

УДК 629.4.015

## Теоретические и экспериментальные исследования промежуточных рельсовых скреплений

**Е. В. Соломатин**

ООО «Технология 69», Российская Федерация, 129075, Москва, ул. Аргуновская, 3, к. 1

**Для цитирования:** Соломатин Е. В. Теоретические и экспериментальные исследования промежуточных рельсовых скреплений // Бюллетень результатов научных исследований. — 2025. — Вып. 2. — С. 36–48. DOI: 10.20295/2223-9987-2025-2-36-48

### Аннотация

**Цель:** Анализ зарубежного опыта определения причин, по которым происходит выход из строя промежуточного рельсового скрепления. В настоящее время разработано достаточно много конструкций рельсовых скреплений для различных условий эксплуатации и множество расчетных и лабораторных методов определения их работоспособности. При этом остается открытым вопрос прогнозирования и подтверждения ресурса узла рельсового скрепления и сохранения его виброзащитных свойств в процессе эксплуатации. **Методы:** Сравнение и анализ расчетных моделей определения напряженного состояния элементов различных конструкций промежуточных рельсовых скреплений, а также лабораторные и полигонные испытания в различных условиях эксплуатации. Результаты стендовых испытаний на циклическую усталость не всегда совпадают с результатами натурных испытаний на действующей железнодорожной линии. При этом отказы для различных типов рельсовых скреплений происходят по причине выхода из строя различных элементов узла скрепления. В статье рассматриваются вопросы сохранения виброзащитных свойств рельсовых скреплений в эксплуатации, причины выхода из строя отдельных элементов скреплений и вопросы подтверждения эксплуатационного ресурса. **Результаты:** Определен элемент, отказ которого чаще всего приводит к отказу всего узла скрепления. Это упругая клемма. Рассмотрены исследования, утверждающие, что разрушение клеммы в значительной степени связано с резонансом, вызванным волнообразным износом рельса, а также другие исследования, заявляющие, что клеммы разрушаются вследствие повышенной нагрузки на ось. **Практическая значимость:** Созданы предпосылки для разработки мероприятий по сокращению или недопущению разрушения упругих клемм промежуточных рельсовых скреплений в эксплуатации.

**Ключевые слова:** Рельсовое скрепление, упругая клемма, демпфирующая прокладка, дюбель, ресурс, усталостная прочность, ресурс.

### Введение

Промежуточное рельсовое скрепление (далее — скрепление) является важнейшей частью верхнего строения железного пути, определяющей динамические показатели взаимодействия с подвижным составом, надежность, работоспособность и стоимость при строительстве и техническом обслуживании. Проблема надежной работы скреплений весьма актуальна для всех железных дорог мира.

Являясь одним из важных элементов верхнего строения пути, рельсовые скрепления в значительной степени определяют эксплуатационную надежность железнодорожного пути и условия его взаимодействия с подвижным составом.

Надежность рельсового скрепления влияет на срок службы верхнего строения пути.

Основными функциями скрепления являются: надежное соединение рельсов с подрельсовым основанием, электроизоляция рельса на участках с автоматической блокировкой и электрической тягой. Кроме того, к функциям скреплений относится снижение нагрузки и вибрации, передаваемой от рельсов на шпалы и балласт, особенно в криволинейных участках пути с малым радиусом кривизны, а также при высоких скоростях движения поездов и высокой грузонапряженности.

В настоящее время разработаны перспективные конструкции промежуточных рельсовых скреплений, способные работать в условиях повышенных нагрузок до 25 тс/ось с перспективой увеличения до 27 тс/ось, а также при нормативном ресурсе 1,5 млрд тонн с перспективой увеличения до 2,5 млрд тонн. При этом остается открытым вопрос прогнозирования и подтверждения ресурса узла рельсового скрепления и сохранения его виброзащитных свойств в процессе эксплуатации. Результаты стендовых испытаний на циклическую усталость не всегда совпадают с результатами натуральных испытаний на действующей железнодорожной линии. При этом отказы для различных типов рельсовых скреплений происходят по причине выхода из строя различных элементов узла скрепления.

### **Виброзащитные свойства скреплений**

В литературе [1] представлены многочисленные исследования влияния рельсовых скреплений на рельс и основание пути в различных условиях эксплуатации. Система рельсовых скреплений является ключевым фактором, определяющим вибрационные характеристики пути. При небольшой жесткости связь между рельсом и подрельсовым основанием слабая, и скорость затухания колебаний рельса становится меньше. И наоборот, при увеличенной жесткости вибрация подрельсового основания становится интенсивнее.

