordance with the normal distribution law

| Середина интервала | Показатель и значение |                       |                    |                    |                  |                       |                   |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|------------------|-----------------------|-------------------|
|                    | Частота               | Относительная частота | Выборочное среднее | Значение аргумента | Значение функции | Теоретическая частота | Значение $\chi^2$ |
| 25                 | 4                     | 0,04                  | 1,0                | -1,94              | 0,0790           | 3,76                  | 0,01              |
| 40                 | 8                     | 0,08                  | 3,20               | -1,46              | 0,1647           | 7,85                  | 0,00              |
| 55                 | 12                    | 0,12                  | 6,60               | -0,99              | 0,2756           | 13,13                 | 0,10              |
| 70                 | 16                    | 0,16                  | 11,20              | -0,51              | 0,3697           | 17,61                 | 0,15              |
| 85                 | 19                    | 0,19                  | 16,15              | -0,03              | 0,3977           | 18,95                 | 0,00              |
| 100                | 16                    | 0,16                  | 16,00              | 0,44               | 0,3448           | 16,43                 | 0,01              |

| Середина интервала | Показатель и значение |                       |                    |                    |                  |                       |                   |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|------------------|-----------------------|-------------------|
|                    | Частота               | Относительная частота | Выборочное среднее | Значение аргумента | Значение функции | Теоретическая частота | Значение $\chi^2$ |
| 115                | 12                    | 0,12                  | 13,80              | 0,92               | 0,2396           | 11,42                 | 0,03              |
| 130                | 7                     | 0,07                  | 9,10               | 1,40               | 0,1334           | 6,36                  | 0,07              |
| 145                | 4                     | 0,04                  | 5,80               | 1,87               | 0,0596           | 2,84                  | 0,47              |
| 160                | 2                     | 0,02                  | 3,20               | 2,35               | 0,0213           | 1,01                  | 0,96              |
| $\Sigma$           | 100                   | 1,00                  | 86,05              |                    |                  | 99,36                 | 1,80              |

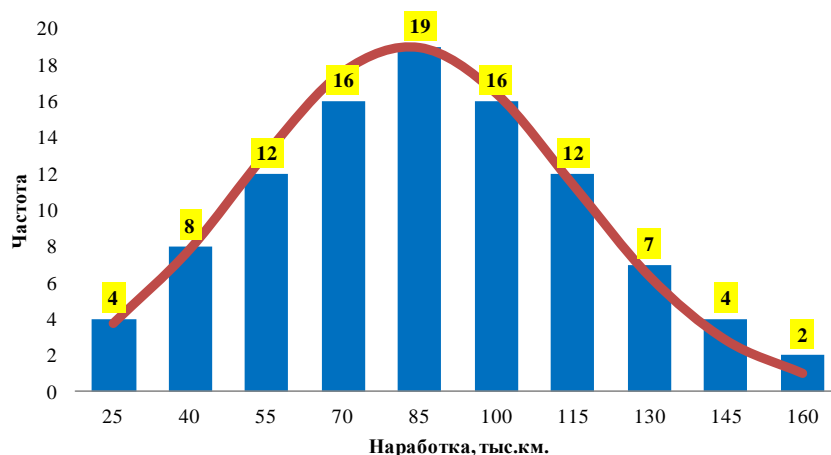


Рис. 2. Гистограмма распределения наработки колесной пары до первой обточки в сравнении с кривой нормального распределения

Fig. 2. Histogram of the distribution of the wheelset running time before the first turning in comparison with the normal distribution curve

Таблица 3. Основные характеристики нормального распределения наработки колесных пар до первой обточки

Table 3. Main characteristics of the normal distribution of the wheelset running time before the first turning

| Основные параметры распределения | Параметр   |  |
|----------------------------------|--|--|
|                                  | Расчетная формула, обозначение   | Значение   |
| Плотность вероятности            | $f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$                  | –  |
| Параметры распределения          | $\begin{cases} \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i \\ \sigma = \sqrt{D(x)} \end{cases}$ | $\begin{cases} \bar{x} = 86 \\ \sigma = 31,48 \end{cases}$ |

Таким образом, в результате статистического моделирования доказано, что наработка колесной пары до первой обточки подчиняется нормальному закону распределения. Математическое ожидание наработки до первой обточки составляет 86 тыс. км. Учитывая, что межремонтный ресурс вагона составляет 160 тыс. км, отказ колесной пары вагона можно считать практически достоверным событием.

