

путь

НАУЧНО-
ПОПУЛЯРНЫЙ,
ПРОИЗВОДСТВЕННО-
ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

И ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

9 · 2022

- НА КОНФЕРЕНЦИИ В НИЖНЕМ НОВГОРОДЕ
- КАК СОКРАТИТЬ КОЛИЧЕСТВО ОГРАНИЧЕНИЙ
- УСТРОЙСТВО КСТП-01 ДЛЯ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ
- ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЛЬСОШЛИФОВАЛЬНЫХ ПОЕЗДОВ
- С ПОМОЩЬЮ ПОДШПАЛЬНЫХ ПРОКЛАДОК
- ДВЕ СИСТЕМЫ ДЕФЕКТОСКОПИИ НА МОБИЛЬНОМ СРЕДСТВЕ



УВЕЛИЧЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ИЗОЛИРУЮЩИХ СТЫКОВ С ПОМОЩЬЮ ПОДШПАЛЬНЫХ ПРОКЛАДОК



СМИРНОВ В.А., руководитель ПКБ компании ООО «Динамические системы», канд. техн. наук, **ГАРАЛЬД ЛОЙ**, Университет Инсбрука (Австрия), начальник научно-исследовательского отдела железнодорожного транспорта, докт. техн. наук, **МАРТИН КВИРЧМАЙР**, Университет Инсбрука (Австрия), технический инженер-разработчик железнодорожного подразделения

Аннотация. В настоящее время для обеспечения работы систем СЦБ и АТДП используют рельсовые цепи в качестве проводников электрического тока. Определение положения поездов на различных участках пути осуществляется за счет изоляции рельсовых плетей в пределах участков. Рельсовые цепи обеспечивают контроль исправного состояния элементов обратной тяговой сети, предназначенной для пропуска обратного тягового тока. Поэтому при анализе отказов технических средств всегда фиксируются отказы рельсовых цепей. Изолирующие стыки рельсов (ИСР) по-прежнему остаются основным способом решения этой задачи, однако их эксплуатация влечет за собой значительные затраты.

В работе рассматривается вопрос применения на участках с ИСР специальных шпал с подшпальными прокладками определенной жесткости, что является перспективным с точки зрения сокращения объемов техобслуживания и увеличения срока службы пути и оборудования, а также снижения числа отказов и эксплуатационных расходов в целом.

Ключевые слова: изолирующие стыки, подшпальные прокладки, полиуретан, упругость, верхнее строение пути.

Стыки железнодорожного пути, нарушая его целостность и равнопрочность, являются источником усиленного динамического воздействия колес подвижного состава, приводят к ухудшению плавности хода и комфорта пассажиров, увеличению основного удельного сопротивления движению, затрат на тягу

*Автоматическая локомотивная сигнализация непрерывного действия.

поездов, ремонт и содержание пути и подвижного состава.

Для безопасного и бесперебойного движения поездов наряду с надежной конструкцией пути необходимо обеспечить четкую работу рельсовых цепей. В последние годы усиленно внедряется более надежная микропроцессорная автоблокировка с токовыми рельсовыми цепями АЛСН*, которые не требуют устройства изолирующих стыков и блок-

P. 199–205. DOI: 10.1080/10238160802399670.

9. Tuchkova N. Prozessanalyse und simulationstechnische Optimierung des aluminothermischen Schweißens von Schienen: Doktorarbeit / Otto-von-Guericke-Universität. Magdeburg, 2011. 114 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.25673/5377>

10. Гудков А.В., Лыков А.М., Карамян К.А. Расчет процесса алуминотермитной сварки рельсов // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2013. № 2. С. 50–54.

11. Королев Р.А. Обоснование технологических параметров и обеспечение их контроля при алумотермитной свар-

ке: дис. канд. техн. наук: 05.03.06 / МГИУ. М., 2006. 201 с.

