

## Транспортные системы Transport systems

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.357

doi: 10.30987/2782-5957-2026-4-33-39

### ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ПУТЕВЫХ МАШИН ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМИ СПЛАВАМИ

Юрий Евгеньевич Кисель<sup>1</sup>, Алексей Сергеевич Зятиков<sup>2✉</sup>, Сергей Петрович Симохин<sup>3</sup>,  
Петр Евгеньевич Кисель<sup>4</sup>, Антон Михайлович Никитин<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Брянский государственный инженерно-технологический университет, Брянск, Россия

<sup>5</sup> Брянский государственный аграрный университет, Брянск, Россия

<sup>1</sup> yuekisel1972@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5986-3922>

<sup>2</sup> zassci@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0005-6377-3056>

<sup>3</sup> simonin77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1526-3906>

<sup>4</sup> ypk2@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-2653-2086>

<sup>5</sup> kafseo@bgsha.com, <https://orcid.org/0000-0002-8261-1969>

#### Аннотация

Установлены зависимости микротвердости, прочности сцепления и износостойкости электрохимических сплав на основе железа от содержания легирующих добавок в электролите и режимов электроосаждения. Определены режимы осаждения железо-кобальтовых осадков, износостойкость которых в условиях абразивного изнашивания в несколько раз превышает износостойкость закален-

ных высоколегированных сталей. Технология получения износостойких электрохимических сплавов апробирована на примере повышения долговечности захватных роликов подъемно-рихтовочного устройства путевой машины.

**Ключевые слова:** покрытия, износостойкость, микротвердость, транспорт, ремонтные путевые машины, подъемно-рихтовочное устройство.

Ссылка для цитирования:

Кисель Ю.Е. Повышение долговечности деталей путевых машин электрохимическими сплавами / Ю.Е. Кисель, А.С. Зятиков, С.П. Симохин и др. // Транспортное машиностроение. – 2026. – № 4. – С. 33-39. doi: 10.30987/2782-5957-2026-4-33-39.

Original article

Open Access Article

### INCREASING THE DURABILITY OF TRACK MACHINE PARTS BY ELECTROCHEMICAL ALLOYS

Yury Evgenievich Kisel<sup>1</sup>, Aleksey Sergeevich Zyatikov<sup>2✉</sup>, Sergey Petrovich Simokhin<sup>3</sup>,  
Petr Evgenievich Kisel<sup>4</sup>, Anton Mikhailovich Nikitin<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Bryansk State Technological University of Engineering, Bryansk, Russia

<sup>5</sup> Bryansk State Agrarian University, Bryansk, Russia

<sup>1</sup> yuekisel1972@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5986-3922>

<sup>2</sup> zassci@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0005-6377-3056>

<sup>3</sup> simonin77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1526-3906>

<sup>4</sup> ypk2@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-2653-2086>

<sup>5</sup> kafseo@bgsha.com, <https://orcid.org/0000-0002-8261-1969>

#### Abstract

The dependences of microhardness, adhesion strength, and wear resistance of iron-based electrochemical alloys based on alloying additives in the elec-

trolyte and electrodeposition modes are found. Deposition modes of iron-cobalt precipitates are determined, which wear resistance under conditions of abrasive

wear is several times higher than the wear resistance of hardened high-alloy steels. The technology for producing wear-resistant electrochemical alloys is tested using the example of increasing the durability of the gripping

rollers of lifting and lining equipment of a track machine.

**Keywords:** coatings, wear resistance, micro-hardness, transport, track repair machines, lifting and lining device.

*Reference for citing:*

*Kisel YuE, Zyatikov AS, Simokhin SP, Kisel PE, Nikitin AM. Increasing the durability of track machine parts by electrochemical alloys. Transport Engineering. 2026;4:33-39. doi: 10.30987/2782-5957-2026-4-33-39.*

## Введение

Современный железнодорожный транспорт РФ требует регулярного обслуживания и ремонта специализированной техники [1]. Для обеспечения бесперебойности перевозок железнодорожную и путевую технику необходимо обеспечивать надежными запасными частями, которые должны отвечать всем требованиям отраслевых стандартов качества [2]. Правильный подбор запчастей напрямую влияет на безопасность движения и срок службы техники. Особое внимание уделяется узлам, работающим в тяжелых условиях эксплуатации при повышенных нагрузках. На железной дороге используется множество специализированных механизмов, каждый из которых требует определенных комплектующих. Преждевременный выход из строя этих деталей снижает ресурс специальных железнодорожных машин и оборудования [1–3].