#### Разработка элементов автоматизированной линии

При анализе технологических процессов вагоноремонтного производства, подлежащих автоматизации, необходимо учитывать, что практически любой

из них можно представить как совокупность следующих простых операций:

- механических (поступательное перемещение, вращательное движение);
- тепловых и диффузионных (нагревание, охлаждение, сушка и пр.);
- пневмогидравлических (наполнение и опорожнение емкости жидкостью или газом).

Эти операции в первую очередь подлежат автоматизации [11].

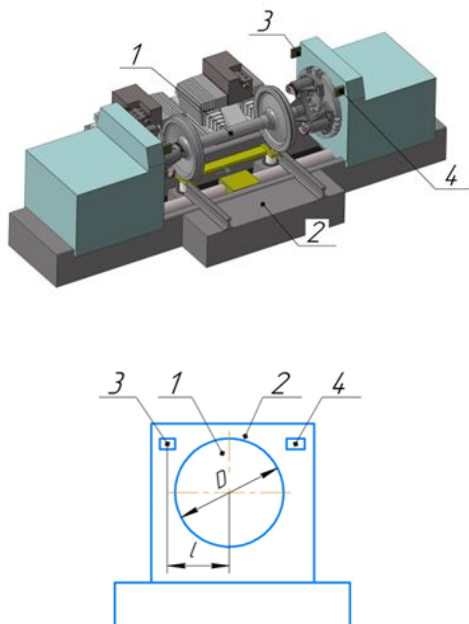
Главными причинами появления дефектов колесной пары являются жесткие условия эксплуатации, некачественное рельсовое полотно, экстренное торможение, некачественный материал колесной

пары, взаимодействие колеса с рельсом и изношенными колодками. Также появлению дефектов способствуют ошибки персонала, обусловленные усталостью, невнимательностью, некачественным обучением; несоблюдение технологических режимов; нарушение технологии изготовления колесной пары; нарушение режимов обработки; погрешности средств измерения, связанные с несвоевременной их проверкой; недостаточный контроль за техническими процессами и безопасностью [12].

Улучшение параметров обточка достигается путем выбора оптимальных параметров режимов обточка [13, 14] и автоматизации самой технологии, в частности, автоматизации измерения поверхности катания колесных пар и назначения параметров обточка. Для этого можно применить бесконтактный метод контроля профиля колеса с назначением параметров обточка [15, 16].

Для обработки профиля колеса необходимо предварительно определить разность между контуром профиля колеса, параметры которого содержатся в памяти системы и контуром профиля обрабатываемого колеса, т. е. непосредственным изображением профиля контура, которое достигается посредством ввода его в память устройства. Для этого используется цифровая камера (рис. 3).

На токарном станке «рафамет» 2, закреплено обрабатываемое колесо 1, на определенном расстоянии  $l$  от него располагается цифровая камера 3, на которую проецируется изображения профиля колеса 1. Повысить четкость изображения позволяет дополнительный источник света 4.



**Рис. 3.** Расположения цифровой камеры на станке  
**Fig. 3.** Positioning the digital camera on the machine

Следующим этапом являлся перевод цветного изображения в монохромное и сравнение с эталонным профилем (рис. 4).

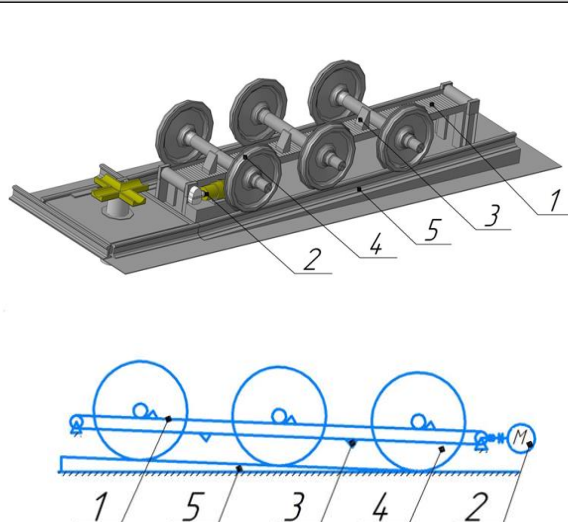


**Рис. 4.** Полученное изображение профиля колеса и конвертированное в монохромное изображение с наложением линии эталонного профиля  
**Fig. 4.** The resulting image of the wheel profile and converted into a monochrome image with the overlapping of the reference profile line

Данные о полученном профиле хранятся в библиотеке системы и вызываются оператором перед началом обработки. Они выводятся на дисплей в виде маски, с которой сравнивается реальный профиль. На основании результатов этих сравнений назначается глубина резания, количество проходов, подача (частота вращения шпинделя назначается оператором), формируется траектория. Режимы обработки, т. е. величины продольных и поперечных подач назначаются автоматически в зависимости от установленной частоты вращения шпинделя, при этом система может рекомендовать оператору установить частоту вращения шпинделя в необходимом диапазоне, а уже значения подач назначить оптимальными [17].