12. ГОСТ Р 57181–2016. Сварка рельсов термитная. Технологический процесс. Введ. 01.06.2017. Изм. 01.02.2020. М.: Стандартинформ, 2020. 20 с.

13. Residual stresses in thermite welded rails: significance of additional forging / B. Lennart Josefson, R. Bisschop, M. Messaadi, J. Hantusch // Welding in the World. 2020. Vol. 64, N 7. P. 1195–1212. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s40194-020-00912-4>

14. ГОСТ Р 51685–2013. Рельсы железнодорожные. Общие технические условия (с изм. № 1). Введ. 01.07.2014. Изм. 24.02.2016. М.: Стандартинформ, 2016. V. 19 с.

CALCULATED ASSESSMENT OF RESIDUAL STRESSES IN ALUMINOTHERMIC WELDED JOINTS OF RAILS

Kossov Valery — D.Sci., Professor, General Director of JSC «VNIKTI». Kolomna, Russia, info@vnikti.com

Protopopov Andrey — Ph.D., Leading Researcher of Strength Department of JSC «VNIKTI». Kolomna, Russia, protopopov-al@vnikti.com

Volokhov Grigory — D.Sci., Head of Department of Dynamics and Strength of Rolling Stock and Infrastructure of JSC «VNIKTI». Kolomna, Russia, volokhov-gm@vnikti.com

Krasnov Oleg — Ph.D., Head of Department of Track and Special Rolling Stock of JSC «VNIKTI». Kolomna, Russia, krasnov-og@vnikti.com

Oguenko Vasily — Ph.D., Chief Manufacturing Engineer of JSC «VNIKTI». Kolomna, Russia, oguenko-vn@vnikti.com

Abstract. A thermomechanical finite element model of the thermite welding process has been developed. In the welding zone, the operations performed, changes in the temperature regime of the rails and the weld were virtually simulated. The related thermodynamic and structural problems were solved numerically, which made it possible to determine the residual stresses in the zone of influence of the weld. It is established that favorable compressive stresses, reaching 340 and 250 MPa, respectively, occur in the cross section on the surface of the head and in the sole. Large tensile residual stresses appear in the middle central zone of the neck at a distance of about 50 mm from the axis of the weld: longitudinal reach 314 MPa, vertical — 325. They increase the susceptibility of this area to the occurrence and propagation of cracks under the influence of stresses from wheel loads.

Keywords: finite element model, aluminothermic welded joint, heat affected zone, residual stresses.

Citation: Kossov V.S. Calculated assessment of residual stresses in aluminothermic welded joints of rails / V.S. Kossov, A.L. Protopopov, G.M. Volokhov, O.G. Krasnov, V.N. Oguenko // Track and track facilities. 2022. № 9. P. 23–28.

участков. Однако до сих пор на значительной части сети эксплуатируются системы автоблокировки с большим количеством изолирующих стыков, которые являются самыми сложными в конструктивном отношении и слабыми элементами.

Изолирующие стыки рельсов (ИСР) должны обеспечивать постоянную и надежную электрическую изоляцию в годовом и суточном цикле температурных перепадов, поэтому в них в 4,4 раза быстрее расходуется установленный допуск изменения зазора, чем в обычных стыках [1].

Причиной 45 % отказов в рельсовых цепях, или около 20 % всех отказов устройств сигнализации, централизации и блокировки, являются нарушения в работе изолирующих стыков [2]. Электрическое замыкание стыков с композитными накладками происходит вследствие образования между рельсами в стыке шунтирующих мостиков из частиц металла — продуктов износа.

Основными причинами отказов изолирующих стыков с композитными накладками являются снижение жесткости в шесть раз, по сравнению с металлическими накладками, а также повышенная напряженность магнитного поля.

Деформативные характеристики верхнего строения пути (ВСП). В идеальном случае статические и динамические характеристики верхнего строения пути должны быть равномерными по всей его длине. Изменение жесткости подрельсового основания приводит к возникновению дополнительных нестационарных нагрузок в зоне стыка, накапливанию дефектов и, как следствие, к ускорению износа.

