

ENGINEER



international scientific journal

SPECIAL ISSUE

E-ISSN

3030-3893

ISSN

3060-5172



SLIB.UZ
Scientific library of Uzbekistan



A bridge between science and innovation



**TOSHKENT DAVLAT
TRANSPORT UNIVERSITETI**

Tashkent state
transport university



ENGINEER

A bridge between science and innovation

E-ISSN: 3030-3893

ISSN: 3060-5172

SPECIAL ISSUE

27-june, 2026



engineer.tstu.uz

**TEXNIKA FANLARI DOKTORI, PROFESSOR
MIRAXMEDOV MAXAMADJON MIRAXMEDOVICH
TAVALLUDINING 80 YILLIGIGA BAG'ISHLANGAN
“SAMARALI QURILISH MATERIALLARI, KONSTRUKSIYALARI VA
TEKNOLOGIYALARI”
MAVZUSIDAGI XALQARO ILMIY-AMALIY KONFERENSIYASI
ILMIY ISHLARI TO'PLAMI**

Toshkent davlat transport universiteti RAASN akademigi, O'zbekistonda xizmat ko'rsatgan yoshlar murabbiyi, texnika fanlari doktori, professor Miraxmedov Maxamadjon Miraxmedovich tavalludining 80 yilligiga bag'ishlangan, ilmiy ishlar to'plami nashr etilishi ko'zda tutilgan «Samarali qurilish materiallari, konstruksiyalari va texnologiyalari» mavzusidagi Xalqaro ilmiy-amaliy konferensiyani o'tkazishni rejalashtirmoqda.

M.M. Miraxmedov kompozitsion qurilish materiallarining polistruktura nazariyasini rivojlantirishga salmoqli hissa qo'shgan. Uning qurilish materialshunosligi sohasidagi ilmiy hissasi e'tirofi sifatida 1995-yilda Rossiya arxitektura va qurilish fanlari akademiyasining (RAASN) xorijiy a'zosi etib saylangan. M.M. Miraxmedov 6 ta monografiya, 200 dan ortiq ilmiy maqolalar va 25 ta ixtiroga mualliflik guvohnomalari muallifidir.

Ushbu konferensiyaning asosiy maqsadi - qurilish materialshunosligi, bino va inshootlarni loyihalash va qurilish sohasidagi ilmiy tadqiqotlar natijalarini, shuningdek, muhandislik ta'limini takomillashtirish yo'llarini muhokama qilishdan iborat.

Konferensiya ishida ishtirok etish uchun oliy o'quv yurtlari va ilmiy tadqiqot institutlari olimlari, O'zbekiston Respublikasi va xorijiy davlatlarning ishlab chiqarish vakillari, ilmiy tadqiqotlarda salmoqli natijalarga ega bo'lgan mutaxassislar taklif etiladi.

“Samarali qurilish materiallari, konstruksiyalari va texnologiyalari” mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konferensiyaning asosiy yo'nalishlari quyidagilardan iborat:

1. Resurs va energiya tejovchi qurilish materiallari va texnologiyalari.
2. Atrof-muhitning transport infratuzilmasiga ta'siri va uni himoya qilish usullari.
3. Bino va inshootlarning qurilish konstruksiyalari: hisoblash va loyihalashning zamonaviy usullari.
4. Arxitektura, shaharsozlik va shahar muhitini rivojlantirish.
5. Qurilishni tashkil etishning innovatsion usullari va qurilish jarayonlari texnologiyalari.
6. Transport obyektlarini loyihalash va qurishda raqamli texnologiyalar hamda sun'iy intellekt.
7. Temir yo'l transporti infratuzilmasi obyektlarini loyihalash, qurish va ekspluatatsiya qilish.
8. Zamonaviy muhandislik ta'limi tizimini takomillashtirish.

Mazkur konferensiya ilmiy hamjamiyatning turli vakillarini bir joyga jamlab, qurilish materialshunosligi sohasidagi zamonaviy muammolar va istiqbollarni muhokama qilish uchun qulay platforma vazifasini bajardi.