Для автоматизации перемещения колесных пар был разработан механизм, позволяющий осуществлять накопление, а также поштучную подачу на станок.

Конструкция механизма представляет собой сварную раму 1 с установленным двигателем 2 и цепью 3 (рис. 5). Колеса перемещаются по рельсовому пути 4 находящемуся под углом  $1^\circ$ .



**Рис. 5.** Схема механизма:

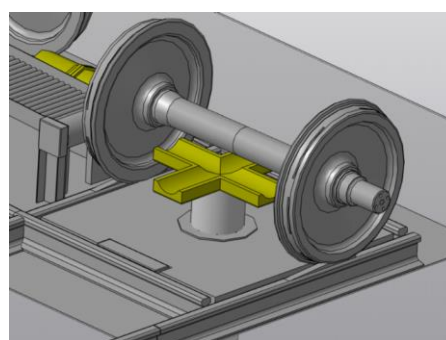
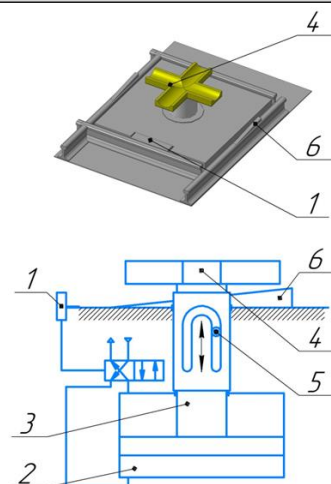
- 1 – приводная цепь; 2 – электродвигатель;  
3 – ограничители с роликами;  
4 – колесная пара; 5 – рельсовое полотно с уклоном
- Fig. 5.** Mechanism diagram:  
1 – actuator chain; 2 – electric motor; 3 – limiters with rollers; 4 – wheelset; 5 – track with a slope

Механизм подачи работает следующим образом. Колесная пара, попадая на механизм подачи, опирается на ограничители с роликами. Поштучная подача на позицию автоматизированной линии осуществляется за счет вращения цепи электроприводом. Цепь перемещается в специальном лотке с роликами. После прохождения колесом путевого датчика, электродвигатель прекращает вращаться.

В проектируемом механизме подачи колесных пар необходим электродвигатель, отвечающий следующим требованиям: малые габаритные размеры (возможность вписать в пространство между рельсами), частота вращения выходного вала 15 об./мин, предохранитель обратного хода. Рассчитывается двигатель на возможность подъема колес в обратную сторону.

Для изменения направления движения колесной пары в цехе используется автоматический подъемно-поворотный механизм (рис. 6), его же и предлагается использовать для автоматизированной линии.

Колесная пара наезжает на рычаг 1, воздух начинает поступать в пневмоцилиндр 2, что приводит в движение шток 3 и колесная пара за ось поднимается крестовиной 4. На штоке закреплен ролик 5, который движется вверх по пазу в трубе, где находится шток. Когда ролик достиг верхней точки паза, подача воздуха в пневмоцилиндр прекращается, а за счет ролика под действием собственного веса шток проворачивается на 90° и движется вниз. Колесная пара опускается на уклон 6, за счет которого катится на следующую позицию.



**Рис. 6.** Модель подъемно-поворотного механизма:

- 1 – рычаг; 2 – пневмоцилиндр; 3 – шток;  
4 – крестовина; 5 – ролик; 6 – уклон
- Fig. 6.** Model of the elevating-and-traversing mechanism:  
1 – lever; 2 – pneumatic cylinder; 3 – stock;  
4 – crosspiece; 5 – roller; 6 – slope

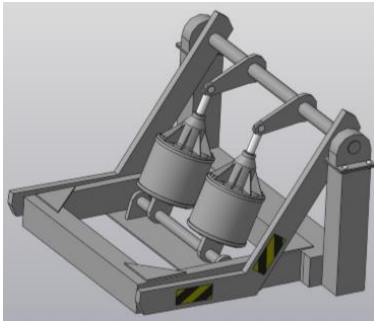
Механизм подъема колесной пары предназначен для перемещения колесной пары с рельсовой колеи, расположенной на «нулевой» отметке колесного цеха, на рельсовую колею, расположенную на повышенном пути. В данном случае подъем будет осуществляться на один из станков, так как он приподнят на высоту 840 мм.