В настоящее время широко применяются сборные ИСР с композитными и более надежными металлокомпозитными накладками [1]. Электроизоляция в таких узлах обеспечивается за счет применения непроводящих материалов, например эпоксидной смолы и кевларовой ткани (рис. 1).

Под воздействием динамических нагрузок от колес подвижного состава, составляющих 250—300 кН, возникают значительные прогибы и вертикальные перемещения рельсовых нитей, которые впоследствии продолжают нарастать с увеличением просадок концов рельсов, скорости движения поездов и повышением осевых нагрузок.

Данный процесс является самоподдерживающимся. Механическое воздействие колес приводит к повышенной деформации металла на концевых участках рельсов (которая может приводить к короткому замыканию), износу изолирующей прослойки стыкового элемента и деградации балласта. Более того, повышенный прогиб ИСР в результате неравномерного распределения балласта приводит к увеличению нагрузки на компоненты ИСР [3].

На примере Троицкой дистанции пути Южно-Уральской дирекции инфраструктуры в [4] проведен анализ численности стыковых просадок. Общее количество просадок в 2019 г. составило 323, повторив-

шихся дважды — 58, трижды — 22. Общее количество просадок за 8 мес 2020 г. составило 205, повторившихся дважды — 51, трижды — 11.

На грузовых путях, подверженных высокоинтенсивной нагрузке, ИСР подлежат замене не реже одного раза в 12—18 мес, что значительно [1] ухудшает доступность путей и увеличивает эксплуатационные расходы в целом. Затраты на выправку повторяющихся стыковых просадок можно снизить, повысив уровень текущего содержания стыков [4]. Один из способов сокращения временных и финансовых затрат — разработка специализированных решений, способствующих долгосрочному сохранению высокого качества железнодорожного полотна и увеличению срока службы всех элементов ИСР.

Увеличение долговечности ИСР за счет применения усовершенствованной схемы полотна. Шпалы с подшпальными прокладками (ПШП) позволяют оптимизировать статические и динамические характеристики участков, требующих постоянного внимания, например стрелочных переводов или переходных участков [13].

Подшпальные прокладки выпускаются с разными упругими, пластичными и диссипативными характеристиками, что делает их практичным решением, способствуя меньшему проседанию рельсошпальной решетки и предотвращая неравномерное нагружение и износ балласта. Подшпальные прокладки могут быть интегрированы в тело железобетонных шпал при их производстве, а также наклеены на готовые шпалы.

Использование ПШП позволяет существенно повысить срок службы и увеличить пропущенный тоннаж [5], поэтому возникло предположение, что применение ПШП в зонах изолирующих стыков позволит существенно увеличить их срок службы и снизить интенсивность накопления просадок.

Конечно-элементный расчет. В 2016 г. было принято решение о проведении дополнительных исследований по продлению сроков службы ИСР [6] и запланирована установка двух звеньев на железобетонном основании с ИСР и подшпальными прокладками. Для выбора оптимального типа ПШП,