Применение электрохимических сплавов для повышения долговечности деталей железнодорожной техники является

актуальным и представляет большой практический интерес [4–6]. Современные электрохимические сплавы отвечают высоким требованиям современной техники к износостойкости и прочности конструкционных материалов [7, 8]. Нанесение подобных сплавов на рабочие поверхности быстроизнашиваемых деталей позволит значительно повысить их долговечность. Вопросы исследования свойств электрохимических сплавов, практики их получения и применения нашли отражение в многочисленных научных статьях и монографиях [9–11]. Вместе с тем недостаточное развитие теории получения износостойких сплавов сдерживает их применение в ремонтном производстве. Поэтому целью работы было исследование влияния состава и условий получения электрохимических покрытий на их работоспособность в тяжелых условиях эксплуатации на примере повышения долговечности захватных роликов рельс путевой машины.

## Материалы, модели, эксперименты и методы

Железо-кобальтовые сплавы осадили из электролита состава: железо хлористое – 500...550 кг/м<sup>3</sup>; кобальт сернокислый – 100...150 кг/м<sup>3</sup>. Анодную подготовку выполняли в 30% растворе серной кислоты [4,6]. Влияние режимов электроосаждения на микротвердость и износостойкость осадков изучали с применением пла-

на эксперимента ЦКР 2<sup>3</sup> [12]: температура электролита (Т) – от 30 до 80 °С, плотность тока ( $D_k$ ) – от 13,4 до 46,8 А/дм<sup>2</sup>, рН раствора – от 0,2 до 1,2. Микротвердость покрытий определяли по ГОСТ 9450-76. Исследования абразивной износостойкости покрытий проводили в соответствии с ГОСТ 23.208-79.

## Результаты исследований и их обсуждение

Установлено, что износ железо-кобальтовых покрытий в условиях абразивного изнашивания зависел от параметров электролиза (рис. 1). Наибольшее влияние на износостойкость оказывала температура электролита, снижение которой до

30...35 °С приводило к уменьшению износа сплавов. При повышении  $D_k$  до 35...40 А/дм<sup>2</sup> износостойкость сплавов увеличивалась до максимального значения (рис. 1б). Значение рН-электролита соответствующее минимальному износу осад-

ков было в центре плана эксперимента (рис. 1а, в).

При регрессионном анализе результатов факторного эксперимента были установлены условия электроосаждения сплавов, позволяющие получать осадки

износостойкостью в 2...3 раза большей по сравнению с закаленной сталью 65Г:  $pH$  электролита от 0,8 до 1,4;  $D_k$  – от 30 А/дм<sup>2</sup> до 50 А/дм<sup>2</sup>; температура электролита от 30 °С до 35 °С.