Управление механизмом осуществляется с пульта управления расположенной рядом технологической позиции или в автоматическом режиме по алгоритму, заложенному в программу.

Конструктивно механизм состоит из рамы, на которую смонтированы пневматический привод механизма подъема (качалки), рычаги, кронштейны и сам механизм подъема.

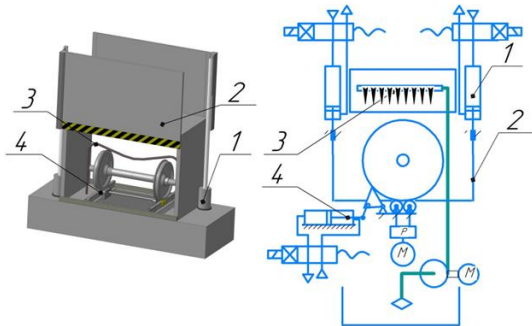
Колесная пара закатывается на раму механизма подъема, по команде оператора включается пневмопривод механизма подъема, который своими рычагами захватывает колесную пару и поднимает ее на заданную высоту, устанавливая на повышенный путь, колесная пара скатывается с рычагов. После завершения

цикла подъема колесной пары механизм автоматически приводится в исходное состояние (рис. 7).



**Рис. 7.** Модель механизма подъема  
**Fig. 7.** Model of the elevating mechanism

В предлагаемой модели кожух заменили стационарным корпусом 2 с дверью 3. В ней открытие дверей происходит за счет пневмоцилиндра 4. Гидросистему моечной машины 1 оставили прежней (рис. 8).



**Рис. 8.** Модель моечной машины:  
1 – пневмопривод дверей; 2 – дверь; 3 – сопла гидросистемы; 4 – пневмопривод выталкивателя

**Fig. 8.** Washer model:

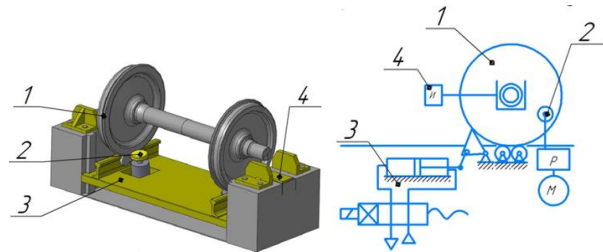
1 – pneumatic door drive; 2 – door; 3 – hydraulic system nozzles; 4 – pneumatic drive of the ejector

Рассмотрим ОМСД-03 – автоматизированный комплекс вибродиагностики буксовых узлов колесных пар подвижного состава для грузовых и пассажирских вагонов (рис. 9). Стенд вращения колесной пары обеспечивает:

- разгон колесной пары до частоты не менее 280 об./мин;
- торможение и остановку в заданном режиме;
- измерение частоты вращения с помощью оптического датчика.

В данной установке полностью исключено влияние человеческого фактора. Организован режим автоизмерения, позволяющий в автоматическом режиме с учетом проведения обкатки колесной пары, производить весь цикл работ. Данная операция сводит к минимуму влияние человека на весь процесс диагностики, измерения проводятся на заданной постоянной частоте вращения.

В программный комплекс диагностики механизмов (ПКДМ) добавлена возможность измерения температуры буксовых узлов, что позволяет использовать бесконтактные пирометры, результаты которых учитываются в диагностике. Комплекс оснащен автоматическим выталкивателем колесной пары.



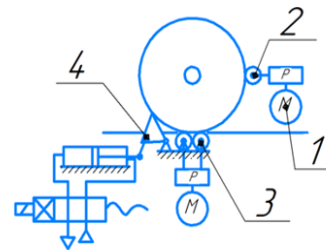
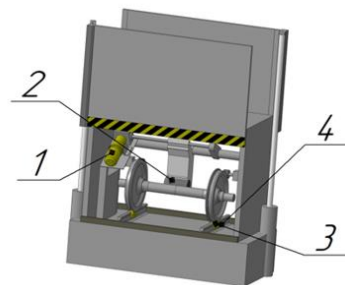
**Рис. 9.** Модель ОМСД-03:

1 – колесная пара; 2 – приводной ролик;  
3 – пневмопривод выталкивателя;  
4 – датчики контроля

**Fig. 9.** Model OMSD-03:

1 – wheelset; 2 – actuator roller; 3 – pneumatic drive of the ejector; 4 – control sensors

Для автоматизированной линии также используется оборудование, планируемое к закупке или уже используемое в цехе, например, механизм механической очистки колесных пар (рис. 10).