Для изучения влияния рельсовых скреплений на вибрацию конструкции пути на эстакаде в статье [1] выбраны четыре вида широко используемых скреплений для сравнения и анализа. Четыре вида скреплений и их параметры: специальное виброгасящее скрепление (жесткость 10 кН/мм), скрепление GJ-III (25 кН/мм), скрепление DTVI2 (50 кН/мм) и скрепление E-clip (60 кН/мм). В публикации показано и сопоставлено влияние различных типов скреплений на вибрацию пролетных строений эстакад и мостов. Влияние рельсового скрепления практически незначительно для вибрации пролетного строения в пределах 60 Гц. При вибрации в диапазоне 60–100 Гц скрепление E-clip, обладающее высокой жесткостью, оказывает минимальное воздействие на различные части конструкции моста, а наибольший эффект дает скрепление GJ-III. Однако различия между амплитудами вибрации

этих четырех видов рельсовых креплений незначительны. Многие исследования показывают, что между рельсом и креплением в определенном частотном диапазоне возникают антирезонансные вибрации, в результате чего жесткость подпутья превышает его статическую жесткость, в результате чего рельсовое крепление теряет свой демпфирующий эффект, что приводит к увеличению вибрации. При вибрации пролетного строения выше 100 Гц крепление GJ-III считается лучшим по снижению вибрации в коробчатой балке, тогда как крепление E-clip демонстрирует худшие показатели по снижению вибрации. Влияние крепления на вибрацию рельсов можно разделить на два частотных диапазона: один в пределах 100 Гц, другой — более 100 Гц. Крепление E-clip более эффективно, чем остальные три вида рельсовых креплений в пределах 100 Гц, а крепление GJ-III лучше остальных по снижению вибрации в диапазоне выше 100 Гц.

Когда волна вибрации проходит через рельс к мосту, энергия вибрации частично рассеивается за счет демпфирования рельсового крепления, а энергия, передаваемая в конструкцию моста, уменьшается, выполняя задачу гашения вибрации. Для анализа влияния демпфирования рельсовых креплений на вибрацию мостовых конструкций используются четыре показателя демпфирования рельсовых креплений:  $1 \times 10^4$ ,  $2 \times 10^4$ ,  $4 \times 10^4$  и  $8 \times 10^4$  Н/(м/с) с неизменной жесткостью 60 МН/м для расчета скорости прохождения различных частей моста. Отмечается [1], что увеличение демпфирования рельсовых креплений не влияет на снижение вибрации моста в пределах 100 Гц, тогда как для вибрации моста между 100 и 300 Гц демпфирование креплений оказывает определенное влияние на снижение вибрации, несмотря на то что амплитуда снижения сравнительно невелика.

## Упругие клеммы

В последние годы было проведено большое количество исследований [2] механических свойств рельсовых креплений и усталостного разрушения их упругих клемм, в основном с упором на статические и динамические характеристики самих клемм, а также квазистатическую усталостную долговечность в конкретных условиях эксплуатации и резонансное усталостное повреждение упругих клемм, вызванное внешним возбуждением, таким как коротковолновой волнообразный износ и неровности на поверхности катания колеса.

В исследовании [3] измерена динамическая жесткость крепления в вертикальном и поперечном направлении в диапазоне 100–1000 Гц и предложены частотные характеристики изменения системы рельсового крепления при предварительном натяжении. То есть жесткость крепления будет постепенно увеличиваться с увеличением частоты возбуждения и оказывать существенное влияние на выход из строя клемм. Мохаммадзаде и другие авторы [4, 5] исследовали

усталостную надежность и чувствительность случайных величин упругих клемм при различных осевых нагрузках посредством численного моделирования и экспериментов. Джавад Садеги и др. [6, 7] посредством экспериментов проанализировали влияние условий нагружения пути на усталостные характеристики упругих клемм и установили, что явление усталости — это основная причина выхода из строя рельсовых скреплений. Чтобы изучить фактическое влияние степени затяжки крепежных элементов, жесткости элементов скрепления и частоты приложения нагрузки на механические характеристики, был разработан нелинейный пружинный элемент для моделирования вертикальных характеристик узла рельсового скрепления. Хасап и др. [8, 9] исследовали различные характеристики динамического смещения упругих клемм, вызванного ударной нагрузкой от колеса, на основе теории конечных элементов, а также провели полевые испытания на усталость. Они считали, что основной причиной разрушения упругих клемм является амплитуда механических напряжений, вызванных воздействием поездной нагрузки. Линг и др. [10] показали, что на усталостное разрушение клемм влияет сверхнормативное циклическое динамическое воздействие от подвижного состава, при этом расчеты и эксперименты проводились при различных значениях затяжки крепежных элементов.