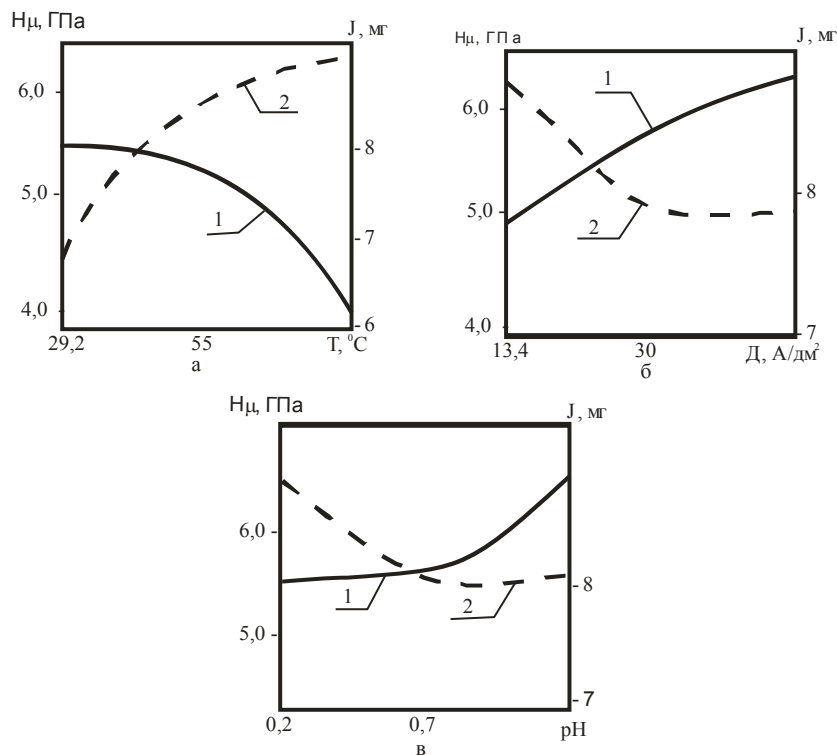


Рис. 1. Влияние режимов электроосаждения сплавов (а, б, в) на их микротвердость (1) и износ (2)  
 Fig. 1. Influence of electrolysis modes (a, b, c) on microhardness (1) and wear (2)

Апробацию технологического процесса проводили на примере повышения долговечности захватных роликов устройства для перемещения рельсов путевой

машины ВПР-02. Покрытие на детали наносили по схеме, представленной на рис. 2.

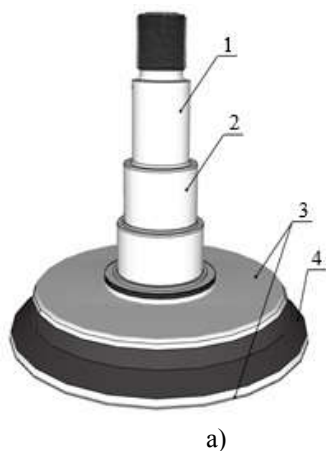


Рис. 2. Схема нанесения износостойких сплавов на рабочую поверхность ролика (а) и общий вид детали (б):  
 1 – вал ролика; 2 – защитное покрытие; 3 – защитные чехлы; 4 – упрочняемая поверхность

Fig. 2. Coating scheme (a) and general view of the part (b):  
 1 – roller shaft; 2 – protective coating; 3 – protective covers; 4 – hardened surface

Перед нанесением сплавов очистку, мойку и дефектовку деталей целесообразно проводить согласно требованиям [4]. Для удаления верхнего разрушенного и потерявшего первоначальную структуру слоя металла упрочняемую поверхность детали предварительно механически обрабатывали. Поверхности вала, не подлежащие электроосаждению, защищали чехлами из пластика и цапон-лаком (рис. 2). Лак необходимо было наносить в несколько слоев, что значительно увеличивало общее время на упрочнение деталей. В процессе нанесения покрытий происходило частичное отслоение лака, что приводило к дополнительному загрязнению электролита. Таким образом, более эффективно применять защитные чехлы из винипласта и пластика.

Предварительное обезжиривание упрочняемой поверхности деталей проводили в стандартном электролите согласно рекомендациям [4]. Режимы анодной обработки были установлены в работах [6, 7],

которые позволяют получать высокую прочность сцепления с основой до 300...400 МПа. Наряду с 30 % раствором серной кислоты можно рекомендовать проведение анодной обработки в менее агрессивном растворе алюминия сернокислого [4].

Покрытия наносили при режимах, отвечающих получению осадков с наибольшей износостойкостью. Покрытия получались равномерными, гладкими, без сколов и трещин, что позволило исключить последующую механическую обработку (рис. 3б). Нейтрализацию поверхности деталей после электроосаждения выполняли в соответствии с требованиями [4].

Электроосаждение износостойких сплавов на детали проводили в лаборатории Брянского ГИТУ. Для нанесения покрытий на ролики была создана опытная установка, откорректированы форма и размеры защитных экранов и подвесных приспособлений (рис. 3).