**Рис. 10.** Модель механизма механической очистки колесных пар:

1 – электропривод щеток; 2 – щетки; 3 – вращающиеся ролики; 4 – выталкиватель

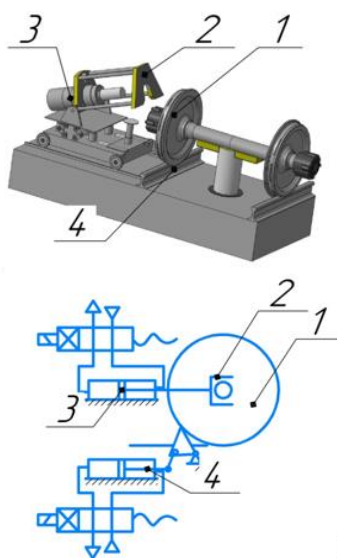
**Fig. 10.** Model of the mechanism for mechanical cleaning of wheelsets:

1 – electric actuator of brushes; 2 – brushes; 3 – rotating rollers; 4 – ejector

Колесная пара через входную дверь, поднимающуюся вверх, подается на ролики механизма вращения. По направляющим подвигаются щетки к оси и поверхностям катания колесной пары. По окончании процесса очистки колесная пара выталкивается из моечной машины. Общее время очистки колесной пары 10–12 мин.

Устройство для демонтажа буксовых узлов УДБ-2 (рис. 11) предназначено для демонтажа буксовых узлов и кассетных подшипников с шеек осей вагонных колесных пар в условиях вагоноремонтных заводов и ремонтных цехов железнодорожных депо.

Типы осей, подлежащих обработке – РУ1 и РУ1Ш [18]. Демонтаж внутренних колец подшипников и лабиринтного кольца с шейки оси производится в холодном состоянии. Установка комплектуется захватывающим приспособлением, обеспечивающим различные варианты технологий демонтажа, в том числе для съема грузовой буксы в сборе, буксы пассажирского вагона в сборе, внутренних колец и лабиринтного кольца [19].



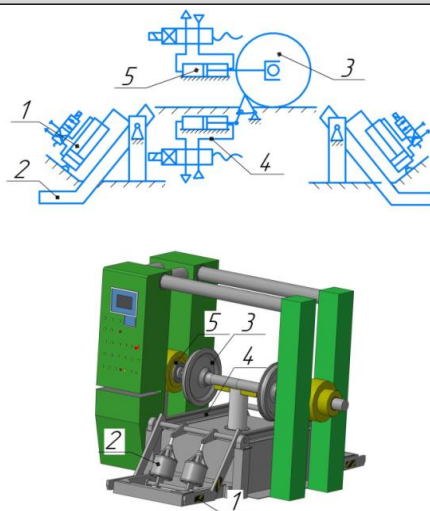
**Рис. 11.** Модель устройства для демонтажа буксовых узлов УДБ-2:

1 – колесная пара; 2 – захват; 3 – пневмопривод демонтажа; 4 – выталкиватель

**Fig. 11.** Model of the device for dismantling axlebox units UDB-2:

1 – wheelset; 2 – capture; 3 – pneumatic drive for dismantling; 4 – ejector

Пресс для монтажа букс ГД-503м (рис. 12) предназначен для напрессовки буксового узла на оси колесных пар типов РУ1-950, РУ1Ш-950, кассетных подшипников на оси колесных пар РУ1-950, РУ1Ш-950, РВ2Ш. Обеспечивается поэлементная напрессовка, совместная напрессовка, напрессовка буксового узла в сборе с подшипниками и корпусом буксы. Предусмотрена напрессовка кассетного подшипника.



