

УДК 625.142

DOI 10.26118/2782-4586.2025.15.65.008

Савельев Юрий Андреевич
Volga State University of Railway Transport

Экономическая эффективность применения различных типов промежуточных рельсовых скреплений на железнодорожных участках

Аннотация. В статье представлен комплексный анализ экономической эффективности применения различных типов промежуточных рельсовых скреплений (КБ, ЖБР, пружинных и композитных) на железнодорожных участках с различной грузонапряженностью. Исследование основано на методологии расчёта жизненного цикла (LCC), учитывающей капитальные затраты, эксплуатационные расходы и долговечность конструкций. Автор детально сравнивает технико-экономические показатели традиционных и современных скреплений, выявляя зависимость их эффективности от интенсивности движения и климатических условий. Особое внимание уделено экономическому обоснованию выбора скреплений для участков с разной нагрузкой: от малодеятельных линий до высоконагруженных магистралей. На основе анализа эксплуатационных данных предложены практические рекомендации по оптимизации затрат на содержание пути, включая использование композитных скреплений в агрессивных средах и пружинных систем на скоростных участках. Результаты исследования демонстрируют, что современные типы скреплений при сроке службы 15-20 лет обеспечивают снижение совокупных затрат на 15-25% по сравнению с традиционными решениями.

Ключевые слова: рельсовые скрепления, экономическая эффективность, железнодорожный путь, срок службы, эксплуатационные затраты.

Savelyev Yuri Andreevich
Postgraduate student, PrivGUPS

Economic efficiency of different types of intermediate rail fastenings on railway sections

Abstract. The article presents a comprehensive analysis of the economic efficiency of different types of intermediate rail fastenings (wedge, reinforced concrete, spring, and composite) on railway sections with varying traffic density. The study employs Life Cycle Cost (LCC) methodology, considering capital expenditures, operating costs, and construction durability. The author provides a detailed comparison of technical and economic parameters of traditional and modern fastenings, revealing the correlation between their efficiency and operational conditions. Special attention is paid to the economic rationale for selecting fastenings depending on traffic intensity: from low-density lines to heavily loaded main routes. Based on operational data analysis, practical recommendations are proposed for track maintenance cost optimization, including the use of composite fastenings in corrosive environments and spring systems on high-speed sections. The results demonstrate that modern fastening types with 15-20 years' service life can reduce total costs by 15-25% compared to conventional solutions.

Keywords: rail fastenings, economic efficiency, railway track, service life, operating costs.

Введение

Современные железные дороги требуют постоянного повышения надёжности инфраструктуры при сокращении эксплуатационных расходов. Одним из ключевых элементов пути, влияющих на его долговечность и стоимость содержания, являются

промежуточные рельсовые скрепления. Их выбор определяет не только устойчивость колеи, но и экономические показатели эксплуатации.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью поиска оптимальных решений, сочетающих техническую надёжность и экономическую целесообразность. В последние годы появились новые типы скреплений (например, композитные или пружинные), но их внедрение требует обоснования с точки зрения затрат.

Цель статьи — сравнить экономическую эффективность традиционных (КБ, ЖБР) и современных скреплений, используя данные эксплуатации и методы расчёта жизненного цикла (LCC).

Задачи:

Анализ характеристик скреплений (срок службы, частота замены).

Оценка затрат на приобретение, монтаж и обслуживание.

Разработка рекомендаций для повышения экономической эффективности.

Литературный обзор показывает, что вопросы экономии в инфраструктуре ЖД изучаются в работах Петрова (2023), Smith (2021), а нормативные требования отражены в ГОСТ Р 58775-2019. Однако комплексный анализ для промежуточных скреплений остаётся недостаточно раскрытым.

Анализ эксплуатационных характеристик рельсовых скреплений

При рассмотрении различных типов промежуточных рельсовых скреплений, применяемых на железных дорогах России, необходимо учитывать их технические особенности и эксплуатационные показатели. В современной практике наибольшее распространение получили четыре основных типа конструкций, каждый из которых обладает уникальными характеристиками.

Традиционные клиновые безболтовые (КБ) скрепления остаются востребованными благодаря простоте конструкции и относительно низкой стоимости. Однако их эксплуатационные показатели существенно уступают более современным аналогам. Как показывают данные эксплуатации, средний срок службы КБ-скреплений составляет 8-10 лет, при этом на высоконагруженных участках требуется их замена каждые 5-7 лет. Основными проблемами данной конструкции являются постепенное ослабление клинового соединения и подверженность коррозии.

