

Кустикова Е.А.  
студент  
4 курс, направление «Иностранные языки и  
межкультурная бизнес-коммуникация»  
Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики»  
Россия, г. Нижний Новгород

**ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ  
ИНФРАСТРУКТУРЫ МЕЖДУНАРОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ  
КОММУНИКАЦИЙ ПОСРЕДСТВОМ ПРИМЕНЕНИЯ  
ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

**Аннотация**

*Современные геополитические трансформации сопровождаются перераспределением грузопотоков и ростом значения железнодорожного транспорта. В этих условиях надежность инфраструктуры становится ключевым фактором эффективности международных коммуникаций. В статье выполнен анализ процессов формирования остаточных деформаций балластного слоя, оценена эффективность применения георешеток, рассмотрены механизмы их взаимодействия с балластом и примеры практического использования в России и за рубежом.*

**Ключевые слова:** *Международные транспортные коммуникации, железнодорожная инфраструктура, устойчивость транспортных систем, геосинтетические материалы, балластный слой.*

**Abstract**

*Modern geopolitical transformations are accompanied by the redistribution of freight flows and the growing importance of railway transport. Under these conditions, infrastructure reliability becomes a key factor in the efficiency of international communications. This article analyzes the processes of residual deformation formation in the ballast layer, evaluates the effectiveness of geogrids, examines the mechanisms of their interaction with ballast, and presents examples of practical application in Russia and abroad.*

**Keywords:** *international transport communications, railway infrastructure, transport system resilience, geosynthetic materials, ballast layer, geogrids.*

## **Введение**

Стабильность геометрии пути определяется деформационной работой подшпального основания при циклическом воздействии поездных нагрузок. Увеличение осевых нагрузок и грузонапряженности приводит к росту интенсивности накопления остаточных деформаций балластного слоя, что как следствие, приводит к ускоренному расстройству пути и увеличению объёма работ, связанных с его техническим обслуживанием.

В современных условиях международные транспортные коммуникации являются важнейшим элементом мировой геополитической архитектуры. Железнодорожный транспорт занимает особое место благодаря высокой провозной способности и устойчивости к сезонным факторам, что делает его основой для стратегических проектов, таких как коридоры «Север-Юг» и «Восток-Запад».

Геополитические изменения последних лет повысили требования к надежности инфраструктуры. Одной из главных проблем эксплуатации остается накопление остаточных деформаций балластного слоя под воздействием поездных нагрузок, что ведет к снижению скоростей, росту расходов и сокращению межремонтных сроков. Для международных коридоров эта проблема критична, так как ограничения пропускной способности нарушают логистические цепочки.

Перспективным решением является использование геосинтетических материалов (георешеток), которые повышают пространственную устойчивость балластной призмы, уменьшают деформации и увеличивают срок службы пути. Практика применения в России, Китае, Австралии и Европе подтверждает эффективность этого решения.

Эксплуатационная надежность железнодорожной инфраструктуры становится одним из ключевых факторов обеспечения устойчивости транспортных коммуникаций. От технического состояния пути напрямую

зависят безопасность движения поездов, скорость перевозок, соблюдение графика доставки грузов и экономическая эффективность эксплуатации транспортной сети. Одним из наиболее нагруженных элементов конструкции железнодорожного пути является балластная призма, воспринимающая динамические воздействия от подвижного состава и передающая нагрузку на нижележащие элементы земляного полотна.

Развитие международных железнодорожных транспортных коридоров сопровождается постоянным увеличением интенсивности движения поездов, ростом массы грузовых составов и повышением осевых нагрузок на элементы верхнего строения пути. В результате эксплуатационные нагрузки на железнодорожную инфраструктуру значительно возрастают, что предъявляет повышенные требования к долговечности конструкций пути.

Конструкция железнодорожного пути представляет собой сложную инженерную систему, включающую рельсошпальную решетку, балластную призму, разделительные слои, земляное полотно и основание. Динамические нагрузки, возникающие при прохождении подвижного состава, последовательно передаются через все конструктивные элементы, при этом наибольшая часть необратимых деформаций формируется именно в балластном слое.