**Рис. 12.** Модель устройства для монтажа букс ГД-503м:

1 – пневмопривод; 2 – рычаг подъема; 3 – колесная пара; 4 – механизм выталкивания; 5 – механизм распрессовки

**Fig. 12.** Model of the device for mounting the axle boxes GD-503m:

1 – pneumatic drive; 2 – lifting lever; 3 – wheelset; 4 – ejection mechanism; 5 – pressing-out mechanism

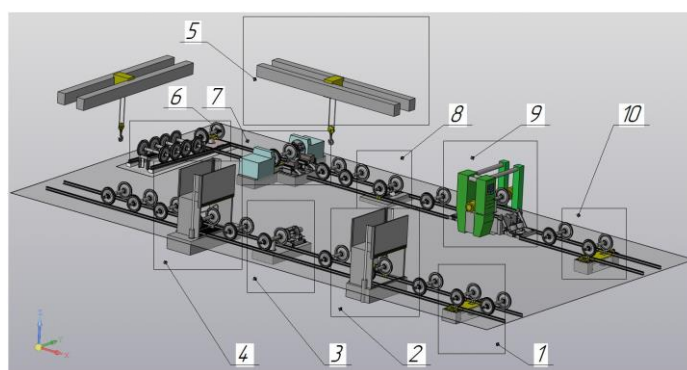
Усилие запрессовки в цифровом виде и диаграмма отображаются на экране промышленного компьютера, параметры процесса запрессовки сохраняются в памяти компьютера с возможностью многократного просмотра на экране и вывода на бумажный носитель в виде документа-отчета.

По разработанной схеме смоделируем автоматизированную линию (рис. 13)

### Заключение

Интенсивность эксплуатации подвижного состава требует максимального сокращения времени нахождения вагонов в неисправном состоянии. Поэтому необходимо создать условия для механизации и автоматизации производственного процесса, которые будут обеспечивать высококачественный ремонт и рост производительности труда, а также снижение трудоемкости и себестоимости ремонта. Расходы на ремонт колесной пары рассчитаны из учета сокращения норм времени на технологические операции и увеличения программы ремонта. Сокращение норм технологических операций достигается путем учета технологических и межоперационных действий:

- использование нового технологического оборудования, способного осуществлять больший выпуск продукции, позволяющего сократить время на определение параметров обточки колесной пары;
- автоматизация поворота и перемещений колесной пары на позицию;
- совершенствование обмывки колесных пар;
- рациональная перестановка оборудования.



**Рис. 13.** Модель автоматизированной линии:

1 – позиция входного контроля ОМСД-03; 2 – позиция механической очистки;  
3 – позиция демонтажа буксового узла; 4 – позиция обмывки колесных пар; 5 – позиция перемещения краном;  
6 – позиция накопления автоматической подачи; 7 – позиция обточки; 8 – позиция неразрушающего контроля; 9 – позиция монтажа букс; 10 – позиция выходного контроля МСД-03

**Fig. 13.** Model of the automated line:

1 – position of incoming control OMSD-03; 2 – position for dismantling the axle box unit; 3 – position for washing wheel pairs; 4 – position for mechanical cleaning; 5 – position for movement by crane; 6 – position for accumulation by automatic feeding; 7 – turning position; 8 – position for non-destructive testing; 9 – position for mounting of axle boxes; 10 – position for the output control OMSD-03

### Список литературы

1. Болотин М.М., Иванов А.А. Системы автоматизации производства и ремонта вагонов : учеб. М. : УМЦ по образованию на ж.-д. трансп., 2016. 336 с.
2. Проектирование вагоноремонтных предприятий: учеб. для вузов ж.-д. транспорта / К.А. Сергеев и др. М. : УМЦ по образованию на ж.-д. трансп., 2009. 265 с.
3. Болотин М.М., Осинковский Л.Л. Автоматизация производственных процессов при изготовлении и ремонте вагонов : учеб. для вузов ж.-д. транспорта. М. : Транспорт, 1989.
4. Болотин М.М. Методические указания по курсовому проектированию по дисциплине «Системы автоматизации производства и ремонта вагонов» для студентов специальности «Вагоны». М. : МИИТ, 2002. 51 с.
5. Болотин М.М. Системы автоматизации производства и ремонта вагонов : метод. указания по выполнению лабораторных работ в среде электронных таблиц Excel. М. : МИИТ, 2002. 132 с.
6. Четвергов В.А., Пузанков А.Д. Надежность локомотивов : учеб. для вузов ж.-д. транспорта. М. : Маршрут, 2003. 415 с.
7. Пузанков А.Д. Методы расчета и использования показателей надежности в эксплуатации : учеб. пособие для вузов ж.д. трансп. М. : МИИТ, 2004. 112 с.
8. Надежность тепловозов / В.Н. Вознюк, И.Ф. Пушкарев, Т.В. Ставров и др. М. : Транспорт, 1991. 160 с.
9. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных производственных систем. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Энергоатомиздат, 1986. 480 с.
10. Ушаков И.А. Курс теории надежности систем : учеб. пособ. для вузов. М. : Дрофа, 2008. 239 с.
11. Садовов Г.Д., Рожкова Е.А. Анализ применения автоматизированного оборудования в технологическом процессе ремонта колесных пар // Наука и молодежь : сб. тр. третьей Всероссийской науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Иркутск : Изд-во ИрГУПС, 2017. С. 130–135.
12. Быков Б.В., Пигарев В.Е. Технология ремонта вагонов : учеб. для средних специальных учебных заведений ж.-д. трансп. М. : Желдориздат, 2001. 559 с.
13. Режимы резания металлов : справочник / под ред. Ю.В. Барановского. М.: Машиностроение, 1972. 408 с.
14. Справочник технолога-машиностроителя / А.М. Дальский и др. Т. 2. М. : Машиностроение-1, 2003. 944 с.
15. Блудов А.Н. Автоматизация процесса восстановления поверхностей катания колес грузового железнодорожного транспорта : дис. ... канд. техн. наук. Орел, 2014. 155 с.
16. Елисеев С.В., Математические модели и анализ динамических свойств механических систем / С.В. Елисеев, Н.В. Банина, А.А. Ахмадеева и др. Деп. 08.12.2009, № 782-В2009.
17. Полякова В.С. Рожкова Е.А. Разработка автоматизированной линии восстановления поверхности катания колесных пар // Наука и молодежь : сб. тр. IV Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Иркутск, 2018. С. 201–207.
18. ГОСТ 22780-77. Оси для вагонов железных дорог колеи 1520 (1524) мм. Типы, параметры и размеры. Введ. 1995-01-01. М. : Изд-во стандартов, 1995.
19. ЦВ-0143 Инструкция по эксплуатации и ремонту буксовых узлов колесных пар грузовых вагонов. ВНД У3 32.2.03.042-2014.

