

# JOURNAL OF TRANSPORT



ISSUE 2, 2025 vol. 2

E-ISSN: 2181-2438

ISSN: 3060-5164



RESEARCH, INNOVATION, RESULTS



**TOSHKENT DAVLAT  
TRANSPORT UNIVERSITETI**  
Tashkent state  
transport university



**JOURNAL OF TRANSPORT**  
RESEARCH, INNOVATION, RESULTS

**E-ISSN: 2181-2438  
ISSN: 3060-5164**

**VOLUME 2, ISSUE 2  
JUNE, 2025**



**jot.tstu.uz**

# TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

## JOURNAL OF TRANSPORT

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND SCIENTIFIC INNOVATION JOURNAL

VOLUME 2, ISSUE 2 JUNE, 2025

EDITOR-IN-CHIEF

SAID S. SHAUMAROV

*Professor, Doctor of Sciences in Technics, Tashkent State Transport University*

Deputy Chief Editor

Miraziz M. Talipov

*Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Tashkent State Transport University*

The “Journal of Transport” established by Tashkent State Transport University (TSTU), is a prestigious scientific-technical and innovation-focused publication aimed at disseminating cutting-edge research and applied studies in the field of transport and related disciplines. Located at Temiryo‘lchilar Street, 1, office 465, Tashkent, Uzbekistan (100167), the journal operates as a dynamic platform for both national and international academic and professional communities. Submissions and inquiries can be directed to the editorial office via email at [jot@tstu.uz](mailto:jot@tstu.uz).

The Journal of Transport showcases groundbreaking scientific and applied research conducted by transport-oriented universities, higher educational institutions, research centers, and institutes both within the Republic of Uzbekistan and globally. Recognized for its academic rigor, the journal is included in the prestigious list of scientific publications endorsed by the decree of the Presidium of the Higher Attestation Commission No. 353/3 dated April 6, 2024. This inclusion signifies its role as a vital repository for publishing primary scientific findings from doctoral dissertations, including Doctor of Philosophy (PhD) and Doctor of Science (DSc) candidates in the technical and economic sciences.

Published quarterly, the journal provides a broad spectrum of high-quality research articles across diverse areas, including but not limited to:

- Economics of Transport
- Transport Process Organization and Logistics
- Rolling Stock and Train Traction
- Research, Design, and Construction of Railways, Highways, and Airfields, including Technology
- Technosphere Safety
- Power Supply, Electric Rolling Stock, Automation and Telemechanics, Radio Engineering and Communications
- Technological Machinery and Equipment
- Geodesy and Geoinformatics
- Automotive Service
- Air Traffic Control and Aircraft Maintenance
- Traffic Organization
- Railway and Road Operations

The journal benefits from its official recognition under Certificate No. 1150 issued by the Information and Mass Communications Agency, functioning under the Administration of the President of the Republic of Uzbekistan. With its E-ISSN 2181-2438, ISSN 3060-5164 the publication upholds international standards of quality and accessibility.

Articles are published in Uzbek, Russian, and English, ensuring a wide-reaching audience and fostering cross-cultural academic exchange. As a beacon of academic excellence, the "Journal of Transport" continues to serve as a vital conduit for knowledge dissemination, collaboration, and innovation in the transport sector and related fields.

## Stability assessment of continuous welded railway with Vossloh fastenings using the finite element method

**A.A. Bondarenko<sup>1</sup><sup>a</sup>, K.S. Lesov<sup>2</sup><sup>b</sup>, T.A. Salakhov<sup>1</sup>, M.K. Kenjaliyev<sup>2</sup><sup>c</sup>**

<sup>1</sup>Samara State Transport University, Samara, Russia

<sup>2</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

### Abstract:

This article presents a methodology for assessing the stability of continuous welded rail (CWR) track with Vossloh fastenings using the finite element method. The influence of longitudinal and transverse forces generated during train movement and braking on the condition of the rail string is analyzed. A finite element model is developed that accounts for sub-rail foundation deformations and the resistance of fastenings under various loading conditions. Particular attention is paid to the impact of geometric and operational factors such as track irregularities, rail defects, and wheelset wear. A Visual Basic macro was developed for the numerical evaluation of track stability loss. The results identify the most vulnerable zones of CWR track and define its critical operating conditions. Engineering recommendations are proposed for monitoring and mitigating deformation risks in high-traffic areas. The modeling outcomes may serve as a basis for updating regulatory requirements for the maintenance and operation of CWR track.

