

УДК: 656.004.89; 656.052//625.173.1

# Повышение эксплуатационной надежности железнодорожного пути

## Improving the operational reliability of the railway track

**Коваленко Н. И.**, д.т.н., профессор, Российский университет транспорта,  
E-mail: kni50@mail.ru, Москва, Россия

**Kovalenko N.I.**, Doc.ofSci.(Tech), Professor, Russian University of Transport,  
E-mail: kni50@mail.ru, Moscow, Russia

### Аннотация



Важнейшей задачей повышения эксплуатационной надежности железнодорожного пути является достижение равномерности в эксплуатации его элементов. В настоящее время, для устранения неисправностей пути в виде локальных просадок, перекосов, других отклонений в профиле пути, широкое распространение получил способ применения регулировочных прокладок (карточек) на локальных участках. Исследованиями установлено, что следствием уменьшения подрельсовой опорной площадки при использовании регулировочных прокладок (карточек) является уменьшение модуля упругости подрельсового основания на 7-15% и увеличение на 8 – 18% усталостных процессов деградации рельсовой стали. Это необходимо учитывать с точки зрения равномерности путевых элементов для повышения эксплуатационной надежности пути.

**Ключевые слова:** транспорт, планово-предупредительная выправка пути, регулировочные прокладки (карточки), особо грузонапряженные участки, равномерность элементов пути.

### Abstract

The most important task of increasing the operational reliability of the railway track is to achieve uniform service life in the operation of its elements. Currently, to eliminate track faults in the form of local subsidence, distortions, and other deviations in the track profile, the method of using shims (cards) in local areas has become widespread. Research has established that the consequence of reducing the under-rail support area when using shims (cards) is a decrease in the elastic modulus of the under-rail base by 7-15% and an increase in fatigue degradation processes of rail steel by 8-18%. This must be taken into account from the point of view of the uniform resource life of track elements to increase the operational reliability of the track.

**Keywords:** transport, planned and preventive track alignment, shims (cards), especially heavy load areas, uniform resource life of track elements.

## Введение

При текущем содержании пути, в первую очередь, на участках высокой грузонапряженности в настоящее время применяются регулировочные прокладки (карточки) для устранения неисправностей в виде локальных просадок, перекосов, других отклонений положения рельсовых нитей железнодорожного пути в профиле, которые оцениваются путеизмерительными средствами как неисправности второй степени [1–3].

В практике текущего содержания данный способ получил широкое распространение, в том числе на участках бесстыкового пути. Его эффективность вызвана сравнительно невысокой трудоёмкостью выполнения работ с применением регулировочных прокладок (карточек) на локальных участках, а также сравнительно коротким промежутком времени необходимого для выполнения этих работ [4–6]. Данный способ получил широкое распространение, в практике ОАО «РЖД» в связи с внедрением участкового метода текущего содержания, который потребовал изменения технологий выполнения работ.

Применение такого способа устранения неисправностей имело значительное сокращение трудозатрат при выполнении данных работ при высоких показателях качества текущего состояния рельсовой колеи по оценке её состояния путеизмерительными средствами, например, путеизмерительными вагонами и ручными приборами. Практика такого способа устранения неисправностей применялась в 70–80 г.г. прошлого столетия, например, на одной из дистанций пути Куйбышевской железной дороги (например, ПЧ-12) в виде частной инициативы дорожно-го матера по текущему содержанию пути. Однако более глубоким и всесторонним анализом состояния всех элементов пути на этом же участке данной дистанции, было установлено, что, например, состояние рельсов по дефектности за этот же промежуток времени существенно отличалось в худшую сторону, по сравнению с аналогичными участками, имеющими, прочие практически, одинаковые характеристики, как перевозочного процесса, так и географических параметров. Как результат, для звеньев пути на деревянных шпалах, который эксплуатировался в тот период времени, такой способ устранения неисправностей был подвержен критике, признан не эффективным и запрещенным к применению.

Соответствующего научно технического подтверждения и обоснования влияния изменения конструкции элементов подрельсового основания и последствий длительного применения регулировочных прокладок (карточек) с целью массового использования данного способа производства работ не было выполнено [7, 8].