При дальнейшем развитии исследований в части моделирования динамических характеристик рельсовых скреплений в сочетании с натурными измерениями некоторые ученые полагают, что резонанс упругих клемм, вызванный высокочастотным возбуждением, является основной причиной выхода их из строя. Ван и другие авторы в работах [11, 12] на основе измеренных данных волнообразного износа рельсов исследовали влияние периодических коротких неровностей рельсов на повреждение упругих клемм и определили режимы шлифования рельсов. Кроме того, исследованы динамические характеристики клемм с различными свойствами материалов, а также усталостные повреждения при волнообразном износе рельсов. Сяо и др. [13] изучили высокочастотную вибрацию пути, вызванную неровностями на поверхности катания рельсов и колес при высокоскоростном движении. Они полагали, что упругие клеммы будут резонировать, когда частота возмущающей вибрации приблизится к собственной частоте колебаний клемм, что приведет к их усталостному разрушению. Гао и др. в работе [14] проанализировали передаточные функции упругих клемм, частоту возбуждения от неровностей рельса в зависимости от крутящего момента крепежителей рельсового скрепления SKL. Путем анализа испытаний и моделирования обнаружено, что частота возбуждения системы «колесо — рельс» очень близка к собственной частоте клемм SKL в рабочем состоянии, что может привести к их резонансу и усталостному повреждению. Кроме того, исследована [15] взаимосвязь между параметрами высокоскоростных скреплений для скорости 300–350 км/ч, такими как амплитудно-частотные

характеристики упругих клемм, динамические напряжения клемм, износ рельсов. Объяснен механизм динамического разрушения клемм при высокочастотном (580–680 Гц) возбуждении, а также проведена оптимизация их геометрических параметров.

Исследователи уделяют все большее внимание динамическим характеристикам клемм и резонансным усталостным повреждениям, вызванным высокочастотным ударом колеса о рельс. Исследования основаны на динамическом анализе с детерминированными условиями, при которых состояние и параметры конструкции пути постоянны, а источники возбуждения случайны [16, 17], что непосредственно вызывает случайные динамические взаимодействия системы «колесо — рельс» и дополнительно влияет на динамические характеристики креплений и усталостное повреждение клемм.

В лаборатории путевой инженерии Пекинского университета Цзяотун проведены лабораторные исследования [18] усталостной долговечности клеммы E-clip при различном ее положении относительно анкера.

При зазоре между анкером и клеммой 3 мм и прогибе клеммы 14 мм усталостная долговечность составляет 323 000 циклов, что существенно меньше нормируемого значения 5 000 000 циклов. Кроме того, установлено, что усталостная долговечность нелинейно снижается при увеличении прогиба клеммы.

В исследовании [19] предложен метод прогнозирования усталостной долговечности упругих клемм путем установления зависимости между приложенными нагрузками и напряжениями на клеммы при лабораторных испытаниях. С применением предложенного метода была оценена усталостная долговечность рельсового скрепления, и с использованием этой оценки была получена допустимая боковая сила.

В исследовании Шанхайского научно-исследовательского института материалов [20] в качестве объекта исследования взята W-образная клемма от скрепления Vossloh 300-1, которое обычно используется для высокоскоростных железных дорог. Вначале проведена серия испытаний на одноосное растяжение. Затем на основе измеренных эксплуатационных характеристик материала клеммы была построена конечно-элементная модель узла скрепления. Срок службы до зарождения усталостной трещины крепежного зажима был предсказан в соответствии с критерием Брауна — Миллера.

В исследовании [20] определено влияния механических свойств на зарождение трещины в клемме. Результаты показали, что зарождение и прогрессирование усталостных трещин в клемме происходит в плоскости максимальной сдвиговой деформации. Срок службы клеммы чрезвычайно чувствителен к модулю упругости и к прочности на растяжение. Усталостная прочность клеммы может быть повышена за счет увеличения предела прочности материала на разрыв до 1450 МПа и уменьшения модуля упругости до 160 ГПа.

На Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ» в Щербинке проведены эксплуатационные испытания различных типов промежуточных рельсовых скреплений при наработке тоннажа до 900 млн т брутто на безбалластной конструкции пути [21]. Были испытаны следующие типы промежуточных рельсовых скреплений:

- W 30 HH (heavy-haul) (Vossloh);
- System DFF 301 (Vossloh);
- SBS W SL 1-900-R65 (Schwihag);
- Pandrol Fastclip SFC (Pandrol).

Результаты показывают [22, 23], что упругие клеммы различных типов промежуточных рельсовых скреплений выходили из строя только по причине сверхнормативной затяжки шурупов.

В исследовании [24] показано влияние сопротивления горизонтальному повороту рельса в узле рельсового скрепления на устойчивость бесстыкового пути против температурного выброса.

### **Демпфирующие прокладки**

Для анализа напряженно-деформированного состояния эластомерных рельсовых прокладок и контактных напряжений на их поверхностях [25] рассмотрены две характерные конструкции эластомерных накладок: с синусоидальным рифлением поверхностей (синусоидальные желоба) и трапециевидным рифлением (трапециевидные желоба).

В исследовании показаны фактические прочностные характеристики эластомерных накладок с синусоидальной и трапециевидной формой рифлей, полученные в ходе экспериментальных исследований серийных и опытных образцов. Модуль упругости материала прокладок составляет 55,0 МПа, а коэффициент Пуассона 0,45. Испытательные нагрузки составляли от 0,0 кН до 200,0 кН.