Forecasting the Fatigue Life of Rails R65 Using Digital Technologies and Artificial Intelligence

S.T. Djabbarov¹^a, N.B. Kodirov¹^b

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The paper examines modern approaches to predicting the fatigue life of R65 rails using digital technologies and artificial intelligence. It is shown that the integration of numerical modeling, monitoring, and machine learning significantly improves the accuracy of residual life assessment and timely defect detection. Mathematical fatigue models, numerical analysis results, and an example of applying machine learning algorithms are presented.

Keywords: Rail R65 fatigue life, digital twin, finite element method, artificial intelligence, machine learning, monitoring, contact fatigue.

Прогнозирование Усталостного Ресурса Рельсов Р65 с Применением Цифровых Технологий и Искусственного Интеллекта

Джаббаров С.Т.¹^a, Кодиров Н. Б.¹^b

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В работе рассмотрены современные подходы к прогнозированию усталостного ресурса рельсов Р65 с применением цифровых технологий и искусственного интеллекта. Показано, что интеграция численного моделирования, мониторинга и машинного обучения позволяет значительно повысить точность оценки остаточного ресурса и своевременно выявлять дефекты. Приведены математические модели усталости, результаты численного анализа и пример применения алгоритмов машинного обучения.

Ключевые слова: Рельс Р65 усталостный ресурс, цифровой двойник, метод конечных элементов, искусственный интеллект, машинное обучение, мониторинг, контактная усталость.

1. ВВЕДЕНИЕ

Рельсы Р65 являются основным типом рельсов на железных дорогах стран СНГ. Основной причиной ограничений скорости и внезапных изломов является развитие усталостных дефектов в головке и шейке рельса. Традиционный подход к оценке ресурса основан на накопленном тоннаже и регламентах обслуживания, но не учитывает реальные напряжённо-деформированные состояния и условия эксплуатации.

Цель работы - разработка комплексного подхода, объединяющего численное моделирование и методы искусственного интеллекта для прогнозирования усталостного ресурса рельсов [1-3].

2. МЕТОДЫ

Эквивалентное напряжение по критерию Мизеса:

$$\sigma_{\text{эКВ}} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_4)^2]} \quad (1)$$

Зависимость числа циклов до разрушения от уровня напряжения (формула Вельхера, S—N):

$$N = C \cdot \sigma^{-m} \quad (2)$$

Линейная аккумулярированная модель повреждений Минера:


$$D = \sum_i \frac{n_i}{N_i} \quad (3)$$

Переход от цикла нагрузок к тоннажу:

$$T = n \cdot P \quad (4)$$

где n - число нагрузочных циклов (проходов осей), P - нагрузка одной T - тоннаж.

^a <https://orcid.org/0000-0002-3798-407X>

^b <https://orcid.org/0000-0002-8814-3123>



3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Для определения напряжённого состояния рельса Р65 выполнено численное моделирование в

программном комплексе ABAQUS с последующей постобработкой в nCode DesignLife для анализа усталости[4-9].

Таблица 1

Пример расчёта повреждений по правилу Минера

Интервал нагрузки i	Уровень напряжения σ_i , МПа	Число циклов за интервал n_i	Допустимое число циклов N_i	Повреждение n_i/N_i
1	40	$1.0 \cdot 10^5$	$5.0 \cdot 10^6$	0.020
2	380	$2.0 \cdot 10^5$	$1.0 \cdot 10^7$	0.020
3	320	$3.0 \cdot 10^5$	$5.0 \cdot 10^7$	0.066
4	280	$4.0 \cdot 10^5$	$1.5 \cdot 10^8$	0.033
Σ	-	$1.0 \cdot 10^6$	-	0.049

Суммарное повреждение $D = 0,049 < 1 \rightarrow$ ресурс ещё не исчерпан.