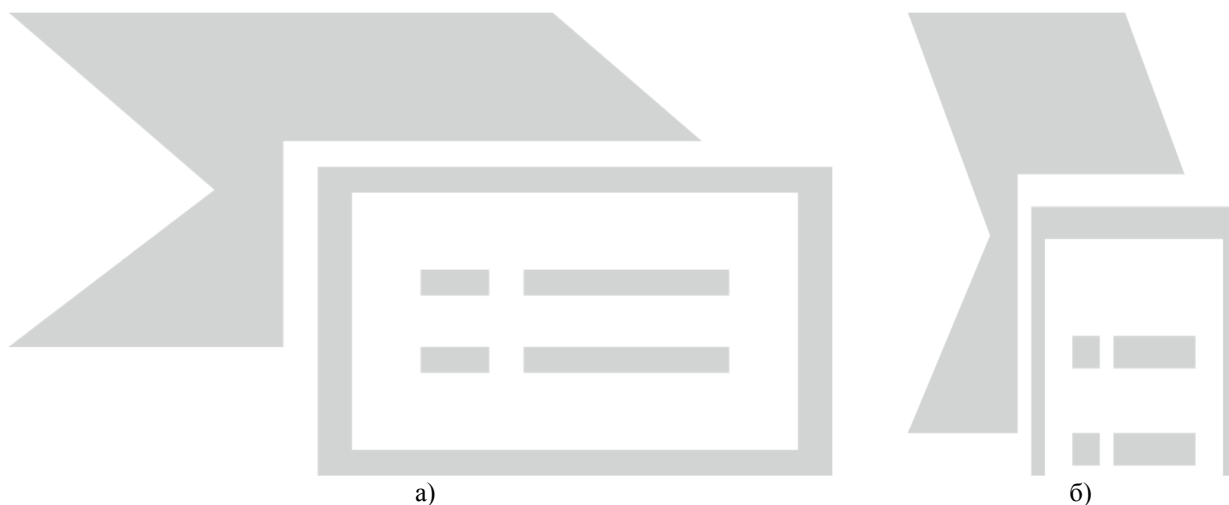


Рис. 3. Установка для электроосаждения сплавов на детали  
*Fig. 3. Experimental installation for applying alloys to parts*

Для испытания деталей в условиях эксплуатации была подготовлена партия роликов, на рабочую поверхность которых были нанесены покрытия Fe-Co толщиной 0,5...0,6 мм. Детали маркировали и смешанными комплектами устанавливали на путевую машину (рис. 4).

Испытания упрочненных деталей в условиях эксплуатации в целом подтвердили результаты лабораторных исследований. Электроосаждение сплава Fe-Co на

рабочую поверхность ролика позволяет повысить их износостойкость в 2...3 раза. Следует заметить, что технологический процесс упрочнения поверхностей быстроизнашиваемых деталей нанесением электрохимических сплавов имеет преимущества в сравнении с другими методами [4-6]. Для организации гальванического участка применяется относительно недорогое оборудование. Для приготовления электролитов используют легкодоступные

недорогие химические реактива. В отличие от наплавки, где каждая деталь упрочняется отдельно, электрохимические сплавы можно осаждать одновременно на партию деталей. В процессе электроосаждения

сплавов можно регулировать толщину и свойства осадков. Высокая равномерность наносимых осадков позволяют исключить окончательную механическую обработку.



Рис. 4. Проведение эксплуатационных испытаний деталей с покрытием  
*Fig. 4. Conducting operational tests of coated parts*

Отсутствие высокотемпературного нагрева деталей позволяет исключить коррозия металла. Эффективность внедрения технологии повышения долговечности деталей машин электрохимическими сплавами на предприятиях подтверждается экономическим расчетом [4, 6]. Затраты на нанесение гальванических покрытий в 3...4 раза ниже в сравнении с наплавкой материалов, имеющих подобную твердость и износостойкость. Исходя из ре-

зультатов сравнительных испытаний упрочненных роликов можно предположить, что целесообразно продолжить исследования в этой области. В качестве предложений можно рекомендовать опробовать электрохимические покрытия с более высокой твердостью и износостойкостью в сравнении со сплавами, например, композиционные электрохимические покрытия с включением металлокерамических частиц.