Анализ исследований показывает, что оба типа прокладок характеризуются значительной упругой деформацией при приложении и снятии напряжений с образцов. При нагрузке до 100,0 кН прокладки с рифлями синусоидальной и трапециевидной формы демонстрируют значения упругой деформации 4,62 мм и 2,71 мм соответственно; при нагрузке 200,0 кН значения будут равны 6,0 мм и 5,0 мм соответственно.

Величина деформации прокладок с синусоидальными рифлями превышает величину деформации трапециевидных прокладок в 1,7 раза при нагрузке до 100,0 кН; при нагрузке до 200,0 кН значение будет выше в 1,2 раза. Причина повышенной деформации прокладок с синусоидальными рифлями по сравнению с трапециевидными заключается в повышенной деформируемости вершин

синусоидальных рифлей при незначительной величине контактной поверхности и конической форме рифлей.

Установлено [25], что наибольшие расчетные напряжения 26,0 МПа наблюдаются в угловых точках контакта «рельс — прокладка». Достигнутое напряжение 26,0 МПа при нагрузке 100,0 кН сохраняется при дальнейшем росте нагрузки до 200,0 кН. При этом происходит перераспределение деформаций и напряжений на другие области прокладки.

Сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния синусоидальных и трапециевидных прокладок показывает, что в пределах вершин синусоидальных рифлей деформируемость увеличивается на 1,5–2,0 мм, т. е. в 1,7 раза по сравнению с рифлями трапециевидной прокладки. При этом сжимающие напряжения внутри синусоидальных рифлей в верхней и нижней плоскостях достигают 54,6 МПа, а сжимающие напряжения в вершинах и внутри трапециевидных рифлей 26,0 МПа, т. е. в 2,1 раза меньше.

В ходе проведения испытаний [26] на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ» в Щербинке при наработке тоннажа 900 млн т брутто выхода из строя демпфирующих прокладок не наблюдалось. Однако отмечено [27], что упругие свойства демпфирующих прокладок существенно зависят от температуры, что оказывает значительное влияние на условия взаимодействия колеса и рельса.

## Дюбели

Предметом исследования [28] стали прочностные характеристики дюбелей различных производителей и влияние конструкции дюбеля на прочностные характеристики шпал.

Расчет напряжений в дюбелях при растяжении показал максимальные напряжения во всех дюбелях, которые составляют 85–100 МПа. Все дюбеля испытывают максимальные нагрузки на относительно небольшой площади. Характер распределения напряжений примерно одинаков у всех дюбелей.

Чтобы выяснить, достаточна ли прочность, был рассчитан коэффициент запаса прочности. В самых слабых сечениях минимальное значение коэффициента запаса было равно 0,58, максимальное — 9,16.

Исследования [28] показали, что напряжения, возникающие в дюбелях в процессе эксплуатации, значительно ниже, чем при испытаниях на растяжение, проводимых по утвержденным методикам. В частности, максимальное напряжение в теле дюбеля составило 8 МПа без видимых повреждений. Поэтому прочностные характеристики всех дюбелей не вызывают сомнений и имеют значительный запас прочности в эксплуатации.

Максимальные значения напряжений во всех дюбелях при эксплуатации не превышают 10 МПа, что существенно меньше, чем при испытаниях.

Согласно расчетам, при испытаниях дюбелей на растяжение, проводимых в телах всех рассматриваемых дюбелей, возникают напряжения 85–100 МПа, которые значительно превышают напряжения, возникающие в дюбелях при эксплуатации, причем характер и распределение таких напряжений не в полной мере соответствуют эксплуатационным напряжениям.

Анализ напряжений, возникающих в шпалах с дюбелями рассматриваемых производителей, показал, что их предельное значение составляет 75 МПа. Кроме того, в шпалах максимальные напряжения находятся в теле шпалы, что позволяет осуществить их перераспределение и предотвратить выдергивание дюбеля из шпалы.

## Заключение

Как видно из проведенного обзора, большинство исследований усталости рельсового скрепления сосредоточены на таких аспектах, как свойства материала, технология обработки и условия нагружения. Однако имеют место такие проблемы, как чрезмерное упрощение математических моделей, необоснованность граничных условий и невозможность количественного прогнозирования срока службы рельсового скрепления. До сих пор еще не разработан метод расчета и анализа эксплуатационного ресурса, который можно было бы считать стандартизированным и широко использовать.

Ряд исследователей [10–16] утверждают, что разрушение клеммы в значительной степени связано с резонансом, вызванным волнообразным износом рельса, а другие исследователи [17, 29, 30] заявляют, что клеммы разрушаются вследствие повышенной нагрузки на ось. Логично предположить, что разрушение клемм является результатом воздействия совокупности факторов с разной степенью влияния.

Наиболее критичным элементом узла рельсового скрепления с точки зрения надежности является упругая клемма. Именно ее выход из строя приводит к прекращению работоспособности узла в целом. Изменение свойств демпфирующих прокладок в процессе эксплуатации приводит к ухудшению демпфирующих свойств узла скрепления. Выход из строя анкеров, шурупов и электроизолирующих элементов скреплений случается значительно реже, чем клемм и прокладок.