### References

1. Bolotin M.M., Ivanov A.A. Sistemy avtomatizatsii proizvodstva i remonta vagonov: ucheb. [Automation systems for the production and repair of railcars: textbook]. Moscow: Training and Methodological Center for Education in Railway Transport, 2016. 336 p.



2. Sergeev K.A. et al. Proektirovanie vagonremontnykh predpriyati: ucheb. dlya vuzov zh.-d. transporta [Design of railcar repair enterprises: a textbook for railway transport universities]. In Sergeev K.A. (ed.) Moscow: Training and Methodological Center for Education in Railway Transport, 2009. 265 p.
3. Bolotin M.M., Osinovskii L.L. Avtomatizatsiya proizvodstvennykh protsessov pri izgotovlenii i remonte vagonov: ucheb. dlya vuzov zh. -d. transporta [Automation of production processes in the manufacture and repair of railcars: a textbook for railway transport universities]. Moscow: Transport Publ., 1989.
4. Bolotin M.M. Metodicheskie ukazaniya po kursovomu proektirovaniyu po distsipline «Sistemy avtomatizatsii proizvodstva i remonta vagonov» dlya studentov spetsial'nosti «Vagony» [Methodical instructions for course designing in the discipline "Automation systems for the production and repair of railcars" for students of the specialty "Railcars"]. Moscow: MIIT Publ., 2002. 51 p.
5. Bolotin M.M. Sistemy avtomatizatsii proizvodstva i remonta vagonov: metodicheskie ukazaniya po vypolneniyu laboratornykh rabot v srede elektronnykh tablits Excel [Automation systems for the production and repair of railcars: guidelines for laboratory work in the Excel spreadsheet environment]. Moscow: MIIT Publ., 2002. 132 p.
6. Chetvergov V.A., Puzankov A.D. Nadezhnost' lokomotivov: ucheb. dlya vuzov zh.-d. transporta [Reliability of locomotives: a textbook for railway transport universities]. Moscow: Marshrut Publ., 2003. 415 p.
7. Puzankov A.D. Metody rascheta i ispol'zovaniya pokazatelei nadezhnosti v ekspluatatsii: ucheb. posob. dlya vuzov zh.d. transp. [Methods for calculating and using indicators of reliability in operation: a textbook for railway transport universities]. Moscow: MIIT Publ., 2004. 112 p.
8. Voznyuk V.N., Pushkarev I.F., Stavrov T.V. et al. Nadezhnost' teplovozov [Reliability of diesel locomotives]. Moscow: Transport Publ., 1991. 160 p.
9. Druzhinin G.V. Nadezhnost' avtomatizirovannykh proizvodstvennykh sistem [Reliability of automated production systems]. 4<sup>th</sup> ed., revised and enlarged. Moscow: Energoatomizdat Publ., 1986. 480 p.
10. Ushakov I.A. Kurs teorii nadezhnosti sistem: ucheb. posob. dlya vuzov [The course of the theory of system reliability: a textbook for universities]. Moscow: Drofa Publ., 2008. 239 p.
11. Sadovov G.D., Rozhkova E.A. Analiz primeneniya avtomatizirovannogo oborudovaniya v tekhnologicheskom protsesse remonta kolesnykh par [Analysis of the use of automated equipment in the technological process of wheel set repair]. *Nauka i molodezh': sb. tr. tret'ei Vserossiiskoi nauch.-prakt. konf. studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Science and Youth: Proc. of the third All-Russian scientific and practical conf. for students, graduate students and young scientists]. Irkutsk: IrGUPS Publ., 2017. Pp. 130–135.