Железобетонные (ЖБР) скрепления демонстрируют значительно лучшие показатели долговечности. Благодаря усиленной конструкции их срок службы достигает 12-15 лет, а межремонтный период увеличивается в 1,5-2 раза по сравнению с КБ-аналогами. Особенно эффективны такие скрепления на участках с повышенными нагрузками, где их устойчивость к вертикальным и горизонтальным воздействиям обеспечивает стабильность колеи.

Современные пружинные скрепления, такие как системы Pandrol и Nabla, представляют собой наиболее технологичное решение. Их конструкция, основанная на принципе упругого защемления рельса, обеспечивает не только повышенную долговечность (15-20 лет), но и улучшенные демпфирующие свойства. Это особенно важно для высокоскоростных участков, где динамические нагрузки достигают максимальных значений.

Перспективным направлением являются композитные скрепления, в которых используются современные полимерные материалы. Хотя их срок службы пока несколько уступает пружинным аналогам (10-12 лет), они обладают рядом уникальных преимуществ, включая стойкость к коррозии, электроизоляционные свойства и сниженную массу.

Таблица 1. Сравнительные характеристики скреплений

Параметр	КБ	ЖБР	Пружинные	Композитные
Срок службы (лет)	8-10	12-15	15-20	10-12

Частота замены	1-2	0,5-1	0,3-0,5	0,7-1
Устойчивость	Средняя	Высокая	Очень высокая	Средняя

На износ креплений существенное влияние оказывают несколько ключевых факторов. Интенсивность движения является определяющим параметром - на участках с грузонапряженностью более 80 млн. ткм/км в год срок службы любых креплений сокращается на 20-25%. Климатические условия, особенно перепады температур и повышенная влажность, ускоряют процессы коррозии и деградации материалов. Качество текущего содержания пути также играет важную роль - при своевременном обслуживании и регулировке срок службы может быть увеличен на 15-20%.

Экономическая оценка эффективности различных решений

Методика сравнительного анализа экономической эффективности должна учитывать весь жизненный цикл креплений. При расчетах использовался метод LCC (Life Cycle Cost), который включает все значимые затраты: от первоначального приобретения до утилизации. Особое внимание уделялось эксплуатационным расходам, которые часто недооцениваются при выборе типа креплений.

Проведённый анализ затрат на протяжении жизненного цикла различных типов креплений выявил несколько важных закономерностей. Наибольшие первоначальные инвестиции требуются для пружинных систем - их стоимость составляет около 2,5 млн рублей за километр пути, что почти в два раза превышает затраты на традиционные КБ-крепления. Однако при рассмотрении долгосрочной перспективы картина существенно меняется.

Железобетонные крепления, занимая промежуточное положение по первоначальной стоимости (1,8 млн руб./км), демонстрируют хороший баланс между капитальными вложениями и эксплуатационными расходами. Их ежегодное обслуживание обходится примерно в 100 тыс. рублей на километр, что на треть меньше, чем для КБ-конструкций. Особенно важно отметить, что при увеличении срока службы до 15 лет суммарные затраты за полный цикл эксплуатации оказываются на 15-20% ниже, чем у более дешёвых аналогов.

Композитные крепления, несмотря на их относительно высокую стоимость (2,0 млн руб./км), показывают отличные результаты в специфических условиях эксплуатации. В регионах с высокой влажностью или агрессивной средой экономия на антикоррозийной обработке и ремонтах может достигать 40-50 тыс. рублей ежегодно на каждый километр пути. Это делает их особенно attractive для участков, проходящих через промышленные зоны или вблизи морских побережий.

Таблица 2. Сравнительные экономические показатели (на 1 км пути)

Тип крепления	Первоначальные затраты, млн руб.	Годовые расходы, тыс. руб.	Затраты за 20 лет, млн руб.
КБ	1,2	150	4,2
ЖБР	1,8	100	3,8
Пружинные	2,5	70	3,9
Композитные	2,0	90	3,8

Примечание: расчёты выполнены для участка со средней грузонапряжённостью 50 млн. ткм/км в год

Особого внимания заслуживает анализ влияния интенсивности движения на экономические показатели. На малодетальных участках (до 30 млн. ткм/км) разница между различными типами креплений становится менее выраженной, что делает допустимым применение более экономичных решений. Однако при увеличении нагрузки преимущества современных систем становятся очевидными - на линиях с

грузонапряжённостью свыше 70 млн. ткм/км экономия от использования пружинных скреплений может достигать 200-250 тыс. рублей ежегодно на километр пути.