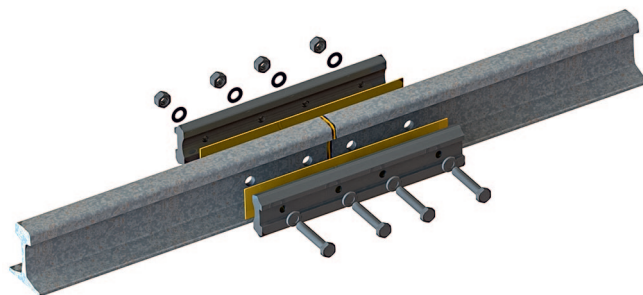


Рис. 1. Изолирующий рельсовый стык с рельсовыми накладками и клеевыми веществами

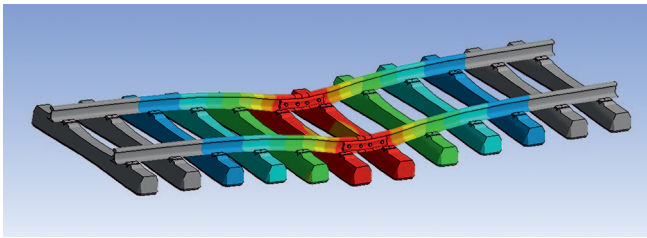


Рис. 2. Схема деформации участка пути с ИСР и ПШП при центральной нагрузке

подходящего для использования в конкретной ситуации, использовали модель на основе специально разработанного метода конечных элементов (МКЭ).

Подходящим способом являются методы численного решения дифференциальных уравнений, а также метод конечных элементов, применяемый при расчете элементов ВСП [7, 8], который предусматривает разбиение модели на конечное число элементов для численного решения соответствующих дифференциальных уравнений.

В итоге достаточно сложные отрезки пути, в том числе с резким изменением жесткости подрельсового основания или с существенными зазорами (как в ИСР), можно анализировать, применяя указанный системный подход для комплексного решения проектных задач.

Принципы применения модернизированных ИСР. Основным требованием, предъявляемым к ИСР, является надежное закрепление рельсовых плетей, в связи с чем должна быть обеспечена необходимая прочность стыковых накладок [1]. Различия в жесткости (в пределах участка с ИСР и вне его) и относительной массе (за счет наличия накладок) со временем приводят к существенному износу всех элементов ВСП.

Поначалу на работу ИСР наибольшее влияние оказывают свойства самого узла соединения (податливость в вертикальном направлении, усилие затяжки болтов накладок), однако со временем на первое место выходят постоянно усугубляющиеся недостатки и отказы, в том числе повисающие в воздухе шпалы и неравномерно распределяющийся балласт. Чтобы этого избежать, надо решить две задачи: во-первых, снизить неоднородность участков,

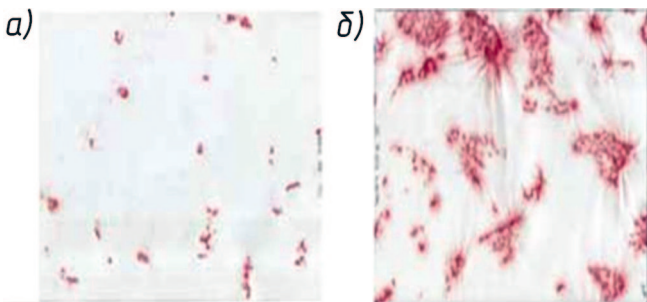


Рис. 3. Пятна контакта шпалы с балластом: а — без ПШП; б — с мягкой ПШП

уменьшив контактное давление на балласт и сократив динамические нагрузки в целях ограничения износа всех участков пути; во-вторых, стабилизировать балласт для ограничения его перемещения и улучшения работы.

Применение шпал с ПШП на основе эластомеров способно решить обе задачи. Для этого в программном комплексе Ansys проведено конечно-элементное моделирование участка пути с ИСР при действии осевой нагрузки 245 кН. Выполнено сравнительное моделирование двух участков пути при применении ИСР с ПШП и без них.

Результаты статического расчета представлены на рис. 2.

Расчет на основе конечно-элементного анализа подтверждает возможность снижения статической нагрузки на только что установленные ИСР с ПШП и прилегающие к ним участки не менее чем на 25 %. При этом основное преимущество достигается в месте контакта балласта с основанием шпалы: шпалы без ПШП взаимодействуют с балластом всего на 3–5 % площади поверхности, однако это значение в зависимости от применяемой модели ПШП может быть увеличено до 35 % и более [9].

На рис. 3 изображены пятна контакта балласта со шпалой с применением ПШП и без нее [10].

Расчет на основе МКЭ, проведенный с учетом разнообразных характеристик новых узлов ИСР и ПШП, подтверждает, что контактное давление на балласт может быть снижено на 70–90 %. Более того, за счет более сильного сцепления балласта с ПШП происходит стабилизация верхнего слоя балласта, что позволяет исключить его смещение в шпальных ящиках в районе стыка.