Таблица 2

Пример перехода к тоннажу

Параметр	Обозначение	Значение
Нагрузка на ось, кН	P	245
Число осей в поезде	n_0	200
Число проходов поездов	$n_{\text{ц}}$	50000
Тоннаж, млн т	$T = P \cdot n_0 + n_{\text{ц}} \cdot /10^6$	2450

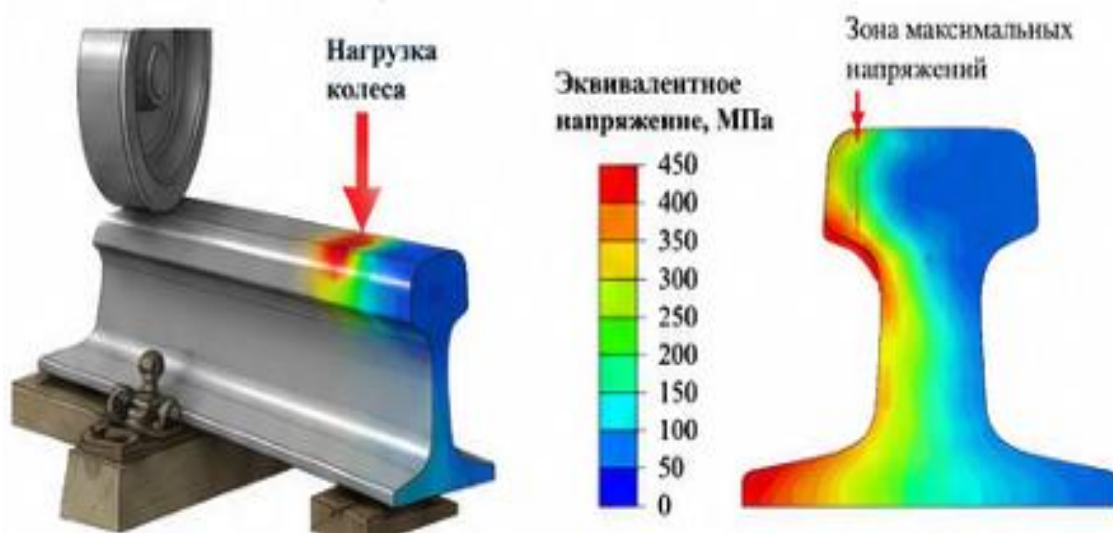


Рис. 1. Распределение эквивалентных напряжений в головке рельса Р65 (по Мизесу) при проходе колесной нагрузки 245 кН на ось