Авторы данный способ работ рассматривают в качестве одной из причин ухудшения состояния путевого хозяйства, сложившегося в настоящее время на сети железных дорог Российской Федерации [9–11]. Ухудшение состояния, в частности, отмечается в телеграмме ОАО «РЖД» от 13.09.2021 г., в которой указывается на – «Увеличение количества сходов подвижного состава на сети ОАО «РЖД» по причинам наличия дефектных и остродефектных рельсов и их последующего разрушения, наличия дефектных изолирующих стыков с наклад-

ками АпАТЭК, а также сварных стыков, выполненных алюминотермитным способом».

В данной телеграмме отмечается, что – «Обстановка с изломами рельсов в путевом хозяйстве инфраструктурного комплекса сложилась крайне неудовлетворительная. Например, по состоянию на 13.09.2021 г. на сети железных дорог было допущено 70 случаев изломов, за аналогичный период прошлого года – 42, из них 28 изломов алюминотермитных сварных стыков (2020 г. – 8). Кроме того, с начала текущего года по сети допущено 5 случаев схода подвижного состава по причине разрушения рельсов в зоне изолирующих стыков с накладками АпАТЭК».

В данной телеграмме указывается, что – «Несмотря на принимаемые меры по стабилизации ситуации, отдельными Дирекциями инфраструктуры (ДИ) должных выводов не сделано, мер по снижению изломов рельсов не принято, работа по устранению нарушений не проводится».

## Материалы и методы

В качестве примера оценки текущего состояния путевого хозяйства рассмотрим историю и последствия аварии в виде схода поезда, произошедшего 16 марта 2021 г. на перегоне Южно-Уральской железной дороги – филиала ОАО «РЖД». На наш взгляд, данный инцидент следует отнести к материалам по неудовлетворительному состоянию рельсов, изолирующих стыков, в том числе, АпАТЭК и путевого хозяйства инфраструктурного комплекса в целом.

Характеристика рассматриваемого участка пути. Класс линии – 2, класс пути – 3, специализация – О (особогрузонапряженная), путь уложен при модернизации линии в 2013 году. Пропущенный тоннаж по рассматриваемому пути на момент произошедшего схода составил 766,0 млн. т брутто. Грузонапряженность линии 96,524 млн. ткм брутто/км в год.

Характеристика рельса, разрушившегося в результате схода поезда: тип рельса Р65, завод – изготовитель АО «ЕВРАЗ ЗСМК», дата проката рельса – январь 2013 г. (на шейке рельса указано К12013), категория рельса – ДТ350, износ головки рельса: вертикальный – 2,5 мм, боковой по рабочей грани – 14 мм.

## Информация по оценке состояния участка пути накануне произошедшего схода

На данном участке с 2017 года не был выполнен средний ремонт пути, который должен быть запланированным в соответствии с пунктами 5 и 6 (п/п 6.7) «Правил назначения ремонтов пути» [12], а также пунктом 12 Приложения №1 в ПТЭ [13].

На примыкающих концах рельса, на котором смонтирован изолирующий стык, была нарушена эпюра >>>

шпал (в сторону её увеличения), которая предусматривается в соответствии с п. 3.11.10 и п. 3.11.11 Инструкции [14]. Предстыковая шпала с отдающего конца рельса имела раскол.

При зимнем комиссионном осмотре на данном участке 06 января 2021 г., примерно за два месяца до схода, выявлены замечания в виде угла в плане 36 мм на длине 24 м и свехнормативного зазора 26 мм в изолирующем стыке по левой рельсовой нити (на которой в дальнейшем произошел сход подвижного состава). Согласно акту комиссии ОАО «РЖД» эти неисправности были устранены.

При рабочем проходе диагностического комплекса ЭРА на данном участке (километре) 08 февраля 2021 г., примерно за месяц до схода, были обнаружены неисправности в виде бокового износа рабочей грани рельса от 16,6 мм до 19,5 мм, что соответствует оценке «неудовлетворительно».