Полевые испытания. Для подтверждения выдвинутого предположения и испытания ИСР с ПШП в реальных условиях были проведены полевые испытания в Северной Америке на участке с обращением поездов с осевой нагрузкой 33 тс и скоростью движения около 100 км/ч. Оценка эффективности их применения ИСР с ПШП производилась после года эксплуатации.

В качестве контрольного выбран типовой ИСР, не оснащенный подрельсовой прокладкой. На контрольном отрезке пути обращались поезда с анало-

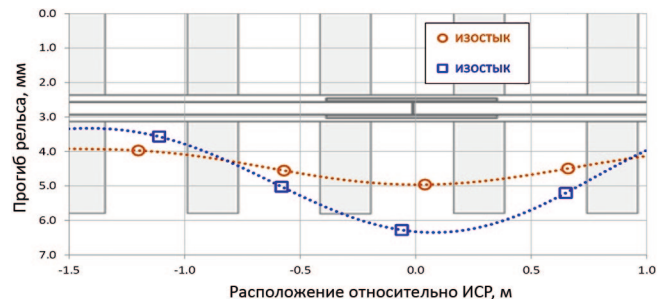


Рис. 4. Результаты испытаний — кривые прогибов рельса на участке с ИСР с ПШП (оранжевая кривая) и без (синяя кривая)

гичной осевой нагрузкой, скоростью и частотой движения. Фиксировался прогиб рельса в нескольких точках — в четырех шпальных ящиках с центром на ИСР.

Данные о прогибе рельсов в ходе эксплуатации поездов являются основным критерием оценки работы ИСР. На основе полученной информации можно скорректировать применяемую модель для проведения дальнейших расчетов и улучшения качества принятого решения.

Оценка результатов испытаний. Для оценки использовались данные по локомотивам со схожими осевыми нагрузками. Прогиб рельса оценивали в четырех разных точках вблизи ИСР. В непосредственной близости от ИСР с упругими прокладками характерен более равномерный прогиб рельса, чем для ИСР без них, что гарантирует более продолжительный срок службы узла [11].

Для получения статистически значимых результатов по каждому из датчиков использовали среднее значение максимальных прогибов по первым трем осям каждого поезда. Как показывают результаты испытаний (рис. 4), прогибы рельса в месте установки ИСР с ПШП составляют не более 5 мм, а без ПШП — не более 6,3 мм.

Изолирующие стыки рельсов работают иначе, чем смежные участки пути, однако в случае с ИСР, оснащенных ПШП, прогиб оказался меньше, чем на контрольном участке. Чтобы объяснить этот феномен, пришлось обратиться к данным о рихтовке и подъеме пути в долгосрочной перспективе. Подшпальные прокладки уменьшают перераспределение балласта, тем самым положительно влияя на стабилизацию полотна, а также помогают бороться с развитием его дефектов. В итоге прогиб рельсов в месте размещения ИСР с течением времени не меняется.

Заключение. Звенья, в которых ИСР были оснащены подшпальными прокладками на основе полиуретановых эластомеров, продемонстрировали более равномерный прогиб рельсов (разница в прогибе головки рельса в месте стыка не более 1 мм), чем типовая рельсошпальная решетка с ИСР (разница в прогибе головки рельса в месте стыка не более 3 мм). Кроме того, подтверждено уменьшение нагрузки на ИСР и балласт (не менее чем на 35 % за счет большей площади пятна контакта подошвы шпалы и балласта), приводящее, в свою очередь, к сокращению объемов и затрат на обслуживание.