## Список источников

1. Kun L. Influence analysis on the effect of rail fastening parameters on the vibration response of track-bridge system / L. Kun, X. Lei, Sh. Zeng // *Advances in Mechanical Engineering*. — 2017. —

Vol. 9(8). — Pp. 1–8. — DOI: 10.1177/1687814017702839. — URL: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1687814017702839>.

2. Ma D. Failure analysis of fatigue damage for fastening clips in the ballastless track of high-speed railway considering random track irregularities / D. Ma, J. Shi, Z. Yan, L. Sun // *Engineering Failure Analysis*. — January 2022. — Vol. 131. — DOI: 10.1016/j.engfailanal.2021.105897.

3. Ali S. A. Railway noise levels, annoyance and countermeasures in Assiut, Egypt / S. A. Ali // *Applied Acoustics*. — January 2005. — Vol. 66. — Iss. 1. — Pp. 105–113. — DOI: 10.1016/j.apacoust.2004.06.005.

4. Kerr A. D. Analysis and tests of boned insulated rail joints subjected to vertical wheel loads / A. D. Kerr, J. E. Cox // *International Journal of Mechanical Sciences*. — October 1999. — Vol. 41. — Iss. 10. — Pp. 1253–1272. — DOI: 10.1016/S0020-7403(98)00042-3.

5. Kaewunruen S. Field trials for dynamic characteristics of railway track and its components using impact excitation technique / S. Kaewunruen, A. M. Remennikov // *NDT & E International*. — October 2007. — Vol. 40(7). — Pp. 510–519. DOI: 10.1016/j.ndteint.2007.03.004.

6. Li Z. An investigation into the causes of squats — Correlation analysis and numerical modeling / Z. Li, Zh. Xin, C. Esveld, R. Dollevoet et al. // *Wear*. — 30 October 2008. — Vol. 265. — Iss. 9–10. — Pp. 1349–1355. — DOI: 10.1016/j.wear.2008.02.037.

7. Mandal N. K. Sub-modelling for the ratchetting failure of insulated rail joints / N. K. Mandal, M. Dhanasekar // *International Journal of Mechanical Sciences*. — October 2013. — Vol. 75. — Pp. 110–122. — DOI: 10.1016/j.ijmecsci.2013.06.003.

8. Pomboa J. Influence of track conditions and wheel wear state on the loads imposed on the infrastructure by railway vehicles / J. Pomboa, J. Ambrósio, M. Pereira, R. Verardi et al. // *Computers & Structures*. — November 2011. — Vol. 89. — Iss. 21–22. — Pp. 1882–1894. — DOI: 10.1016/j.compstruc.2011.05.009.

9. Varandas J. N. Dynamic behaviour of railway tracks on transitions zones / J. N. Varandas, P. Hölscher, M. A. G. Silva // *Computers & Structures*. — July 2011. — Vol. 89. — Iss. 13–14. — Pp. 1468–1479. — DOI: 10.1016/j.compstruc.2011.02.013.

10. Luoa Y. Numerical investigation of nonlinear properties of a rubber absorber in rail fastening systems / Y. Luoa, Y. Liu, H. P. Yin // *International Journal of Mechanical Sciences*. — April 2013. — Vol. 69. — Pp. 107–113. — DOI: 10.1016/j.ijmecsci.2013.01.034.

11. Klaus H. An extended linear model for the prediction of short pitch corrugation / H. Klaus, K. Klaus // *Wear*. — January 1996. — Vol. 191. — Iss. 1–2. — Pp. 161–169. — DOI: 10.1016/0043-1648(95)06747-7.

12. Ilias H. The influence of railpad stiffness on wheelset/track interaction and corrugation growth / H. Ilias // *Journal of Sound and Vibration*. — 11 November 1999. — Vol. 227. — Iss. 5. — Pp. 935–948. — DOI: 10.1006/jsvi.1999.2059.

13. Nielsen J. C. O. Numerical prediction of rail roughness growth on tangent railway tracks / J. C. O. Nielsen // *Journal of Sound and Vibration*. — 23 October 2003. — Vol. 267. — Iss. 3. — Pp. 537–548. — DOI: 10.1016/S0022-460X(03)00713-2.