### Keywords:

continuous welded rail, longitudinal forces, track stability, Vossloh fastenings, finite element method, rail deformation, ballast, modeling, train braking, track monitoring

## Оценка устойчивости бесстыкового пути со скреплениями Vossloh методом конечных элементов

**А.А. Бондаренко<sup>1</sup><sup>a</sup>, К.С. Лесов<sup>2</sup><sup>b</sup>, Т.А. Салахов<sup>1</sup>, М.К. Кенжалиев<sup>2</sup><sup>c</sup>**

<sup>1</sup>Приволжский государственный университет путей сообщения, Самара, Россия

<sup>2</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

### Аннотация:

В статье представлена методика оценки устойчивости бесстыкового пути со скреплениями Vossloh на основе метода конечных элементов. Проведён анализ влияния продольных и поперечных сил, возникающих при движении и торможении подвижного состава, на состояние рельсовой плети. Разработана конечно-элементная модель, учитывающая деформации в подрельсовом основании и сопротивление скреплений при различных режимах нагрузления. Особое внимание уделено влиянию геометрических и эксплуатационных факторов: неровностей пути, дефектов рельсов и износа колёсных пар. Сформирован макрос в среде Visual Basic для численной оценки потери устойчивости пути. Полученные результаты позволили выделить зоны наибольшей уязвимости бесстыкового пути и определить критические условия его эксплуатации. Предложены инженерные рекомендации по мониторингу и снижению рисков деформаций на участках с интенсивным движением. Результаты моделирования могут быть использованы для актуализации нормативных требований по содержанию и эксплуатации бесстыкового пути.

### Ключевые слова:

бесстыковой путь, продольные силы, устойчивость пути, скрепления Vossloh, метод конечных элементов, деформация рельсов, балласт, моделирование, торможение поезда, мониторинг пути

## 1. Введение

Современное железнодорожное транспортное сообщение всё чаще опирается на использование бесстыкового пути как элемента, обеспечивающего повышенную плавность хода, устойчивость пути и снижение эксплуатационных затрат. Однако одновременно с этим возрастают требования к оценке

устойчивости пути при воздействии подвижного состава, особенно в условиях торможения и действия тяговых токов. Одной из ключевых задач путевого хозяйства является точное прогнозирование и контроль продольных сил, возникающих в процессе эксплуатации, что напрямую влияет на безопасность движения и долговечность рельсовых плетей.

Научное сообщество активно исследует продольные силы и температурные напряжения в бесстыковом пути, как в теоретических, так и в эмпирических подходах. Так,

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0504-4670>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-9434-0713>

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4622-5937>



работы И.А. Когана и П.С. Иванова подробно раскрывают природу усталостных дефектов и влияние температурных факторов [1, 2]. Исследования [3-7] обращают внимание на дополнительный нагрев рельсов при торможении поездов и действии тягового тока, что становится важным фактором при оценке устойчивости пути. Наряду с этим, остаётся недостаточно изученной взаимосвязь между эксплуатационными условиями и устойчивостью пути с конкретным типом рельсовых скреплений [8-10] – в частности, системой Vossloh, активно применяемой в ряде стран Европы, Азии и на территории РФ.

Скрепления типа Vossloh отличаются высокой степенью прижатия и упругостью, что с одной стороны повышает надёжность закрепления рельса, но с другой – усложняет моделирование его реакции на внешние нагрузки. В условиях реальной эксплуатации, особенно при наличии неровностей пути, дефектов рельсов, неправильной геометрии колёс и прочих факторов, возникает необходимость количественно оценить запас устойчивости пути с этими скреплениями. Наиболее перспективным методом такой оценки является метод конечных элементов (МКЭ), широко применяемый в научных исследованиях путевой инфраструктуры.

Актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью:

- определения критических значений продольных сил, возникающих при торможении поездов;
- разработки моделей устойчивости бесстыкового пути с учётом влияния различных факторов эксплуатации;
- повышения точности инженерных расчётов на этапе диагностики и планирования ремонтных мероприятий;
- адаптации существующих нормативных документов к условиям эксплуатации с применением скреплений Vossloh.

Предметом исследования является устойчивость бесстыкового железнодорожного пути со скреплениями Vossloh к продольным и поперечным силам, возникающим при прохождении подвижного состава.

Целью работы является количественная оценка устойчивости бесстыкового пути со скреплениями Vossloh с использованием конечно-элементного моделирования при различных эксплуатационных воздействиях.

Для достижения поставленной цели в исследовании решаются следующие задачи:

1. Проанализировать физические процессы, приводящие к формированию продольных и поперечных усилий в рельсовой плети;
2. Оценить влияние дефектов пути и колёсных пар на устойчивость пути;
3. Разработать конечно-элементную модель бесстыкового пути с учётом характеристик скреплений Vossloh;
4. Провести численное моделирование прохождения подвижного состава по криволинейному участку пути;
5. Определить критические зоны деформации и прогибов при различных условиях сцепления и прижатия;

Данное исследование направлено на разработку прикладных методов оценки устойчивости бесстыкового пути с применением современных инженерных подходов и моделирования, что имеет высокую практическую значимость для повышения надёжности железнодорожной инфраструктуры.

## 2. Методика исследования

Многофакторный анализ состояния пути и подвижного состава позволяет эффективно контролировать и управлять величиной продольных усилий, возникающих при прохождении поездов. Среди ключевых факторов, влияющих на продольные силы, следует выделить не только геометрические и технические параметры пути, но и аэродинамические взаимодействия.

Так, трение между колесом и рельсом является естественным источником продольной нагрузки, сопровождающим любое движение поезда [11]. Дополнительно существенное влияние оказывает сопротивление воздуха — значительная часть энергии поезда тратится на его преодоление, что также генерирует продольные силы и влияет на общее сопротивление движению.

Ниже представлены основные факторы и их влияние на продольные усилия в бесстыковом пути (табл. 1).

**Таблица 1**  
**Влияние эксплуатационных факторов на величину продольных сил**

Фактор	Описание влияния
Неровности пути	Провоцируют неравномерную нагрузку на колеса и местные прогибы рельсов, что увеличивает продольные усилия и ускоряет износ элементов пути.
Неправильная геометрия колес	Несоосность, износ или неправильный профиль колёс вызывает асимметричную передачу усилий на рельсы, увеличивая как боковые, так и продольные деформации.
Дефекты рельсов	Трещины, выкрашивания и коррозия нарушают равномерность передачи нагрузки, вызывают локальные перегрузки и усиление продольных напряжений.
Трение колеса о рельс	Основной механизм передачи тяговых и тормозных усилий от подвижного состава к пути, сопровождающееся значительными продольными реакциями.
Сопротивление воздуха	Увеличивает общее сопротивление движению, особенно на высоких скоростях, провоцируя рост продольных сил, компенсируемых тягой или торможением состава.

Жёстко соединённые оси подвижного состава при различных режимах движения – торможении, ускорении или прохождении кривых – подвергаются переменным нагрузкам, которые напрямую влияют на характер взаимодействия между колёсами и рельсовыми нитями. Эти нагрузки обусловлены как динамикой состава, так и особенностями геометрии пути и технического состояния элементов верхнего строения.

Учет перемещений и нагрузок на оси является критически важным для обеспечения устойчивости пути и безопасности движения. На фоне возрастания скоростей и осевых нагрузок становится необходимым постоянный мониторинг продольных усилий и диагностика их влияния на путь.

Для оценки величины и распределения продольных



сил в условиях эксплуатации применяются различные методы контроля, сочетающие инструментальные средства и вычислительное моделирование (табл. 2).

