

# 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**

**24-april, 2025**



**[engineer.tstu.uz](http://engineer.tstu.uz)**

**MUHAMMADAMIN KABULOVICH TOHIROVNING TAVALLUDINING  
80 YILLIGIGA BAG'ISHLANGAN  
“SAMARALI QURILISH MATERIALLARI, KONSTRUKSIYALARI VA  
TEXNOLOGIYALARI”  
MAVZUSIDAGI XALQARO ILMIY-AMALIY KONFERENSIYASI  
ILMIY ISHLARI TO'PLAMI**

Toshkent davlat transport universiteti Rossiya Arxitektura va qurilish fanlari akademiyasining akademigi, O'zbekiston Respublikasida xizmat ko'rsatgan yoshlar murabbiysi, texnika fanlari doktori, professor **Muhammadamin Kabulovich Tohirovning tavalludining 80 yilligiga bag'ishlangan “Samarali qurilish materiallari, konstruksiyalari va texnologiyalari”** mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya ilmiy ishlari to'plami chop etildi.

Muhammadamin Kabulovich kompozitsion qurilish materiallarining polistrukturaviy nazariyasini rivojlantirishga ulkan hissa qo'shgan olimdir. 1995-yilda Muhammadamin Kabulovich Rossiya Arxitektura va qurilish fanlari akademiyasining (RAASN) xorijiy a'zosi etib saylangan, bu esa ularning qurilish materialshunosligi sohasiga qo'shgan ilmiy hissasining xalqaro miqyosdagi e'tirofi bo'ldi. Ular o'z ilmiy faoliyati davomida 6 ta monografiya, 200 dan ortiq ilmiy maqola va 25 ta ixtiroga mualliflik guvohnomasi yaratganlar.

Ushbu konferensiyaning asosiy maqsadi – qurilish materialshunosligi, bino va inshootlarni loyihalash hamda qurilish sohasidagi zamonaviy ilmiy tadqiqotlar natijalarini muhokama qilish, shuningdek, muhandislik ta'limini takomillashtirish yo'llarini aniqlashdir.

Konferensiyada O'zbekiston Respublikasi hamda xorijiy mamlakatlarning oliy o'quv yurtlari va ilmiy-tadqiqot institutlari olimlari, shuningdek, muhim ilmiy tadqiqot natijalariga ega bo'lgan ishlab chiqarish vakillari o'z ilmiy ishlari bilan ishtirok etdilar.

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

1. **Resurs va quvvatni tejaydigan qurilish materiallari va texnologiyalari** – zamonaviy ekologik va iqtisodiy talablarni qondirishga qaratilgan innovatsion yechimlar.
2. **Bino va inshootlarning qurilish konstruksiyalari, zamonaviy hisoblash va loyihalash usullari - muhandislik** va texnologik yechimlarni takomillashtirish yo'nalishlari.
3. **Arxitektura va shaharsozlik** – estetik va funksional jihatlarni uyg'unlashtirgan zamonaviy loyihalar yaratish.
4. **Zamonaviy muhandislik ta'limi tizimini takomillashtirish** – kelajak mutaxassislarini yuqori malakali darajada tayyorlash uchun ta'lim jarayonini modernizatsiya qilish.

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

## Modelling of longitudinal forces in a rail track to assess the stability of a track without joints

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. Kenjaliev<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:** The paper considers modelling of longitudinal forces in the rail track of a trackless track taking into account temperature and dynamic factors. The influence of rolling stock braking on track stability is analysed, including additional longitudinal loads caused by changes in rail temperature and the influence of traction currents. Mathematical models describing the formation of longitudinal forces, their influence on track deformations and conditions of safe operation are developed. Methods for measuring and controlling longitudinal forces are presented, as well as recommendations for monitoring and preventing critical loads that can lead to loss of stability.

**Keywords:** longitudinal forces, trackless track, temperature stresses, train braking, track stability, rail heating, traction currents, modelling

## Моделирование продольных сил в рельсовой плети для оценки устойчивости бесстыкового пути

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 рассматривается моделирование продольных сил в рельсовой плети бесстыкового пути с учётом температурных и динамических факторов. Проанализировано влияние торможения подвижного состава на устойчивость пути, включая дополнительные продольные нагрузки, обусловленные изменением температуры рельсов и воздействием тяговых токов. Разработаны математические модели, описывающие формирование продольных усилий, их влияние на деформации пути и условия безопасной эксплуатации. Представлены методики измерения и контроля продольных сил, а также даны рекомендации по мониторингу и предотвращению критических нагрузок, способных привести к потере устойчивости.