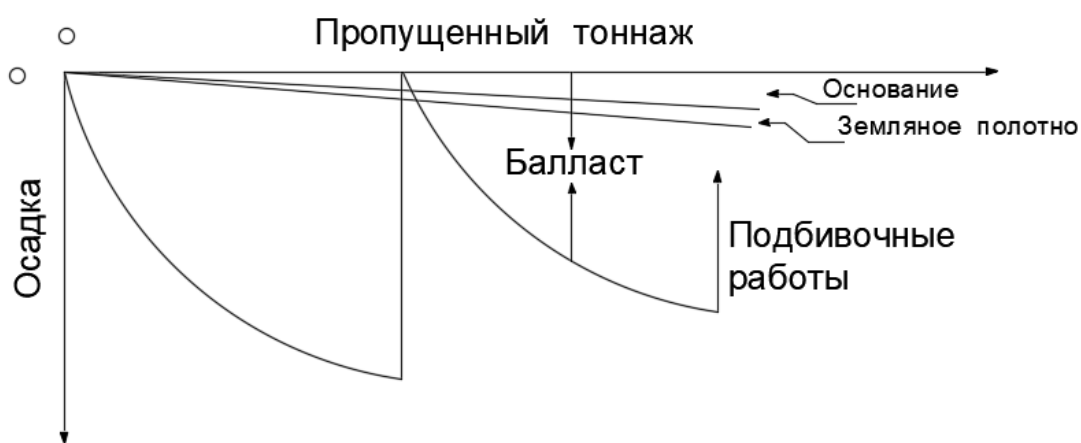
Балластная призма представляет собой дисперсную среду, состоящую из отдельных щебеночных частиц, взаимодействующих между собой посредством контактных напряжений. При циклическом нагружении происходит взаимное перемещение зерен балласта, их уплотнение, частичное разрушение и изменение пространственного положения. Совокупность перечисленных процессов приводит к постепенному накоплению остаточных осадок верхнего строения пути.

Следует отметить, что величина остаточных деформаций определяется не только характеристиками самого балласта, но и состоянием земляного полотна, интенсивностью движения поездов, климатическими условиями эксплуатации, качеством содержания пути и величиной передаваемых

нагрузок. Однако многочисленные исследования показывают, что именно балластная призма в большинстве случаев определяет скорость развития эксплуатационных деформаций железнодорожного пути.

При достаточно прочном основании основная часть вертикальных перемещений концентрируется именно в балластном слое, который становится наиболее уязвимым элементом конструкции пути. В результате происходит постепенное изменение положения шпал, ухудшается геометрия рельсовой колеи, увеличиваются динамические воздействия на подвижной состав и возрастает объем работ по текущему содержанию инфраструктуры.

В условиях функционирования международных транспортных коммуникаций подобные процессы приобретают особое значение. Даже незначительное снижение стабильности пути на отдельных участках способно привести к уменьшению допустимых скоростей движения поездов, ограничению пропускной способности транспортных коридоров и увеличению времени доставки грузов. Зависимость накопления остаточных деформаций подшпального основания от величины пропущенного тоннажа представлена на рисунке 1.



*Рисунок 1 – Зависимость остаточной деформации подшпального основания от пропущенного тоннажа*

В диссертационной работе [5] показано, что георешётки могут быть включены в технологию ремонтов (включая подбивку и последующую

эксплуатацию), а ожидаемым эффектом является увеличение межремонтных циклов и снижение затрат на техническое обслуживание пути.

Постоянное накопление остаточных деформаций приводит к сокращению межремонтного периода эксплуатации железнодорожного пути, увеличению затрат на содержание инфраструктуры и необходимости проведения дополнительных работ по выправке пути.

Повышение эксплуатационной надежности инфраструктуры способствует увеличению пропускной способности транспортных коридоров, сокращению эксплуатационных расходов и укреплению транспортной безопасности государств.

Одним из наиболее перспективных направлений модернизации железнодорожной инфраструктуры является применение геосинтетических материалов, позволяющих существенно повысить эксплуатационные характеристики балластной призмы без изменения существующей конструкции верхнего строения пути. Использование георешеток в мировой практике рассматривается как эффективное инженерное решение, обеспечивающее увеличение срока службы железнодорожной инфраструктуры и снижение затрат на ее содержание.