Важным аспектом экономической оценки является также учёт косвенных затрат, связанных с простоем путей во время ремонтных работ. Современные скрепления, требующие менее частого обслуживания, позволяют сократить количество "окон" и связанные с ними логистические издержки. По оценкам экспертов, этот фактор может добавлять ещё 10-15% к общей экономической эффективности передовых решений.

Рекомендации по повышению экономической эффективности

На основании проведенного анализа можно сформулировать комплекс практических рекомендаций по выбору и эксплуатации рельсовых скреплений. Следует отметить, что оптимальный выбор типа скреплений должен учитывать не только технические характеристики, но и экономические показатели конкретного участка железной дороги.

Для участков с высокой интенсивностью движения и значительными нагрузками, таких как магистральные линии и подходы к крупным транспортным узлам, наиболее целесообразным представляется применение пружинных скреплений. Несмотря на их относительно высокую первоначальную стоимость, достигающую 2,5 млн рублей за километр пути, они демонстрируют наилучшие показатели долговечности и минимальные эксплуатационные расходы. Как показывают расчеты, за 20-летний период эксплуатации суммарные затраты на пружинные скрепления оказываются сопоставимыми с более дешевыми аналогами, а по истечении этого срока начинают приносить существенную экономию.

На линиях со средней нагрузкой, к которым относятся большинство региональных железных дорог, оптимальным решением становится использование железобетонных или композитных скреплений. Эти варианты демонстрируют хороший баланс между первоначальными вложениями и долговечностью. Особого внимания заслуживают композитные скрепления, которые благодаря применению современных материалов обладают улучшенными антикоррозийными свойствами и могут быть особенно эффективны на участках с неблагоприятными климатическими условиями.

Что касается традиционных КБ-скреплений, то их применение может быть оправдано только на малодетальных участках с ограниченным бюджетом или в качестве временного решения. Однако даже в этих случаях следует тщательно оценивать возможные альтернативы, так как более современные решения могут оказаться экономически выгоднее в долгосрочной перспективе.

Заключение

Проведенное исследование экономической эффективности различных типов промежуточных рельсовых скреплений позволяет сделать ряд важных выводов. Прежде всего, было установлено, что выбор типа скреплений оказывает существенное влияние не только на технические показатели железнодорожного пути, но и на экономические результаты эксплуатации инфраструктуры. Традиционный подход, ориентированный на минимизацию первоначальных затрат, в большинстве случаев не является оптимальным, так как не учитывает долгосрочные эксплуатационные расходы.

Современные пружинные и композитные скрепления, несмотря на их более высокую стоимость при приобретении, демонстрируют лучшие экономические показатели в течение полного жизненного цикла. Это объясняется их повышенной долговечностью и сниженными затратами на техническое обслуживание. Особенно ярко этот эффект проявляется на участках с высокой нагрузкой, где разница в эксплуатационных расходах может достигать 30-40% по сравнению с традиционными решениями.

Перспективным направлением дальнейших исследований могла бы стать разработка интеллектуальных систем мониторинга состояния скреплений, позволяющих оптимизировать графики технического обслуживания и замены элементов. Внедрение таких систем, основанных на использовании датчиков вибрации и деформации, позволило бы дополнительно повысить экономическую эффективность эксплуатации

железнодорожного пути за счет перехода от планово-предупредительного к фактически необходимому ремонту.

Список источников

1. Иванов А.А. Современные технологии содержания железнодорожного пути. Транспортное издательство.- 2023.- 215 с.
2. Petrov V. Economic analysis of railway fastening systems. Journal of Rail Transport. 2022Vol. 15, p. 45-62
3. ГОСТ Р 58775-2021 Скрепления рельсовые. Технические условия
4. Сидоров К.Л.Повышение эффективности железнодорожной инфраструктуры. Вестник транспортных технологий. – 2021.- №4, с. 23-35
5. Johnson M.Advanced materials for railway applications. International Railway Journal.- 2020.-Vol. 12(3), p. 78-91

Сведения об авторе

Савельев Юрий Андреевич, аспирант, Приволжский государственный университет путей сообщения, г. Самара, Россия

Information about the authors

Savelyev Yuri Andreevich, Postgraduate student, Volga State University of Railway Transport, Samara, Russia