**Ключевые слова:** продольные силы, бесстыковой путь, температурные напряжения, торможение поезда, устойчивость пути, нагрев рельсов, тяговые токи, моделирование

### 1. Введение

Бесстыковой путь широко применяется в железнодорожной инфраструктуре благодаря повышенной надёжности, снижению шума и вибрации, а также сокращению эксплуатационных затрат. Однако обеспечение его устойчивости требует комплексного анализа продольных усилий, возникающих под воздействием различных факторов — от температурных напряжений до торможения и действия тяговых токов [1-3].

В мировой научной литературе значительное внимание уделяется температурным напряжениям в рельсах и их влиянию на устойчивость пути [2, 4-6]. В работах [7, 8] подчёркивается необходимость контроля силы угона, возникающей при торможении, и минимального сопротивления продольному перемещению рельсов. Исследования также показывают, что термомеханические и

электродинамические факторы существенно влияют на продольную устойчивость пути [3, 9, 10].

Тем не менее, комплексный учёт всех источников продольных нагрузок при проектировании и эксплуатации бесстыкового пути остаётся актуальной задачей [11]. Особенно это важно в условиях высоких температур, значительных продольных градиентов и эксплуатации длинносоставных поездов.


Предмет исследования: продольные силы, возникающие в рельсовой плети бесстыкового пути, и их влияние на устойчивость железнодорожной инфраструктуры.

Цель исследования – разработка и верификация математических моделей продольных сил с учётом температурных и динамических воздействий, а также формирование рекомендаций по обеспечению устойчивости пути.

Задачи исследования:

- описать физические принципы возникновения продольных сил;
- исследовать деформации пути под воздействием продольных нагрузок;

<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>





- разработать математические модели для расчёта продольных сил;
- предложить методики измерения и контроля;
- сформулировать рекомендации по обеспечению устойчивости пути.

## 2. Методология исследования

В основе исследования — аналитические и численные методы моделирования. Построены математические модели, описывающие продольные силы, вызванные торможением, тепловыми эффектами от тягового тока и изменениями температуры окружающей среды [2, 3, 9, 10]. Использовались данные о тепловых характеристиках рельсов по нормативным документам [1, 12, 13].

Получена зависимость дополнительного нагрева рельсовой плети  $\vartheta_t$  от протекающего в ней тягового тока:

$$\vartheta_t = \frac{I^2 R_0}{k - I^2 R_0 \alpha} \left[ I - e^{-\left(\frac{t}{C}\right)(k - I^2 R_0 \alpha)} \right] + \vartheta_0 e^{-(t/C)(k - I^2 R_0 \alpha)} \quad (1)$$