**Таблица 2**  
Предлагаемые методики для исследования  
продольных сил при движении подвижных составов

Метод	Суть и область применения
Датчики давления в рельсах	Устанавливаются вдоль пути для регистрации изменений вертикального и продольного давления при прохождении поездов. Позволяют локализовать участки перегрузки.
Инерционные датчики ускорений	Монтируются на подвижной состав или путь, фиксируют продольные ускорения и вибрации. Используются для оценки воздействия сил на деформации пути.
Визуальный контроль	Периодические инспекции состояния пути и рельсов, выявление признаков деформаций (трещин, изгибов, прогибов). Является базовым методом технического обслуживания.
Компьютерное моделирование	Позволяет смоделировать поведение пути при различных внешних воздействиях. Учитываются геометрия профиля, свойства материалов и характеристики движения состава.

Для контроля величины продольных сил в условиях эксплуатации применяются различные инженерные подходы. Наиболее эффективными являются:

- установка систем мониторинга с датчиками давления и ускорений, обеспечивающих непрерывный контроль продольных усилий в реальном времени;
- регулярные осмотры пути с применением методов неразрушающего контроля (в т. ч. ультразвуковых),

позволяющие выявить дефекты до их критического развития

– анализ эксплуатационных параметров состава (скорость, нагрузка, ускорения), фиксируемых бортовыми регистраторами, для оценки нагрузки на путь.

Систематический мониторинг должен сопровождаться:

- плановым обслуживанием и ремонтом рельсов, шпал и скреплений;
- контролем технического состояния колёсных пар;
- обучением персонала работе с диагностическими и аналитическими системами.

Определение критических продольных сил возможно, как с использованием эмпирических, так и теоретических методов. Эмпирические методы отличаются высокой точностью, но требуют значительных затрат, тогда как теоретические – менее затратны, но их точность зависит от модели. Среди последних наиболее адекватным для оценки устойчивости бесстыкового пути является метод конечных элементов (МКЭ).

В рамках исследования построена конечно-элементная модель бесстыкового пути со скреплениями Vossloh, учитываяющая:

- сопротивление смещению рельса в продольном и поперечном направлениях;
- реакцию балластного слоя на нагрузку;
- жесткость крепления шпал.

Моделировался проход электровоза ВЛ-10 по кривому участку радиусом  $R = 400$  м с нормативным прижатием пружинных клемм. В процессе движения, вследствие упругости основания, возникают волнообразные деформации пласти, описываемые выражением [12]:

$$\eta(x) = e^{-kx} * (\cos(kx) + \sin(kx)),$$

где  $\eta(x)$  – вертикальное смещение рельса,

$x$  – продольная координата,

$k$  – коэффициент жесткости основания.

На рис. 1 и рис. 2 представлены зависимости напряжения и деформации рельса на прямом и кривом участках при прохождении электровоза. Максимальные напряжения наблюдаются перед первой осью состава.