12. Bykov B.V., Pigarev V.E. Tekhnologiya remonta vagonov: ucheb. dlya srednikh spetsial'nykh uchebnykh zavedenii zh.-d. transp. [Railcar repair technology: a textbook for secondary specialized educational institutions of the railway transport]. Moscow: Zheldorizdat Publ., 2001. 559 p.: il.
13. Baranovsky Yu.V. (ed.) Rezhimy rezaniya metallov: spravochnik [Modes of cutting metals: a reference book]. In Moscow: Mashinostroenie Publ., 1972. 408 p.
14. Dal'skii A.M. et al. Spravochnik tekhnologa-mashinostroitel'ya [Handbook of a mechanical engineer]. Vol. 2. Moscow: Mashinostroenie-1 Publ., 2003. 944 p.
15. Bludov A.N. Avtomatizatsiya protsessa vosstanovleniya poverkhnosti kataniya koles gruzovogo zheleznodorozhnogo transporta: dis. ... kand. tekhn. nauk [Automation of the process of restoration of wheel treads in freight railway transport: Ph.D. (Engineering) diss.]. 2014. 155 p.
16. Eliseev S.V., Banina N.V., Akhmadeeva A.A., Gozbenko V.E. Matematicheskie modeli i analiz dinamicheskikh svoystv mekhanicheskikh sistem. Deponirovannaya rukopis' No.782-V2009 08.12.2009 [Mathematical models and analysis of the dynamic properties of mechanical systems. Deposited manuscript No. 782-B2009 08.12.2009].
17. Polyakova V.S. E. A Rozhkova Razrabotka avtomatizirovannoi linii vosstanovleniya poverkhnosti kataniya kolesnykh par [Development of an automated line for restoring wheel set treads] // *Nauka i molodezh': sb. tr. IV Vserossiiskoi nauch.-prakt. konf. studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (aprel' – mai 2018 g.)* [Proc. of IV All-Russian scientific and practical conf. of students, graduate students and young scientists (April – May 2018)]. Irkutsk: IrGUPS Publ., 2018. Pp. 201–207.
18. GOST 22780-77. Osi dlya vagonov zheleznykh dorog kolei 1520 (1524) mm. Tipy, parametry i razmery [Axles for railway cars of 1520 (1524) mm gauge. Types, parameters and sizes].
19. TsV-0143 Instruksiya po ekspluatatsii i remontu buksovykh uzlov kolesnykh par gruzovykh vagonov. VND UZ 32.2.03.042-2014 [TsV-0143 Instructions for the operation and repair of axle boxes for wheel sets of freight cars. VND UZ 32.2.03.042-2014].

### Информация об авторах

**Рожкова Елена Александровна** – канд. техн. наук, доцент, кафедра подвижного состава железных дорог, Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита, e-mail: helenuys@mail.ru

**Ковригина Инна Владимировна** – канд. техн. наук, доцент, кафедра подвижного состава железных дорог, Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита, e-mail: innabella84@mail.ru

**Налабордин Денис Геннадьевич** – старший преподаватель, кафедра подвижного состава железных дорог, Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита, e-mail: denis\_gn@mail.ru

### Information about the authors

**Elena A. Rozhkova** – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, the Subdepartment of Railway Rolling Stock, the Trans-Baikal Institute of Railway Transport, Chita, e-mail: helenuys@mail.ru

**Inna V. Kovrigina** – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, the Subdepartment of Railway Rolling Stock, the Trans-Baikal Institute of Railway Transport, Chita, e-mail: innabella84@mail.ru

**Denis G. Nalabordin** – Senior Lecturer, the Subdepartment of Railway Rolling Stock, the Trans-Baikal Institute of Railway Transport, Chita, e-mail: denis\_gn@mail.ru