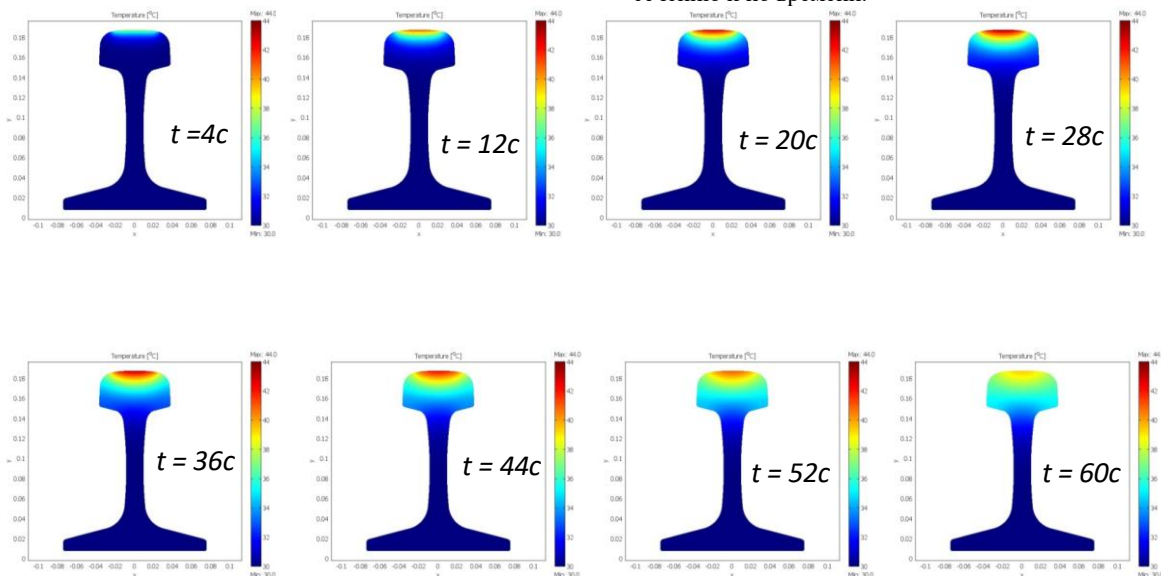


Рис. 1. Эпюра нагрева головки рельса

Моделирование выполнялось методом конечных элементов (МКЭ), с учётом условий закрепления рельсов, неоднородности основания и градиентов температурных и механических воздействий [6]. Верификация моделей проведена на основе натурных наблюдений [3, 14].

## 3. Результаты исследования

Моделирование показало, что совокупное действие тепловых и тормозных воздействий может привести к превышению допустимых продольных усилий, установленных нормативами [1, 13]. Так, локальный нагрев рельсов до 10–15 °C сверх фона может увеличить продольное напряжение на 10–25 % [9, 10].

Вопрос учета дополнительных источников нагрева рельсовых плетей и эквивалентных температур ( $\Delta t_{\text{н}}$ ) из-за наличия не подбитых шпал (неравноупругого основания) чрезвычайно важен, т.к. они оказывают определяющее влияние на расчет температурного

$$\vartheta_t = \frac{I^2 R_0}{k \alpha} (I - e^{-t/C/k}) + \vartheta_0 e^{-t/C/k} \quad (2)$$

где  $I$  – величина потребляемого тока;  
 $R_0$  – сопротивление рельсовой нити при начальной температуре  $t = 0$  °C;  
 $e$  – основание натурального логарифма;  
 $k$  – теплоотдача со всей поверхности рельса;  
 $t$  – текущее время;  
 $C$  – теплоемкость рельса;  
 $\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления;  
 $t_0$  – начальная температура рельсовой плети,  $t_0 = 20$  °C (по нормативу).

Дополнительный нагрев рельсовых плетей  $\Delta t^0$  от торможения подвижного состава определен выражением:

$$\Delta t^0 = \frac{\int_0^{\partial} q(x) dx}{\mu(2\pi - \partial)} \quad (3)$$

где  $q(x)$  – удельный тепловой поток в зоне контакта колеса и рельса;  $\mu$  – коэффициент теплоотдачи;  $\partial$  – расстояние между осями колесных пар.

На рис. 1 изображен процесс нагрева рельса по сечению и по времени.

интервала закрепления рельсовых плетей. В свою очередь устойчивость бесстыкового пути в процессе эксплуатации будет тем выше, чем более широким будет температурный интервал закрепления рельсовых плетей за счет увеличения верхней границы этого интервала. Если фактические температуры рельсовых плетей выходят за пределы температурного интервала закрепления, то это накладывает ограничения на выполнения некоторых видов путевых работ, связанных с ослаблением сопротивлений перемещений рельсошпальной решетки как в продольном, так и в поперечном оси пути направлении. В то же время повышение величины верхней границы температурного интервала позволяет снять часть ограничений на выполнение путевых работ при высоких температурах.

Прежде чем более подробно исследовать степень воздействия продольных сил во время движения подвижного состава, стоит начать с физического смысла понятия «продольные силы». Они представляют собой силы, действующие в направлении движения поезда, которые возникают из-за трения колес поезда о рельсы



и непосредственного воздействия воздушной среды. Продольные силы могут иметь различную природу и проявляться на разных участках пути [8]. Они

определяются несколькими физическими принципами, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1