14. Gry L. Dynamic modelling of railway track based on wave propagation / L. Gry // *Journal of Sound and Vibration*. — 22 August 1996. — Vol. 195. — Iss. 3. — Pp. 477–505. — DOI: 10.1006/jsvi.1996.0438.
15. Mandal N. K. On the low cycle fatigue failure of insulated rail joints (IRJs) / N. K. Mandal // *Engineering Failure Analysis*. — May 2014. — Vol. 40. — Pp. 58–74. — DOI: 10.1016/j.engfailanal.2014.02.006.
16. Benson D. J. A single surface contact algorithm for the post-buckling analysis of shell structures / D. J. Benson, J. O. Hallquist // *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. — January 1990. — Vol. 78. — Iss. 2. — Pp. 141–163. DOI: 10.1016/0045-7825(90)90098-7.
17. Thompson D. J. Developments of the indirect method for measuring the high frequency dynamic stiffness of resilient elements / D. J. Thompson, W. J. van Vliet, J. W. Verheij // *Journal of Sound and Vibration*. — 28 May 1998. — Vol. 213. — Iss. 1. — Pp. 169–188. DOI: 10.1006/jsvi.1998.1492.
18. Hong X. Fatigue damage analysis and life prediction of e-clip in railway fasteners based on ABAQUS and FE-SAFE / X. Hong, G. Xiao, W. Haoyu, L. Xing et al. // *Advances in Mechanical Engineering*. — 2018. — Vol. 10(3). — Pp. 1–12. — DOI: 10.1177/1687814018767249.
19. Deshimaru T. Permissible lateral force and fatigue life for rail fastening system / T. Deshimaru, S. Tamagawa, H. Kataoka // *Quarterly Report of RTRI*. — 2017. — Vol. 58. — Pp. 236–241. — URL: [https://www.researchgate.net/publication/319324842\\_Permissible\\_Lateral\\_Force\\_and\\_Fatigue\\_Life\\_for\\_Rail\\_Fastening\\_System](https://www.researchgate.net/publication/319324842_Permissible_Lateral_Force_and_Fatigue_Life_for_Rail_Fastening_System).
20. Liu Y. The Effect of Material Static Mechanical Properties on the Fatigue Crack Initiation Life of Rail Fastening Clips / Y. Liu, Q. Li, X. Jiang, H. Liu et al. // *Hindawi Advances in Civil Engineering*. — Vol. 2021. — Article ID 1366007. — 14 p. — DOI: 10.1155/2021/1366007.
21. Савин А. В. Безбалластный путь / А. В. Савин. — М.: РАС, 2017. — 192 с.
22. Савин А. В. Технические требования к элементам верхнего строения пути / А. В. Савин, А. В. Кузнецова, А. В. Петров, С. А. Васильева // *Транспортное строительство: Сборник статей второй всероссийской научно-технической конференции*. — М.: Перо, 2021. — С. 23–32.
23. Savin A. V. The Service Life of Ballastless Track / A. V. Savin // *Procedia Engineering*. — 2017. — Vol. 189. — Pp. 379–385. — DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.060.
24. Савин А. В. Влияние рельсовых креплений на устойчивость бесстыкового пути / А. В. Савин, Е. В. Соломатин // *East European Scientific Journal*. — 2023. — № 12(97). — С. 13–18. — URL: <https://archive.eesa-journal.com/index.php/eesa/issue/view/93/142>.
25. Novorukha V. Studying and improving intermediate rail fastening of rail transport / V. Novorukha // *E3S Web of Conferences 109, 00028 (2019) Essays of Mining Science and Practice 2019*. — DOI: 10.1051/e3sconf/201910900028.
26. Петров А. В. Жесткость рельсовых креплений безбалластной конструкции пути / А. В. Петров, С. В. Михайлов, А. В. Савин // *Путь и путевое хозяйство*. — 2022. — № 1. — С. 8–10.

27. Savin A. Acoustic impact on bridges / A. Savin, V. Ermakov, M. Egorov. — URL: <https://authors.elsevier.com/sd/article/S2352146522003106>.
28. Nikitin D. Analysis of strength characteristics in railroad dowels produced by various manufacturers / D. Nikitin, L. Nikitina, A. Asoyan, A. Marusin // *Architecture and Engineering*. — 2019. — Vol. 4. — Iss. 1. — Pp. 23–31. — DOI: 10.23968/2500-0055-2019-4-1-23-31.
29. Klaus H. An extended linear model for the prediction of short pitch corrugation / H. Klaus, K. Klaus // *Wear*. — January 1996. — Vol. 191. — Iss. 1–2. — Pp. 161–169. — DOI: 10.1016/0043-1648(95)06747-7.
30. Ilias H. The influence of railpad stiffness on wheelset/track interaction and corrugation growth / H. Ilias // *Journal of Sound and Vibration*. — 11 November 1999. — Vol. 227. — Iss. 5. — Pp. 935–948. — DOI: 10.1006/jsvi.1999.2059.