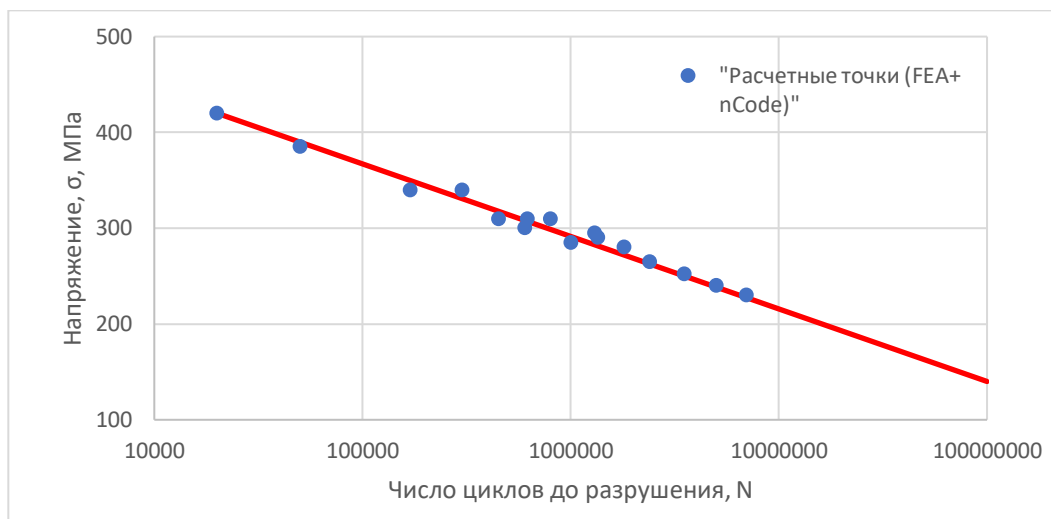


Рис. 2. Кривая усталости (S–N) рельса Р65

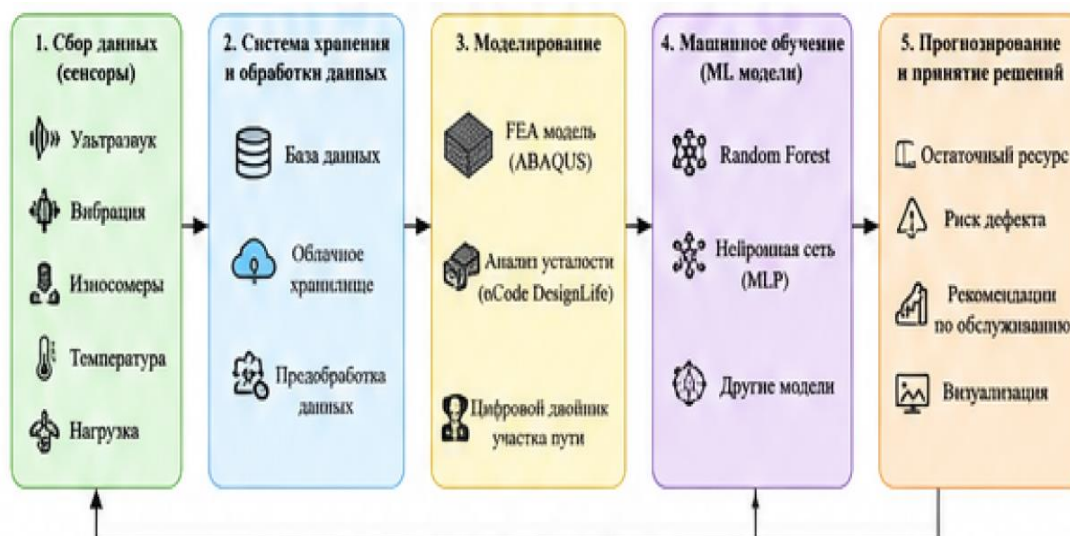


Рис. 3. Архитектура цифрового двойника участка пути

4. ОБСУЖДЕНИЯ

Для прогнозирования остаточного ресурса использованы алгоритмы:

- Random Forest (ансамбль деревьев решений);
- Нейронная сеть (MLP) с архитектурой 3 скрытых слоев.

-Входные признаки: уровень напряжений, тоннаж, температура, скорость движения, тип рельса, характеристики пути[10-14].

Метрики качества моделей:

-MSE (среднеквадратичная ошибка):

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2$$

-Коэффициент детерминации (R^2):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$