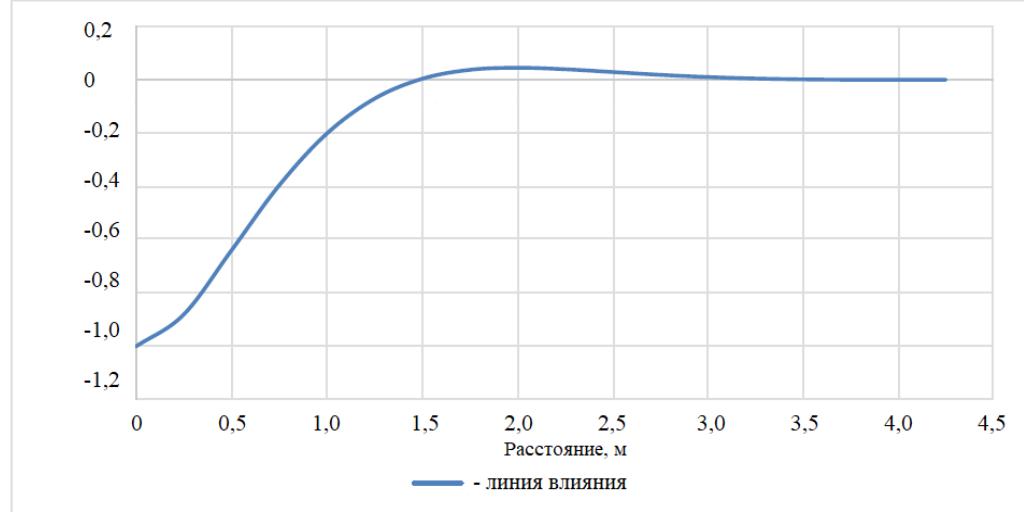


Рис. 1. Зависимость напряжения на подрельсовое основание и упругая деформация пласти



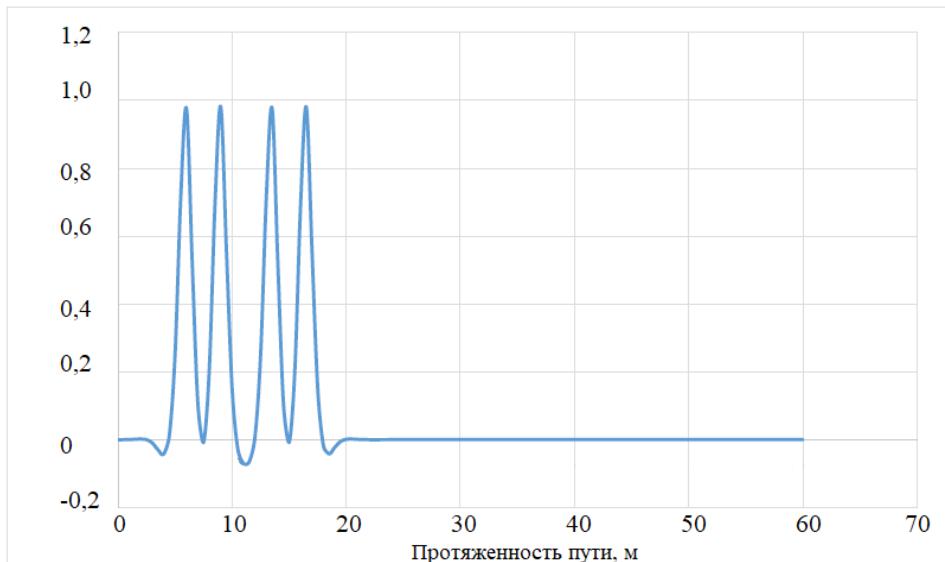


Рис. 2. Зависимость напряжения на подрельсовое основание и упругая деформация пласти при проходе электровоза ВЛ-10

Главные критерии устойчивости включают:

- повышение трения между элементами верхнего строения;
- ослабление устойчивости при отрыве рельса от основания;
- дополнительные усилия в кривых и при торможении;
- отклонения от нормативного состояния скреплений.

### 3. Результаты исследования

На основе модели разработан макрос в Visual Basic (рис. 3), позволяющий задавать параметры нагрузки и трассы, и оценивать запас устойчивости. Результаты моделирования (рис. 4) указывают на возможное нарушение устойчивости пути при сочетании неблагоприятных факторов.