### **Вывод**

Установлены условия получения износостойких прочносцепленных железокобальтовых покрытий обладающих повышенной до 2...2,5 раз износостойкостью по сравнению с закаленными легированными сталями. Апробация технологического процесса нанесения электрохимиче-

ских покрытий на быстроизнашиваемые детали железнодорожной техники, на примере повышения долговечности захватных роликов ремонтной путевой машины, показала его высокую эффективность и целесообразность практического применения.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Семенов М.А. Организация эксплуатации и рабочих процессов снегоуборочных машин типа СМ и ПСС на основе автоматизированного мониторинга // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2022. № 2(61). С. 44-56.
2. Михеев С.Н. Технологические процессы ремонта и их применение в локомотиворемонтном комплексе // Локомотив. 2022. № 10. С. 5-6.
3. Майба И.А. Глазунов Д.В., Лященко А.М. Расчет показателей надежности подвижного состава в период нормальной эксплуатации // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2022. № 2. С. 33-40.
4. Надежность и ремонт машин. Под ред. В.В. Курчаткина. Москва : Колос, 2000. 775 с.
5. Сафонов В. В., Годунов Н. Б., Шишурин С. А., Семочкин В. С. Шишурин С.А. Восстановление

и упрочнение деталей сельскохозяйственной техники с применением новых материалов // Ремонт, восстановление, модернизация. 2012. №8. С. 36-40.

6. Гурьянов Г.В., Кисель Ю.Е. Электрохимические сплавы и композиты на основе железа. Брянск: Издательство БГИТА, 2015. 98 с.
7. Кисель Ю.Е., Симохин С.П., Мурачев С.А. Интенсификация восстановления деталей гидроаппаратуры железением в потоке электролита // Тракторы и сельхозмашины. 2021. Т. 88. № 4. С. 63-70.
8. Сафонов В.В., Шишурин С.А., Семочкин В.С. Наномодифицированные химические покрытия с улучшенными физико-механическими свойствами // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2014. №3. С. 18-22.

## REFERENCES

1. Semenov MA. Snowplows operation organization and work processes of the SM and PSS types based on automated monitoring. The Bulletin of Siberian State University of Railway Transport. 2022;2(61):44-56.
2. Mikheev SN. Technological processes of repair and their application in the locomotive assembly complex. Locomotive. 2022;10:5-6.
3. Maiba IA, Glazunov DV, Lyashchenko AM. Calculation of rolling stock reliability indicators during normal operation. Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2022;2:33-40.
4. Kurchatkin VV, editor. Reliability and repair of machines. Moscow: Kolos Publ; 2000.
5. Safonov VV, Godunov NB, Shishurin SA, Semochkin VS, Shishurin SA. Restoration and hardening of agricultural machinery parts using new materials. Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya (Repair, Restoration, Modernization). 2012;8:36-40.
6. Guryanov GV, Kisel YuE. Electrochemical alloys and composites based on iron. Bryansk: BGITA Publishing House; 2015.

## Информация об авторах:

**Кисель Юрий Евгеньевич** – доктор технических наук, профессор, кафедра ОТДиФ, Брянский государственный инженерно-технологический университет, тел.: +79208471071.

**Зятиков Алексей Сергеевич** – аспирант кафедры ОТДиФ, Брянский государственный инженерно-технологический университет, тел.: +79206075530.

**Симохин Сергей Петрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры ОТДиФ, Брянский гос-

**Kisel Yury Evgenievich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of General Technical Disciplines and Physics, Bryansk State Technological University of Engineering, phone: +79208471071.

**Zyatikov Aleksey Sergeevich** – Postgraduate student, Department of General Technical Disciplines and

ударственный инженерно-технологический университет.

9. Серебровский В.В., Серебровский В.И., Сафонов Р.И., Гнездилова Ю.П., Калущий Е.С. Электроосаждение железо-боридных покрытий //Электрика. 2015. № 11. С. 33-35.

10. Серебровский В.В., Серебровский В.И., Сафонов Р.И., Гнездилова Ю.П., Калущий Е.С. Упрочнение электроосажденных покрытий цианированием //Электрика. 2015. № 11. С. 31-33.