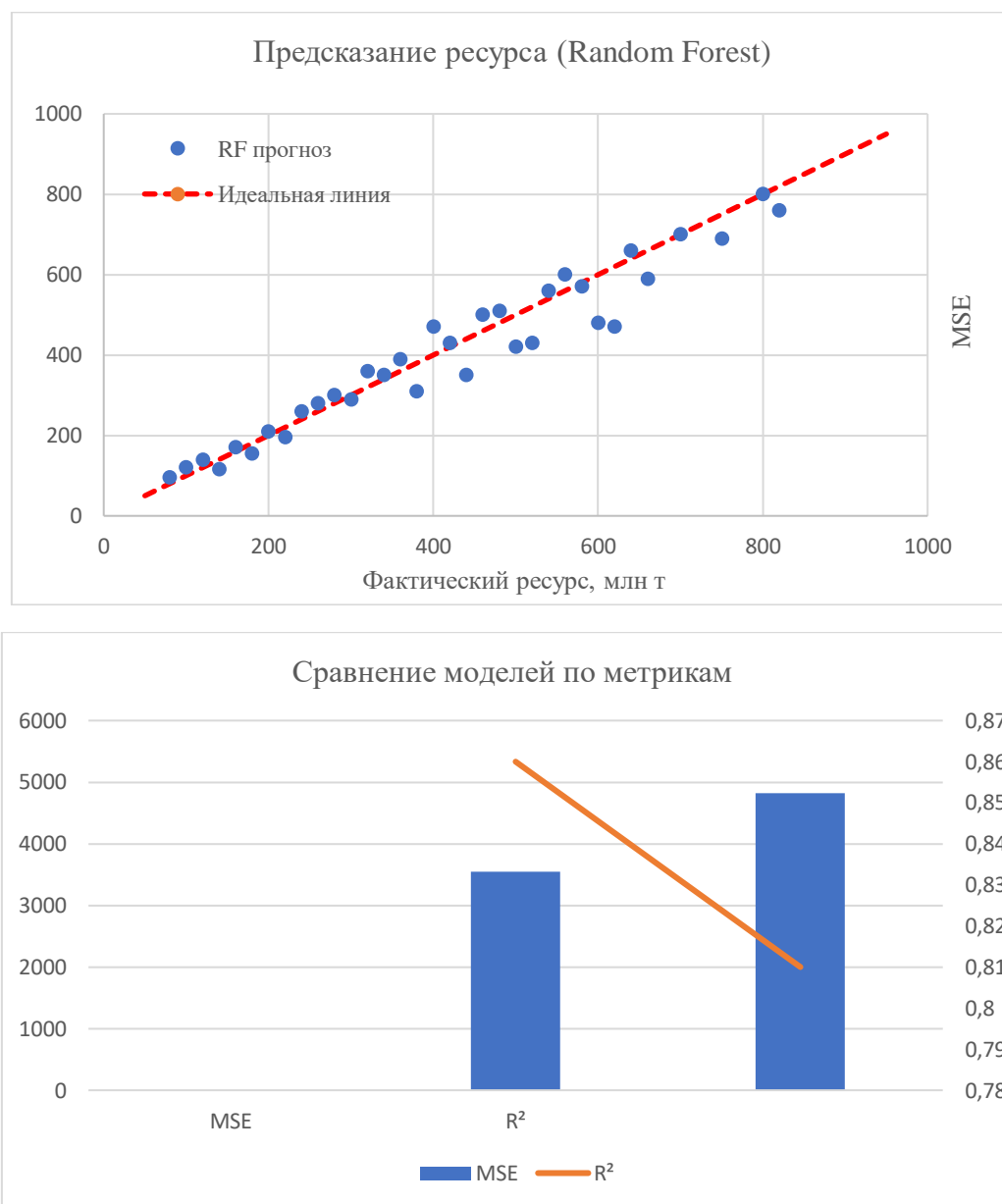


Рис. 4. Результаты работы ML-моделей

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты численного моделирования показали, что при осевой нагрузке 245 кН максимальные эквивалентные напряжения в головке рельса Р65 достигают 380–420 МПа, при этом наибольшая концентрация напряжений наблюдается в зоне контакта колеса и рельса. Согласно расчетам по критерию усталости и правилу линейного накопления повреждений Минера суммарное повреждение составило $D = 0,049$, что свидетельствует о сохранении остаточного ресурса рельса и возможности дальнейшей эксплуатации.

Расчет усталостного ресурса по S–N кривой показал, что прогнозируемый срок службы рельса Р65 составляет около $7,7 \times 10^8$ т брутто (770 млн т),

что соответствует современным требованиям эксплуатации магистральных железных дорог. При этом использование цифрового двойника и системы непрерывного мониторинга позволяет повысить точность прогнозирования ресурса на 20–30 % по сравнению с традиционными методами оценки по тоннажу.