Принцип работы плоских георешеток основан на пространственной фиксации отдельных частиц балласта внутри ячеек геосинтетического материала. В результате формируется единая армированная структура, обладающая значительно большей устойчивостью к горизонтальным и вертикальным перемещениям по сравнению с неармированным балластным слоем.

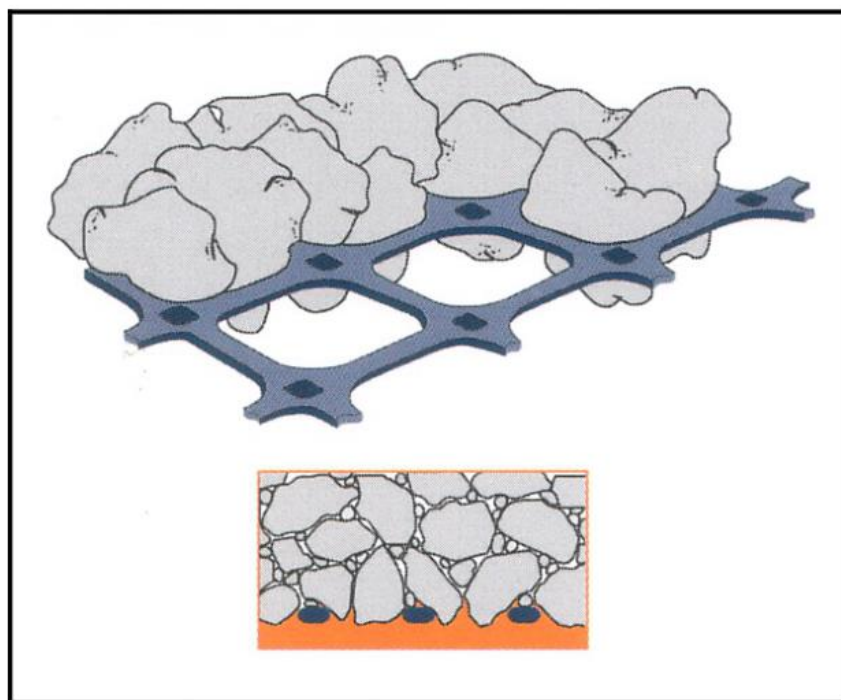
При прохождении поездной нагрузки частицы щебня стремятся смещаться относительно друг друга, что приводит к развитию пластических деформаций и постепенному расползанию балластной призмы. Наличие георешетки существенно ограничивает данные процессы, увеличивая сопротивление внутреннему сдвигу и перераспределяя возникающие напряжения по большей площади основания.

В результате совместной работы геосинтетического материала и балластного слоя достигается сразу несколько положительных эффектов:

- снижение интенсивности накопления остаточных деформаций;
- ограничение горизонтального расползания балластной призмы;
- перераспределение вертикальных нагрузок на земляное полотно;
- уменьшение контактных напряжений;
- увеличение межремонтного срока эксплуатации железнодорожного пути;
- снижение затрат на техническое обслуживание инфраструктуры.

Эффективность георешетки определяется степенью взаимодействия ее ячеек с зернами балластного материала. Чем выше эффект механической фиксации частиц щебня, тем более устойчивой становится конструкция балластной призмы при воздействии многократно повторяющихся поездных нагрузок.

Механизм взаимодействия георешетки с балластным материалом представлен на рисунке 2.