Дата поступления: 23.03.2025

Решение о публикации: 07.04.2025

#### Контактная информация:

СОЛОМАТИН Евгений Викторович — генеральный директор, соискатель; 2604136@mail.ru

## Theoretical and Experimental Studies of Intermediate Rail Fasteners

E. V. Solomatin

ООО “Technologiya 69”, bld. 1, 3, Argunovskaya str., Moscow, 129075, 3, Russian Federation

**For citation:** Solomatin E. V. Theoretical and Experimental Studies of Intermediate Rail Fasteners. *Bulletin of scientific research results*, 2025, iss. 2, Pp. 36–48. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2025-2-36-48

#### Summary

**Purpose:** To analyze international experience in detecting the causes of the intermediate rail fastener failure. Currently, quite a lot of rail fastener designs have been developed for various operating conditions and many computational and laboratory methods for determining their operability have been created. At the same time, the issue of predicting and verifying the service life of the rail fastener and maintaining its vibration resistant properties remains open. **Methods:** Comparative analysis of computational models for determining the stress state of intermediate rail fastener elements; laboratory and field tests in various operating conditions. The results of cyclic fatigue bench tests do not always agree with the results of in-situ tests on a railway line in operation. At the same time, failures of rail fasteners different types occur due to the failure of different elements of the fastener assembly. The article discusses the issues of maintaining the vibration resistant properties of rail fasteners in service, the causes of fastener failure and the issues of service life verification. **Results:** An elastic clip has been identified as the element causing the majority of the entire fastener unit failures. Research papers claiming that the resonance vibration due to rail undulatory wear is the main cause of the elastic clip failure have been considered, as well as those claiming that the clamp failure is due to increased axle loads. **Practical significance:** The foundations have been laid for the development of measures to reduce or prevent the destruction of elastic clips of intermediate rail fasteners in service.

**Keywords:** Rail fastener, elastic clip, damping gasket, dowel, service life, fatigue strength, service life.

## References

1. Kun L., Lei X., Zeng Sh. Influence analysis on the effect of rail fastening parameters on the vibration response of track-bridge system. *Advances in Mechanical Engineering*, 2017, vol. 9(8), Pp. 1–8. DOI: 10.1177/1687814017702839. Available at: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1687814017702839>.
2. Ma D., Shi J., Yan Z., Sun L. Failure analysis of fatigue damage for fastening clips in the ballastless track of high-speed railway considering random track irregularities. *Engineering Failure Analysis*, January 2022, vol. 131. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2021.105897.
3. Ali S. A. Railway noise levels, annoyance and countermeasures in Assiut, Egypt. *Applied Acoustics*, January 2005, vol. 66, Iss. 1, Pp. 105–113. DOI: 10.1016/j.apacoust.2004.06.005.
4. Kerr A. D., Cox J. E. Analysis and tests of boned insulated rail joints subjected to vertical wheel loads. *International Journal of Mechanical Sciences*, October 1999, vol. 41, Iss. 10, Pp. 1253–1272. DOI: 10.1016/S0020-7403(98)00042-3.
5. Kaewunruen S., Remennikov A. M. Field trials for dynamic characteristics of railway track and its components using impact excitation technique. *NDT & E International*, October 2007, vol. 40(7), Pp. 510–519. DOI: 10.1016/j.ndteint.2007.03.004.
6. Li Z., Xin Zh., Esveld C., Dollevoet R. et al. An investigation into the causes of squats — Correlation analysis and numerical modeling. *Wear*, 30 October 2008, vol. 265, Iss. 9–10, Pp. 1349–1355. DOI: 10.1016/j.wear.2008.02.037.
7. Mandal N. K., Dhanasekar M. Sub-modelling for the ratchetting failure of insulated rail joints. *International Journal of Mechanical Sciences*, October 2013, vol. 75, Pp. 110–122. DOI: 10.1016/j.ijmecsci.2013.06.003.
8. Pomboa J., Ambrósio J., Pereira M., Verardi R. et al. Influence of track conditions and wheel wear state on the loads imposed on the infrastructure by railway vehicles. *Computers & Structures*, November 2011, vol. 89, Iss. 21–22, Pp. 1882–1894. DOI: 10.1016/j.compstruc.2011.05.009.
9. Varandas J. N., Hölscher P., Silva M. A. G. Dynamic behaviour of railway tracks on transitions zones. *Computers & Structures*, July 2011, vol. 89, Iss. 13–14, Pp. 1468–1479. DOI: 10.1016/j.compstruc.2011.02.013.
10. Luo Y., Liu Y., Yin H. P. Numerical investigation of nonlinear properties of a rubber absorber in rail fastening systems. *International Journal of Mechanical Sciences*, April 2013, vol. 69, Pp. 107–113. DOI: 10.1016/j.ijmecsci.2013.01.034.
11. Klaus H., Klaus K. An extended linear model for the prediction of short pitch corrugation. *Wear*, January 1996, vol. 191, Iss. 1–2, Pp. 161–169. DOI: 10.1016/0043-1648(95)06747-7.
12. Ilias H. The influence of railpad stiffness on wheelset/track interaction and corrugation growth. *Journal of Sound and Vibration*, 11 November 1999, vol. 227, Iss. 5, Pp. 935–948. DOI: 10.1006/jsvi.1999.2059.
13. Nielsen J. C. O. Numerical prediction of rail roughness growth on tangent railway tracks. *Journal of Sound and Vibration*, 23 October 2003, vol. 267, Iss. 3, Pp. 537–548. DOI: 10.1016/S0022-460X(03)00713-2.
14. Gry L. Dynamic modelling of railway track based on wave propagation. *Journal of Sound and Vibration*, 22 August 1996, vol. 195, Iss. 3, Pp. 477–505. DOI: 10.1006/jsvi.1996.0438.
15. Mandal N. K. On the low cycle fatigue failure of insulated rail joints (IRJs). *Engineering Failure Analysis*, May 2014, vol. 40, Pp. 58–74. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2014.02.006.
16. Benson D. J., Hallquist J. O. A single surface contact algorithm for the post-buckling analysis of shell structures. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, January 1990, vol. 78, Iss. 2, Pp. 141–163. DOI: 10.1016/0045-7825(90)90098-7.