Продольные силы, возникающие при движении поездов

Вид продольной силы	Описание
Угол наклона пути	При движении по наклонному пути возникает сила тяжести, которая направлена вниз по склону. Эта сила создает продольные силы, которые действуют на поезд. Если путь имеет положительный угол наклона (восходящий склон), то сила тяжести придает движению поезда дополнительную энергию. Если же путь имеет отрицательный угол наклона (нисходящий склон), то сила тяжести будет препятствовать движению и требовать дополнительных усилий от подвижного состава
Скорость движения	Влияние скорости на возникновение продольных сил связано с инерцией. При нарастании скорости поезда увеличивается его кинетическая энергия, что приводит к повышению сил инерции, возникающих при изменении скорости. При движении по наклонному пути эти силы могут добавиться к силам, связанным с углом наклона, и привести к увеличению или уменьшению продольных сил, в зависимости от направления движения и векторов этих сил
Характеристики подвижного состава	Масса и различные параметры подвижного состава, такие как сопротивление движению и коэффициент трения, также влияют на возникновение продольных сил. Большая масса требует большей силы тяги для преодоления трения и сопротивления движению. Величина трения в свою очередь зависит от характеристик пути и состояния колес

При увеличении длины поезда растет разница во времени срабатывания тормозов и, соответственно, увеличивается продольная сила в пути движения подвижного состава. Из-за прерывистого торможения тормозной путь для длинносоставных поездов также увеличивается. В случае экстремальных ситуаций значительная величина продольной силы может привести к сходу с рельсов или серьезным повреждениям поезда. Кроме того, негативное воздействие продольных сил приводит к увеличенному износу вагонов. Чтобы избежать излишних показателей продольных сил, необходимо тщательно контролировать тормозную систему поезда.

Если путь не надежно защищен от угона с помощью промежуточных рельсовых скреплений, обеспечивающих нормативное прижимное усилие или противоугонами на участках с деревянным основанием и костыльным соединением, то в рельсах могут возникать существенные продольные силы, что при определенных условиях может привести к серьезному нарушению устойчивости рельсовой конструкции. Однако наличие крепких промежуточных скреплений практически полностью исключает возможность угона, что, соответственно, уменьшает вероятность возникновения влияющих дополнительных сил от тормозящего поезда.

Сила угона пути при скорости 10 км/ч может достигать 33,4 кН, тогда как при 80 км/ч снижается до 13,7 кН [7]. Минимальное допустимое сопротивление рельса продольному перемещению должно составлять не менее 3,86 кН/м [8]. При снижении сопротивления возрастает риск сдвига рельсовой плети и потери устойчивости пути.

Особое внимание уделено распределению тормозных усилий в длинносоставных поездах. Несинхронность срабатывания тормозов приводит к неравномерному распределению продольных напряжений. Также важным фактором является состояние скреплений и устойчивость опоры шпал на

балластном основании, особенно в зонах переходов [15-17].

Взаимосвязь между деформацией пути и продольными силами, возникающими при прохождении поезда, является важным аспектом для обеспечения безопасности и эффективности железнодорожного транспорта.

Изучение взаимосвязи между деформацией пути и продольными силами включает анализ физических и математических моделей, экспериментальные исследования и использование компьютерных моделирований. Виды деформаций, возможные при прохождении поезда, включают продольное расширение, продольное сжатие, продольные и поперечные изгибы и т. д. Моделирование и анализ этих деформаций позволяет определить величину и направление продольных сил и оценить их влияние на путь и подвижной состав.

## 4. Заключение

1. Комплексное моделирование продольных сил в рельсовой плети обеспечивает более точную оценку устойчивости бесстыкового пути.

2. Дополнительный нагрев от тяговых токов и торможения требует учёта при расчёте температурных интервалов закрепления.

3. Рекомендуется внедрение мониторинговых систем для контроля продольных усилий в реальном времени.

4. Повышение прочности рельсошпальных скреплений и однородности балластного основания снижает риск угона пути.

5. Необходимо учитывать взаимодействие тормозных систем длинносоставных поездов и механические характеристики основания.

6. Результаты моделирования могут быть использованы для актуализации нормативов закрепления рельсов и оптимизации эксплуатационных решений.