*Рисунок 2 – Схема фиксации частиц балласта георешеткой*

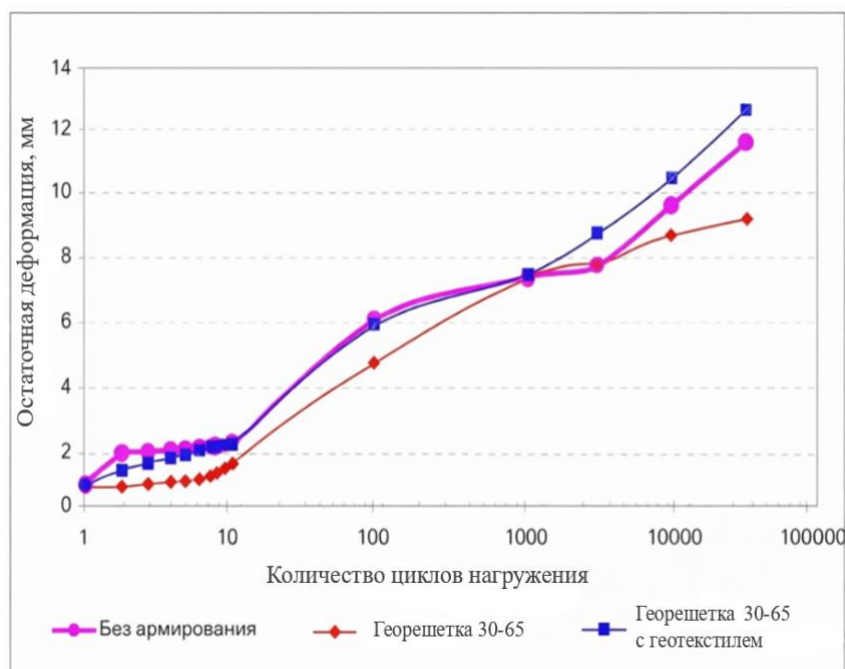
Анализ экспериментальных исследований показывает, что применение геосинтетических материалов позволяет существенно повысить

эксплуатационную надежность железнодорожного пути. Данный эффект достигается благодаря комплексному изменению напряженно-деформированного состояния балластной призмы, уменьшению локальных концентраций напряжений и ограничению перемещения отдельных частиц балласта.

Для оценки эффективности применения геосинтетических материалов были проанализированы результаты исследований, выполненных с использованием лабораторных моделей железнодорожного пути. Испытания проводились при многократном циклическом нагружении, моделирующем воздействие поездных нагрузок, характерных для эксплуатации современных железнодорожных магистралей.

В ходе экспериментов сравнивались конструкции пути без армирования и конструкции с использованием различных типов георешеток. Основным критерием эффективности являлась величина накопленных остаточных деформаций балластного слоя при одинаковом количестве циклов нагружения.

Полученные результаты представлены на рисунке 3.



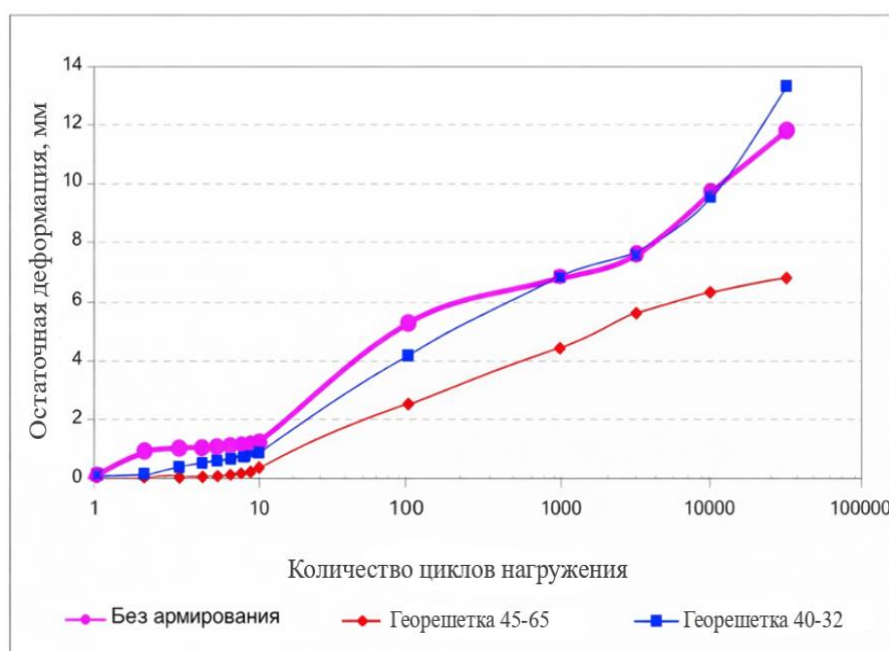
*Рисунок 3 – Сравнение накопления остаточных деформаций при использовании различных вариантов армирования балластной призмы.*

Испытания балласта, армированного георешеткой с ячейками 30-65 мм (рисунок 4), показали, что армирование балласта позволило снизить остаточные деформации в 1,2-1,3 раза после 50 000 циклов приложения нагрузки. При этом армирование балласта георешеткой с геотекстилем не привело к существенному снижению остаточных деформаций, поскольку геотекстиль препятствует проникновению частиц балласта в ячейки георешетки [5].