17. Thompson D. J., Vliet van W. J., Verheij J. W. Developments of the indirect method for measuring the high frequency dynamic stiffness of resilient elements. *Journal of Sound and Vibration*, 8 May 1998, vol. 213, Iss. 1, Pp. 169–188. DOI: 10.1006/jsvi.1998.1492.
18. Hong X., Xiao G., Haoyu W., Xing L. et al. Fatigue damage analysis and life prediction of e-clip in railway fasteners based on ABAQUS and FE-SAFE. *Advances in Mechanical Engineering*, 2018, vol. 10(3), Pp. 1–12. DOI: 10.1177/1687814018767249.
19. Deshimaru T., Tamagawa S., Kataoka H. Permissible lateral force and fatigue life for rail fastening system. *Quarterly Report of RTRI*, 2017, vol. 58, Pp. 236–241. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/319324842\\_Permissible\\_Lateral\\_Force\\_and\\_Fatigue\\_Life\\_for\\_Rail\\_Fastening\\_System](https://www.researchgate.net/publication/319324842_Permissible_Lateral_Force_and_Fatigue_Life_for_Rail_Fastening_System).
20. Liu Y., Li Q., Jiang X., Liu H. et al. The Effect of Material Static Mechanical Properties on the Fatigue Crack Initiation Life of Rail Fastening Clips. *Hindawi Advances in Civil Engineering*, Vol. 2021, article ID 1366007, 14 p. DOI: 10.1155/2021/1366007.
21. Savin A. V. *Bezballastnyy put'* [Ballastless track]. Moscow: RAS Publ., 2017, 192 p. (In Russian)
22. Savin A. V., Kuznetsova A. V., Petrov A. V., Vasil'eva S. A. Tekhnicheskie trebovaniya k elementam verkhnego stroeniya puti [Technical requirements for track superstructure elements]. *Transportnoe stroitel'stvo: Sbornik statey vtoroy vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Transport construction: Collection of articles from the second all-Russian scientific and technical conference]. Moscow: Pero Publ., 2021, Pp. 23–32. (In Russian)
23. Savin A. V. The Service Life of Ballastless Track. *Procedia Engineering*, 2017. vol. 189, Pp. 379–385. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.060.
24. Savin A. V., Solomatin E. V. *Vliyanie rel'sovykh skrepleniy na ustoychivost' besstykovogo puti* [East European Scientific Journal]. *East European Scientific Journal*, 2023, Iss. 12(97), Pp. 13–18. Available at: <https://archive.eesa-journal.com/index.php/eesa/issue/view/93/142>. (In Russian)
25. Hovorukha V. Studying and improving intermediate rail fastening of rail. *E3S Web of Conferences* 109, 00028 (2019) *Essays of Mining Science and Practice 2019*. DOI: 10.1051/e3sconf/201910900028.
26. Petrov A. V., Mikhaylov S. V., Savin A. V. Zhestkost' rel'sovykh skrepleniy bezballastnoy konstruktssii puti [Rigidity of rail fastenings of ballastless track structures]. *Put' i putevoe khozyaystvo* [Track and track facilities]. 2022, Iss. 1, Pp. 8–10. (In Russian)
27. Savin A., Ermakov V., Egorov M. Acoustic impact on bridges. Available at: <https://authors.elsevier.com/sd/article/S2352146522003106>.
28. Nikitin D., Nikitina L., Asoyan A., Marusin A. Analysis of strength characteristics in railroad dowels produced by various manufacturers. *Architecture and Engineering*, 2019, vol. 4, Iss. 1, Pp. 23–31. DOI: 10.23968/2500-0055-2019-4-1-23-31.
29. Klaus H., Klaus K. An extended linear model for the prediction of short pitch corrugation. *Wear*, January 1996, vol. 191, Iss. 1–2, Pp. 161–169. DOI: 10.1016/0043-1648(95)06747-7.
30. Ilias H. The influence of railpad stiffness on wheelset/track interaction and corrugation growth. *Journal of Sound and Vibration*, 11 November 1999, vol. 227, Iss. 5, Pp. 935–948. DOI: 10.1006/jsvi.1999.2059.

Received: March 23, 2025

Accepted: April 07, 2025

#### Author's information:

Evgeny V. SOLOMATIN — General Director, Applicant; 2604136@mail.ru