11. Андреева Л.Н., Гурьянов Г.В. Электроосаждение сплава железо-кобальт. Электронная обработка материалов. 1989, №2.С.20-23.

12. Сидняев Н. И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных : учебник и практикум для вузов. Москва: Издательство Юрайт, 2025. 495 с.

7. Kisel YuE, Simokhin SP, Murachev SA. Intensification of the recovery of hydraulic equipment parts by iron in the electrolyte flow. Tractors and Agricultural Machinery. 2021;88(4):63-70.

8. Safonov VV, Shishurin SA, Semochkin VS. Nanomodified chemical coatings with improved physico-mechanical properties. Innovations in agriculture: problems and perspectives. 2014;3:18-22.

9. Serebrovsky VV, Serebrovsky VI, Safronov RI, Gnezdilova YuP, Kalutsky ES. Electrodeposition of iron-boride coatings. Elektrika. 2015;11:33-35.

10. Serebrovsky VV, Serebrovsky VI, Safronov RI, Gnezdilova YuP, Kalutsky ES. Hardening of electrodeposited coatings by cyanidation. Elektrika. 2015;11:31-33.

11. Andreeva LN, Guryanov GV. Electrodeposition of iron-cobalt alloy. Electronic Processing of Materials. 1989;2:20-23.

12. Sidnyaev NI. Theory of experiment planning and analysis of statistical data: textbook and practical course for universities. Moscow: Yurait Publishing House; 2025.

**Кисель Петр Евгеньевич** – аспирант кафедры ОТДиФ, Брянский государственный инженерно-технологический университет.

**Никитин Антон Михайлович** – кандидат технических наук, доцент кафедры ЭиЭ, Брянский государственный аграрный университет.

Physics, Bryansk State Technological University of Engineering, phone: +79206075530.

**Simokhin Sergey Petrovich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of General Technical Disciplines and Physics, Bryansk State Technological University of Engineering.

**Kisel Petr Evgenievich** – Postgraduate student, Department of General Technical Disciplines and Physics, Bryansk State Technological University of Engineering

**Nikitin Anton Mikhailovich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Electrical Engineering, Bryansk State Agrarian University.

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.**  
**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**  
**The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья опубликована в режиме Open Access.**  
**Article published in Open Access mode.**

Статья поступила в редакцию 16.12.2025; одобрена после рецензирования 11.03.2026; принята к публикации 27.03.2026. Рецензент – Антипин Д.Я., кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог», директор учебно-научного института транспорта Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 16.12.2025; approved after review on 11.03.2026; accepted for publication on 27.03.2026. The reviewer is Antipin D.Ya., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Railway Rolling Stock, Director of the Educational and Scientific Institute of Transport at Bryansk State Technical University, member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.

\*  
\*\*

***В Брянском государственном техническом университете в 2026 году продолжается приём на новую специальность  
23.05.03 – Подвижной состав железных дорог,  
специализация «Технология производства и ремонта подвижного состава»***

*Подготовка предусматривает освоения фундаментальных основ конструкции, технического обслуживания и ремонта подвижного состава железных дорог с применением предиктивной аналитики, систем искусственного интеллекта и работы с большими объемами данных. Обучение организовано в интересах крупнейших предприятий в области обслуживания и ремонта подвижного состава таких, как ООО «Локотех», ОАО «РЖД», ООО «Новая вагоноремонтная компания» и другие.*

*Начиная со второго курса обучения студентам предоставляется возможность оплачиваемой стажировки на структурных подразделениях компаний с целью приобретения практических навыков необходимых для освоения профессий технолога и инженера. В рамках освоения программы значительное внимание уделяется современным методам прогнозирования технического состояния подвижного состава, системам массового обслуживания и ремонта сложных технических систем, прогнозирования фактического состояния ответственных узлов подвижного состава и оценке рисков возникновения аварийных ситуаций.*

*Приобретённые по программе специалитета компетенции позволят обучающимся стать высококвалифицированными специалистами, которые смогут применить полученные знания и навыки на практике, участвуя в реализации стратегических проектов по развитию железнодорожной инфраструктуры страны.*