Список источников

1. Матвеев В.И. Анализ зазоров сборных изолирующих стыков // Наука и образование транспорта. 2017. № 2. С. 107—112.
2. Нагайцева Е.В., Фазилова З.Т. Мероприятия по снижению намагниченности изолирующих стыков и безотказной работы рельсовых цепей // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. 2015. Т. 8, № 8(8). С. 101—106.
3. Akhtar M., Davis D., O'Connor T. Revenue service evaluation of advanced design insulated joints; AREMA 2008 Annual Conference, Salt Lake City, Utah, USA, 2008.
4. Макаров С.В. Ликвидация повторных просадок в изолирующих стыках // Путь и путевое хозяйство. 2021. № 4. С. 15—16.
5. Static and dynamic parameters of railway tracks retrofitted with under sleeper pads / C. Krakiewicz, A. Zbiciak, W. Oleksiewicz, W. Karwowski / Archives of Civil Engineering. 2018 Vol. 64, Iss. 4. P. 187—201. DOI: 10.2478/ace-2018-0070.
6. Kaewunruen S., Aikawa A., Remennikov A.V. Vibration attenuation at rail joints through under sleeper pads // Procedia Engineering. 2017. Vol. 189. P. 193—198. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.031
7. Esveld C. Modern railway track. Duisburg: MRT-Productions, 1989. 446 p.
8. Smirnov V.A. Numerical analysis of long-haul structure laying on nonlinear foundation subjected to moving load // IOP Conference Series: Material Science and Engineering. 2018. Vol. 456. № 012061. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/456/1/012061/pdf>.
9. Loy H., Augustin A. Pushing the limits of ballasted HN railway track by means of high-strength USPs made of specially developed PUR; Rail Engineering International, 2015.
10. Measuring the area and number of ballast particle contacts at sleeper-ballast and ballast-subgrade interfaces / T. Abadi, L. Le Pen, A. Zervos, W. Powrie // The International Journal of Railway Technology. 2015. Vol. 4. Iss. 2. P. 45—72. DOI: 10.4203/ijrt.4.2.3.
11. Froberg E., Loy H., Quirchmair M. Insulated rail joints: improving performance at high maintenance track sections // Global Railway Review. 2019. Iss. 1.
12. Расчетно-экспериментальная оценка влияния использования подшпальных прокладок на показатели динамического воздействия подвижного состава на путь в стыковой зоне / В.Н. Каплин, М.Н. Мысливец, Е.А. Сидорова, Е.А. Полунина // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2019. Т. 78. № 4. С. 241—248. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-4-241-248>.
13. Шемер Н. Оптимизация подшпальных прокладок для стрелочного перевода балластного пути // РСП Эксперт. 2019. № 6—7. С. 39. URL: <http://www.rails.ru/ZHurnal-RSP-Ekspert>.

EXTENDING THE LIFE OF RAILWAY INSULATING JOINTS WITH UNDERSLEEPER PADS

Smirnov Vladimir — Ph.D., Head of the Design Bureau of LLC «Dynamic Systems». smirnov.vladimir@dsystems.ru
Harald Loy — D.Sci., University of Innsbruck (Austria), Head of the Research Department of Railway Transport. harald.loy@uibk.ac.at
Martin Quirchmair — University of Innsbruck (Austria), Technical engineer-developer of the railway division. martin.quirchmair@getzner.com

Abstract. At present, to ensure the operation of signaling and other railway control systems, track circuits are used as conductors of electric current. Determining the position of trains on different sections of the track is carried out by isolating the rail lashes within the sections. Rail circuits provide control of the good condition of the elements of the reverse traction network, designed to pass the reverse traction current. Therefore, when analyzing failures of technical means, failures of track circuits are always recorded. Insulating rail joints (hereinafter referred to as IJR) are still the main way to solve this problem, but their operation is often associated with significant costs.

The paper considers the issue of using special sleepers with sleeper pads of a certain rigidity in sections with ISR, which is promising in terms of reducing the amount of maintenance and increasing the service life of the track and equipment, as well as reducing the number of failures and operating costs in general.

Keywords: insulating joints, undersleeper pads, polyurethane, elasticity, superstructure.