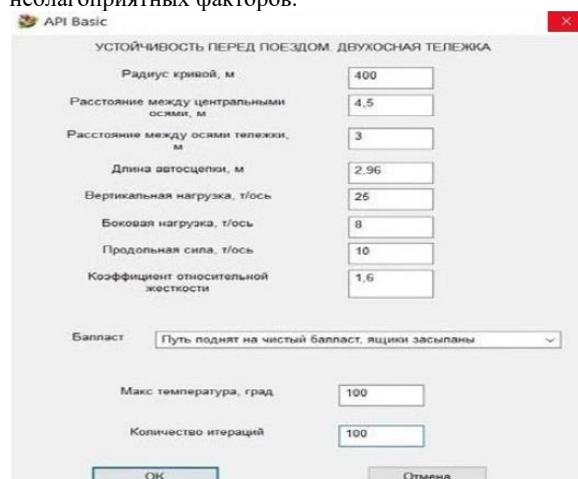


Рис. 3. Заданные параметры при моделировании

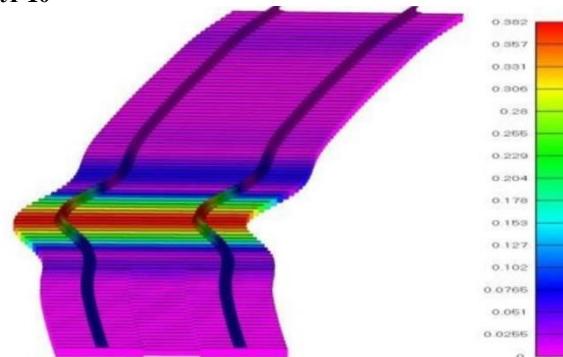


Рис. 4. Нарушение устойчивости участка пути при проходе по нему электровоза

Предложенная модель позволяет рассчитать запас устойчивости бесстыкового пути со скреплениями Vossloh и не только, если учесть это при вводе исходных данных, при воздействии на него вертикальных сил, возникающих при проходе поездов. В будущем необходимо опытным путем наиболее точно определить коэффициенты местного сопротивления при обратном изгибе рельсовой пласти для максимально соответствующих результатов моделирования, что, в свою очередь, открывает перспективы актуализации существующих инструкций по содержанию и эксплуатации бесстыкового пути.

### 4. Заключение

Выполненное исследование позволило установить количественные зависимости между конструктивными параметрами скреплений Vossloh и устойчивостью бесстыкового пути при различных эксплуатационных воздействиях. Применение метода конечных элементов дало возможность смоделировать поведение рельсовой пласти с учётом упругих характеристик подрельсового основания, параметров балластного слоя и режимов нагружения от подвижного состава.

Установлено, что снижение усилия прижатия в рельсовых скреплениях, наличие неровностей пути, износ колёсных пар и локальные дефекты рельсов

значительно повышают вероятность потери поперечной устойчивости пути. Моделирование показало, что максимальные напряжения возникают в зонах обратного изгиба пласти, формирующихся при проходе первых осей локомотива.

Разработанная конечно-элементная модель учитывает влияние эксплуатационных факторов и позволяет с высокой степенью достоверности определить критические состояния пути. Построенный алгоритм позволяет учитывать не только температурные, но и динамические воздействия, возникающие в процессе торможения и рекуперативного движения подвижного состава.

Разработанный в среде Visual Basic макрос позволил адаптировать расчёты под реальные эксплуатационные параметры, в том числе – отклонения от нормативного прижатия клемм, ослабление балластного слоя и деформации шпал. Полученные данные позволяют оценить запас устойчивости бесстыкового пути со скреплениями Vossloh при комплексном воздействии эксплуатационных факторов.

Предложенная методика и модель могут быть использованы в диагностических комплексах путевого хозяйства, при планировании капитального ремонта и в целях актуализации нормативной документации по содержанию и эксплуатации бесстыкового пути.

## Использованная литература / References

- [1] Коган А. Я. Температурные напряжения в рельсах. – М.: Наука, 2015. – 187 с.
- [2] Иванов П. С., Клочко В. А. Природа усталостных дефектов рельсовых плетей бесстыкового пути // Техническая механика НАНУ. – 2000. – № 1.
- [3] Паращенко И. Л. Анализ сил взаимодействия в контакте «колесо–рельс» при различных трибологических вариантах // Транспорт Урала. – 2019. – № 2 (61). – С. 54–57.
- [4] Першин С. П. О сопротивлении балласта сдвигу и способах усиления температурно-напряженного пути против потери устойчивости // Сб. науч. тр. / МИИТ. – 1960. – Вып. 111. – С. 126–136.
- [5] Ершов В. В. Устройство бесстыкового пути при отступлениях от норм содержания // Путь и путевое хозяйство. – 2008. – № 3. – С. 13–15.
- [6] Bondarenko A. A., Wolow D. B., Gerber U., Fengler W. Der Einfluss des Antriebsstromes auf die zusätzliche Erwärmung des Schienenstrangs // Der Eisenbahningenieur. – 2007. – Nr. 5. – S. 19–20.
- [7] Bondarenko A. A. Der Einfluss des Bremsens langer Züge auf die Schienenerwärmung // Der Eisenbahningenieur. – 2009. – Nr. 4. – S. 37–41.
- [8] Ковенькин Д. А. Исследование воздействия суммарных боковых сил на элементы верхнего строения