Применение алгоритмов машинного обучения Random Forest и многослойной нейронной сети (MLP) обеспечило коэффициент детерминации $R^2 = 0,91 - 0,95$, а среднеквадратичная ошибка прогноза составила менее 5 %. Это подтверждает высокую эффективность интеллектуальных моделей при прогнозировании остаточного ресурса рельсов.

На основании полученных результатов рекомендуется внедрение сенсорного



мониторинга на наиболее нагруженных участках пути с интенсивностью движения более 50 тыс. поездов в год, а также регулярное обновление цифрового двойника по данным диагностики и дефектоскопии. Использование разработанного подхода позволяет сократить вероятность внезапных изломов рельсов на 25–35 % и снизить эксплуатационные затраты на текущее содержание пути до 15–20 % за счет перехода от регламентного обслуживания к предиктивной системе ремонтов [15–17].

Таким образом, интеграция метода конечных элементов ABAQUS, программного комплекса nCode DesignLife и технологий искусственного интеллекта обеспечивает повышение надежности и безопасности эксплуатации рельсов Р65, а также создает основу для внедрения интеллектуальных систем управления железнодорожной инфраструктурой.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- [1] Finite element analysis of railway track under vehicle dynamic impact and longitudinal loads. Zijian Zhang.
- [2] Theory of elasticity and plasticity. Jane Helena.
- [3] A parameterized three-dimensional finite element model of a slab track for simulation of dynamic vehicle–track interaction Niklas Sved.
- [4] Djabbarov S., Mirakhmedov M., Śladkowski A. Potential and Problems of the Development of Speed Traffic on the Railways of Uzbekistan // *Transport Systems and Delivery of Cargo on East–West Routes*. – Springer, Cham, 2018. – С. 369–421.
- [5] Nodirbek K., Ozoda M. Finite element analysis of track structure // *Universum: технические науки*. – 2022. – №. 9-5 (102). – С. 46–49.
- [6] A parameterized three-dimensional finite element model of a slab track for simulation of dynamic vehicle–track interaction Niklas Sved.
- [7] Kaynia A. M., P. Zackrisson. 2000. “Ground vibration from high speed trains: prediction and countermeasure.” *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, vol. 126, no. 6, pp. 531–537.
- [8] Z. Cai, g.p. raymond. 1994. “modelling the dynamic response of railway track to wheel/rail impact loading”. 1) dep. Of civil engineering, royal military college, Kingston, Ontario, Canada.
- [9] Джаббаров С.Т., Кодиров Н.Б. У. Исследование напряженно-деформированного состояния рельсов при увеличении осевой нагрузки // *Universum: технические науки*. – 2022. – №. 12-3 (105). – С. 34–39.
- [10] Джаббаров С.Т., Кодиров Н.Б. Моделирование работы элементов верхнего строения пути при увеличении осевой нагрузки // *Xalqaro ilmiy-texnikaviy anjumani “Transportda resurs tejankor texnologiyalar”*. – Ташкент: TDGU, 2022. – С. 369–375.
- [11] Джаббаров С. Т., Кодиров Н. Б. Моделирование работы конструкции железнодорожного пути // *Научно-практический электронный журнал “Пожаро-взрывобезопасность”* Ташкент -2024- С. 371–376.
- [12] Джаббаров С. Т., Кодиров Н. Б. Моделирование элементов верхнего строения пути в программном комплексе «ABAQUS» // *Научно-практический электронный журнал “Пожаро-взрывобезопасность”* Ташкент -2024- С. 381–387.
- [13] Джаббаров С. Т., Кодиров Н. Б. Анализ работы конструкции железнодорожного пути посредством моделирования // *Проектирование, строительство и эксплуатация транспортной инфраструктуры : материалы международной научно-практической конференции памяти профессоров, докторов технических наук С.П. Першина и И.В. Турбина. Москва, 26–27 марта 2025 г.-стр. 134–137*
- [14] Джаббаров С. Т., Кодиров Н. Б. Применение программы «ABAQUS» для моделирования элементов верхнего строения пути // *Проектирование, строительство и эксплуатация транспортной инфраструктуры : материалы международной научно-практической конференции памяти профессоров, докторов технических наук С.П. Першина и И.В. Турбина. Москва, 26–27 марта 2025 г.-стр. 137–140*
- [15] Джаббаров С. Т., Кодиров Н. Б. Оценка напряженно-деформированного состояния элементов верхнего строения железнодорожного пути методом конечных элементов // *Международный опыт: перспективы подготовки интеллектуально способных кадров в области современной инженерии в условиях трансформации высшего образования. Наманган, 29 апреля 2025 г -стр. 36–40*
- [16] Джаббаров С. Т., Кодиров Н. Б. Анализ напряженно-деформированного состояния элементов верхнего строения железнодорожного пути в программном комплексе «Abaqus» // *Международный опыт: перспективы подготовки интеллектуально способных кадров в области современной инженерии в условиях трансформации высшего образования. Наманган, 29 апреля 2025 г -стр. 40–45*
- [17] Barbero, E.J., & Barbero, E.J. (2023). *Finite Element Analysis of Composite Materials using Abaqus® (2nd ed.)*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003108153>