Применение георешетки с ячейками размером 40-32 мм привело к незначительному снижению накопления остаточных деформаций балласта в пределах 1000 циклов нагружения. При дальнейшем циклическом нагружении эффект от армирования балластной призмы отсутствует (рисунок 5).

Получено, что георешетка с размером ячеек 45-65 мм является наиболее эффективной для армирования балласта, поскольку она позволяет снизить остаточные деформации до 2,5 раз после 50 000 циклов приложения нагрузки [5].

Дополнительные результаты исследований представлены на рисунке 4.



*Рисунок 4 – Влияние применения георешеток на интенсивность накопления остаточных деформаций балластной призмы.*

Представленные данные подтверждают устойчивую закономерность уменьшения остаточных осадок при использовании армирующих



геосинтетических материалов. Независимо от условий испытаний применение георешеток обеспечивает снижение деформаций по сравнению с традиционной конструкцией пути.

Экономический эффект применения геосинтетических материалов выражается в сокращении объемов ремонтно-путевых работ, снижении эксплуатационных затрат и увеличении срока службы элементов верхнего строения пути. Любые ограничения скорости движения поездов или снижение пропускной способности отдельных участков способны привести к нарушению международных поставок, увеличению сроков доставки грузов и росту транспортных издержек.

Следовательно, применение современных технологий армирования балластной призмы следует рассматривать не только как средство совершенствования конструкции железнодорожного пути, но и как элемент повышения устойчивости международной транспортной системы.

Одним из ключевых факторов развития международных перевозок является функционирование международных транспортных коридоров, обеспечивающих перемещение грузов между странами Европы, Азии и Ближнего Востока. Для Российской Федерации особое значение имеют Международный транспортный коридор «Север – Юг», Евразийские железнодорожные маршруты и инфраструктура, обеспечивающая перевозки в направлении Восток – Запад. Международный опыт также подтверждает эффективность использования геосинтетических материалов при строительстве и реконструкции железных дорог. Исследования, проведенные в Великобритании, Австралии, Китае, Индии и ряде европейских стран, свидетельствуют о существенном снижении остаточных деформаций балластной призмы, увеличении срока службы верхнего строения пути и сокращении расходов на его содержание.

Для Российской Федерации внедрение подобных технологий представляет особый интерес в связи с развитием международных транспортных маршрутов «Север – Юг», восточного направления

международных перевозок и модернизацией железнодорожной сети. Повышение устойчивости инфраструктуры способствует увеличению пропускной способности магистралей, сокращению времени доставки грузов и укреплению транзитного потенциала страны.

Перспективы дальнейших исследований связаны с изучением эффективности различных видов геосинтетических материалов в условиях возрастающих осевых нагрузок, цифровым моделированием поведения армированной балластной призмы, а также оценкой влияния инженерных решений на развитие международных транспортных коридоров и устойчивость глобальных логистических систем.

### **Список используемых источников**

1. S.Fischer, Investigation of the geogrid-granular soil combination layer with laboratory multi-level shear box test, Special sessions on „Geosynthetics in Road Construction“ EuroGeo 6, Ljubljana, Slovenija, 2016;

2. Сомов Д. Н., Петряев А. В., Парахненко И. Л., Тенирядко Н. И. Влияние технологий стабилизации на деформационные характеристики балластной призмы железнодорожного пути // Бюллетень результатов научных исследований. — 2025. — Вып. 3. — С. 135–148. DOI: 10.20295/2223- 9987-2025-3-135-148;

3. A Abrashitov and A Kuznetsova The Technology of Multilayer Mechanical Stabilization of the Railway Ballast by Flat Polymer Geogrids2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1079 052069 DOI 10.1088/1757-899X/1079/5/052069;

4. B. Indraratnaa, N. T. Ngoa, Hai Huang, Yin Gao, Improved Performance of Ballasted Rail Tracks using Plastics and Rubber Inclu-sions Transportation Geotechnics and Geocology, TGG 2017, 17-19 May 2017, Saint Petersburg, Russia106–112;

5. Kwan C.C.J. Geogrid Reinforcement of Railway Ballast: PhD Thesis. University of Nottingham. September 2006. 212 p;