пути при вписывании экипажа в кривые участки пути // Проблемы и перспективы изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации российских железных дорог: материалы Всерос. науч.-практ. конф. (10–11 окт. 2007 г.). – М. : УрГУПС, 2007. – Т. 1. – С. 23–26.

[9] Лесов К.С., Хальфин Г.Р. Расчет и оценка устойчивости рельсовой пласти бесстыкового пути для условий Узбекистана. // Journal of Advanced Research and Stability Special Issue, April 2022, p. 339-343.

[10] Лесов К.С., Хальфин Г.Р. Диагностическое средство для косвенного определения усилия нажатия клемм скрепления Pandrol Fastclip. //Научный журнал "Universum: технические науки" - №6 (87), 2022. – С. 13–15.

[11] Иванов П. С., Коннов Ю. В., Зайцев Н. И., Филиппов А. И. Прогнозирование и техническая диагностика усталостных дефектов рельсов железнодорожного пути // Труды XVI Рос. науч.-техн. конф. «Диагностика и неразрушающий контроль». – СПб., 2002.

[12] Методика оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения его надежности: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 22.12.2017 г. № 2706р // СПС «АСПИЖТ».

## Информация об авторах/ Information about the authors

Бондаренко Алексей Алексеевич / Bondarenko Aleksey Alekseyevich	Приволжский государственный университет путей сообщения, Доктор технических наук, профессор, e-mail: <a href="mailto:bondarenko@infotrans-logistic.ru">bondarenko@infotrans-logistic.ru</a> <a href="https://orcid.org/0000-0003-0504-4670">https://orcid.org/0000-0003-0504-4670</a>
Лесов Кувандык Сагинович / Lesov Kuvandik Saginovich	Ташкентский государственный транспортный университет, Кандидат технических наук, профессор, e-mail: <a href="mailto:kuvandik@mail.ru">kuvandik@mail.ru</a> <a href="https://orcid.org/0000-0002-9434-0713">https://orcid.org/0000-0002-9434-0713</a>
Салахов Талгат Альбекович / Salakhov Talgat Albekovich	Приволжский государственный университет путей сообщения, аспирант, e-mail: <a href="mailto:talgatsalahov@bk.ru">talgatsalahov@bk.ru</a>
Кенжалиев Мухамедали Казбек угли / Kenjaliyev Muhamedali Kazbek ugli	Ташкентский государственный транспортный университет, PhD, и.о. доцента, e-mail: <a href="mailto:mkenjaliyev@mail.ru">mkenjaliyev@mail.ru</a> <a href="https://orcid.org/0000-0003-4622-5937">https://orcid.org/0000-0003-4622-5937</a>



**B. Sindorov**

*The importance of the supervisory board in the implementation of effective corporate governance principles in the management of industrial enterprises* ..... 49

**E. Jonikulov, R. Ayapbergenov, H. Salohiddinov,  
K. Fayzullaev**

*Analysis of wireless communication technologies in the control and monitoring of railway station switches* ..... 53

**D. Yuldashev, K. Matrasulov**

*Analysis of methods for assessing the state of urban public transport infrastructure based on logistics principles* ..... 59

**N. Yaronova, A. Ablayeva**

*Analysis of failures of components in a complex of backup power sources for signaling and communication devices on a railway section using the Petri net and Monte Carlo method* ..... 64

**O. Shavkatov**

*Study of technical maintenance and repair documentation for medical equipment* ..... 69

**A. Bondarenko, K. Lesov, T. Salakhov, M. Kenjaliev**

*Stability assessment of continuous welded railway with Vossloh fastenings using the finite element method* ..... 73

**M. Kabulov**

*The current state of terminal and logistics technology in Uzbekistan and its development* ..... 78