## Использованная литература / References

- [1] СП 119.13330.2024. СНиП 32-01-95. Железные дороги колеи 1520 мм. — М.: Минстрой России, 2024.
- [2] Коган А. Я. Температурные напряжения в рельсах. — М.: Наука, 2015. — 187 с.
- [3] Wang X., Chen Z., Liu Q. Coupling effect of electric heating and braking // *Transportation Safety and Environment*. — 2021. — Vol. 3, No. 1. — P. 12–20.
- [4] Иванов П. С., Ключко В. А. Природа усталостных дефектов рельсовых плетей бесстыкового пути // *Техническая механика НАНУ*. — 2000. — № 1.
- [5] Zhang Y., Li M., Wang D. Thermal behavior of continuous welded rail // *Journal of Rail Transport Planning & Management*. — 2020. — Vol. 14.
- [6] Kim Y., Lee H. Numerical analysis of longitudinal track behavior under thermal load // *Engineering Structures*. — 2019. — Vol. 180. — P. 316–325.
- [7] Каравацкий Б. Л., и др. Исследование угона пути при торможении. — М.: Транспорт, 2018. — 132 с.
- [8] Ершов В. В. Устройство бесстыкового пути при отступлениях от норм содержания // *Путь и путевое хозяйство*. — 2008. — № 3. — С. 13–15.
- [9] 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.
- [10] Bondarenko A. A. Der Einfluß des Bremsens langer Züge auf die Schienenerwärmung // *Der Eisenbahningenieur*. — 2009. — Nr. 4. — S. 37–41.
- [11] Лесов К.С., Хальфин Г.Р. Расчет и оценка устойчивости рельсовой плети бесстыкового пути для условий Узбекистана. // *Journal of Advanced Research and Stability Special Issue*, April 2022, p. 339-343.
- [12] Методика оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения его надежности: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 22.12.2017 г. № 2706р. — Доступ через СПС «АСПИЖТ».
- [13] ОАО «РЖД». Методические указания по обеспечению устойчивости бесстыкового пути. — М., 2021.
- [14] 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. — Т. 1. — С. 23–26.

[15] Парахненко И. Л. Анализ сил взаимодействия в контакте «колесо–рельс» при различных трибологических вариантах // *Транспорт Урала*. — 2019. — № 2 (61). — С. 54–57.

[16] Лесов К.С., Хальфин Г.Р. Диагностическое средство для косвенного определения усилия нажатия клемм крепления pandrol fastclip. // *Научный журнал “Universum: технические науки”* - №6 (87), 2022. — С. 13-15.

[17] 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.

## Информация об авторах/ Information about the authors

<b>Бондаренко Алексей Алексеевич</b>	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>
<b>Лесов Кувандык Сагинович</b>	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>
<b>Салахов Талгат Альбекович</b>	Приволжский государственный университет путей сообщения, аспирант, e-mail: <a href="mailto:talgatsalahov@bk.ru">talgatsalahov@bk.ru</a>
<b>Кенжалиев Мухамедали Казбек угли</b>	Ташкентский государственный транспортный университет, PhD, и.о. доцента, e-mail: <a href="mailto:mkenjaliev@mail.ru">mkenjaliev@mail.ru</a> <a href="https://orcid.org/0000-0003-4622-5937">https://orcid.org/0000-0003-4622-5937</a>

**G. Khalfin**

*A method for calculating the stability of a jointless track using the compression ratio of intermediate rail fasteners Pandrol Fastclip..159*

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

*Modelling of longitudinal forces in a rail track to assess the stability of a track without joints.....162*

**B. Rakhmanov, S. Razzakov**

*Deformation characteristics of polypropylene thread (p-1) for synthetic slings.....166*

**D. Sharipova, N. Rakhimova**

*Modeling of unsteady heat transfer processes in combined coatings.....171*

**3 section. Architecture and Urban Planning****E. Shchipacheva, N. Umarova**

*Innovative approaches to architectural design of youth centers in the era of information society.....177*

**S. Shaumarov, D. Nurmukhamedova**

*Modern approaches to designing student dormitories: energy efficiency, functionality, and social environment.....185*

**K. Markabaeva**

*Digital technologies in urban planning: a development vector for Uzbekistan.....192*

**E. Urazkhanova**

*Energy efficiency of buildings: world experience and prospects for Uzbekistan.....196*

**Y. Turdibekov**

*Smart city: problems and solutions.....201*

**N. Yuling, G. Liubou**

*Transport route efficiency optimization: a new perspective integrating sustainable development and economic benefits.....206*

**4 section. Improvement of modern engineering education system****K. Makhsimov, A. Marupov**

*Innovative approaches to teaching the “geotechnics” course for future civil engineers.....211*