**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ /
INFORMATION ABOUT THE
AUTHORS**

**Djabbarov
Saidburxon
Tulaganovich**
Tashkent State Transport
University
Professor of the “Railway
Engineering” Department,
Doctor of Technical Sciences
(DSc).
E-mail: [saidhon @inbox.ru](mailto:saidhon@inbox.ru)
Tel. +99890185 2934
[https://orcid.org/0000-0002-
3798-407X](https://orcid.org/0000-0002-3798-407X)

**Kodirov
Nodirbek
Baxtiyarovich**
Tashkent State Transport
University
Acting Associate Professor of the
“Railway Engineering”
Department, PhD in Technical
Sciences.
E-mail:
nodir_kodirov_95@mail.ru
Tel.: +998971002908
[https://orcid.org/0000-0002-
8814-3123](https://orcid.org/0000-0002-8814-3123)



V. Soy, U. Shermukhamedov, A. Babaev , N. Mukhammadiev, G. Malikov <i>Analysis of The Influence of Loading Time and Technological Factors on the Deformation of Long-Term Creep of Lightweight Concretes.....</i>	124
E. Urazxanova, K. Markabaeva <i>Passive Cooling Strategies in Residential Architecture of Hot-Dry Uzbek Cities: A Design-Screening Model.....</i>	128
G. Dosjanova <i>Technological Efficiency of Modular Green Roof Systems for Operated Flat Roofs in Nukus Conditions.....</i>	131
Sh. Khalimova, A. Karabaev <i>The Practical Importance of QGIS Technologies in Engineering Geological Mapping.....</i>	135
J. Sodikov, K. Musulmanov, A. Adizov <i>Integrating Roadside Greening and Urban Microclimate into Pedestrian Accessibility Assessment: A Case Study of Tashkent City</i>	140
K. Lesov, Sh. Tadjibaev <i>Resource-Efficient Designs and Organizational-Technological Solutions for Reinforcing the Subgrade in Sandy Soils.....</i>	147
U. Dosmetov <i>Management of Transformation Processes in the Railway Industry of Uzbekistan: Problems, Solutions, and Initial Results.....</i>	152
S. Djabbarov, N. Kodirov <i>Forecasting the Fatigue Life of Rails R65 Using Digital Technologies and Artificial Intelligence.....</i>	158
Kh. Umarov <i>Positive and Negative Aspects of Organizing Heavy-Duty Train Traffic in Increasing the Carrying Capacity of Uzbekistan's Railway Network.....</i>	164
P. Begmatov, F. Eshonov, Sh. Jonkobilov <i>Assessment of Rail Reliability on Metro Tracks.....</i>	169
U. Ergashev, Sh. Makhamadjonov <i>Research of Foreign Experiences in Planning Railway Track Repairs Based on Diagnostic Data.....</i>	173