По отчетным документам на этом же участке пути 22 февраля 2021 г., затем 07 марта 2021 г. производились работы по замене упругой прокладки на промежуточных скреплениях ЖБР-65 ПШМ, которые эксплуатировались на этом участке пути. Далее, 10 марта 2021 г. на данном участке пути выполнялись работы по регулировке ширины колеи.

В материалах расследования, а также в отчетах по текущему содержанию участка пути, где произошел сход, например, в ПУ-74 [15], отсутствуют материалы, в которых было бы указано выполнение работ по осмотру данного участка пути и изолирующего стыка.

## Результаты

Для изучения возможных причин схода подвижного состава, произошедшего 16 марта 2021 г. на перегоне Южно-Уральской железной дороги – филиала ОАО «РЖД», было выполнено моделирование и произведены расчеты [16–19], которыми было установлено, что **при неразрушенной шпале** максимальный изгибающий момент действует в сечении по оси принимающей шпалы. На верхней поверхности (под головкой рельса) будет растянутая зона, на нижней опорной поверхности (над подошвой рельса) – сжатая зона (на схеме указана в виде знаков «минус»). В сечении зазора стыка изгибающий момент и напряжения имеют минимальные значения.

Расчетами установлено, что коэффициент запаса прочности по напряжениям в наиболее нагруженном сечении рельса по оси принимающей шпалы составил: при слабом подрельсовом основании 1,3, при жестком – 1,7.

Выполненное аналогичное моделирование и произведенные расчеты при эксплуатации пути с разрушенной шпалой под принимающим концом рельса максимальный изгибающий момент действует в сечении по оси принимающей шпалы.

При разрушенной шпале под принимающим рельсом на верхней поверхности (под головкой рельса) будет растянутая зона, на нижней опорной поверхности (под подошвой отдающего конца рельса) – сжатая зона.

- в случае разрушения принимающей шпалы, коэффициент запаса прочности по напряжениям в наиболее нагруженном сечении рельса по оси отдающей шпалы составил 0,82 как при слабом, так и при жестком подрельсовом основании (принимающая шпала отсутствует);
- на разработанной модели при разрушении принимающей шпалы (или ее отсутствии) надрыв сечения рельса прогнозируется в ослабленном сечении, расположенном на расстоянии, порядка, 48 мм от оси шпалы.

## Обсуждение результатов

Для установления возможной причины схода подвижного состава, произошедшего 16 марта 2021 г., были проведены исследования и выполнены расчеты, приведенные на схемах нагружения и эпюрах изгибающих моментов в рельсах и накладках, рисунков 1 и 2. Значения модулей упругости подрельсового основания принимаются равными: 23 МПа при слабом или мягком основании (при разрушенной шпале) и 121 МПа при жестком основании (при не разрушенной шпале). Установлено, что для достижения предельных напряжений в поперечных сечениях рельсов от воздействия вертикальных сил давления колес, необходимо приложить силу 86,4 тс от одного колеса или 172,8 тс от колесной пары при слабом основании, при жестком основании – 129,0 тс от одного колеса или 258 тс от колесной пары при неразрушенных шпалах и не изломавшихся рельсах. Вертикальные прогибы головки рельса по оси стыка составят в случае подрельсового основания с жесткостью 23 МПа – 36 мм, при жесткости основания 121 МПа – 24 мм.

При расчетной динамической нагрузке от колеса при осевой нагрузке 25 тс (от колеса – 12,5 тс) с учетом ударного взаимодействия составит 20,1 тс (расчетная схема 1). Соотношение фактически действующих сил и сил, приводящих к излому рельсов, составит:  $86,4/20,1=4,3$  раза при слабом и  $129,0/20,1=6,4$  раза при жестком основании.

Таким образом, для излома поперечного сечения рельса от воздействия вертикальных сил от колес на рельсы при неразрушенных шпалах и не изломавшихся рельсах необходимо приложить силы в 4,3 и 6,4 раза превышающие реализующиеся воздействия при осевых нагрузках 25 тс при слабом и жестком основании соответственно.

Результатами исследований и выполненных расчетов установлено, что наиболее вероятной причиной схода вагонов, произошедших 16 марта 2021 г. на Южно-Уральской железной дороге – филиале ОАО «РЖД» является излом рельса в районе первого отверстия под перемычку диаметром 22 мм, вызванного усталостными процессами деградации рельсовой стали (пропущенный тоннаж более 766 млн. т брутто при нормативной величине 700 млн. т брутто в согласно ранее приведенных ПТЭ и «Правил назначения ремонтов» в условиях интенсивной эксплуатации пути (при грузо-напряженности линии более 96 млн. ткм брутто >>>

на км в год). А также не выполнении работ по замене упругой прокладки на скреплении ЖБР-65 ПШМ и не выполнении регулировки ширины колеи и недостаточной эффективности выполнения мероприятий по текущему содержанию данного участка пути и изолирующего стыка. В частности, при текущем содержании данного участка пути применялись регулировочные прокладки (карточки) для устранения неисправностей в виде локальных просядков и перекосов.

На стадии предварительных исследований, проведенного анализа, произведенных расчетов было установлено, что использование регулировочных прокладок (карточек) при локальном устранении неисправностей в виде локальных просядков, перекосов, других отклонений положения рельсовых нитей железнодорожного пути в профиле, следует учитывать последствия такого процесса в виде изменения, как геометрических характеристик такой конструкции, так и характеристик динамического взаимодействия. В частности, геометрические размеры (длина и ширина) регулировочных прокладок (карточек) на 10–20 % меньше опорных размеров подрельсовых элементов промежуточных скреплений или подрельсовых опор (шпал, брусьев, плит и других конструкций). Следствием уменьшения опорной площади является уменьшение модуля упругости подрельсового основания на 7–15 % и увеличение усталостных процессов деградации рельсовой стали. На предварительной стадии это увеличение может составлять 8–18 %.

С целью определения необходимых параметров регулировочных прокладок (карточек), их размеров, количества применения на единице длины участка пути и других характеристик необходимо уточнить изменения модуля упругости подрельсового основания, а также модуля упругости рельсов при использовании регулировочных прокладок (карточек). Кроме этого, следует уточнить технологические параметры их применения, такие как продолжительность эксплуатации пути на регулировочных прокладках (карточках), порядок их укладки и замены и другие характеристики регулировочных прокладок (карточек).

Стратегической задачей эффективной эксплуатации пути является достижение равноресурсности при эксплуатации его элементов за счет продления (увеличения) жизненного цикла элементов конструкции пути путем оптимизации ремонтной схемы и снижения затрат на ремонты, в том числе, снижения затрат на текущее содержание, что позволит в целом уменьшить затраты на материалы и снизить трудозатраты [10, 20].

Условием эффективной организации ремонтов пути и его текущего содержания является минимизация суммарных затрат, связанных с выполнением путевых ремонтных работ и задержек поездов, с учетом количества и продолжительностью требуемых «окон» (закрытия перегона). При выполнении расчетов учитываются только переменные факторы, зависящие от организации и технологии выполнения работ.

## Выводы

Изменение нормативных параметров в конструкции пути и его элементах, а также изменение технологии производства работ, приводит к накоплению в пути различных неисправностей, в особенности для условий интенсивной эксплуатации пути (при грузонапряженности линии 100 млн. ткм брутто/км в год и более) в виде, например, просядков, перекосов, углов в плане, угона рельсов и других неисправностей.

Выполненным моделированием и произведенными расчетами установлено, что коэффициент запаса прочности по напряжениям в наиболее нагруженном сечении рельса составил 1,7 при жестком (стабилизированном) подрельсовом основании, при слабом (мягком, сразу после ремонта) подрельсовом основании его величина составила 1,3. В случае разрушения принимающей шпалы или её отсутствия, коэффициент запаса прочности по напряжениям в наиболее нагруженном сечении составил 0,82 как при слабом, так и при жестком подрельсовом основании.

На стадии предварительных исследований установлено, что использование регулировочных прокладок (карточек) при локальном устранении неисправностей в виде локальных просядков, перекосов, других отклонений положения рельсовых нитей железнодорожного пути в профиле, следует учитывать последствия такого процесса в виде изменения как геометрических характеристик такой конструкции, так и характеристик динамического взаимодействия.

На предварительной стадии установлено, что следствием уменьшения подрельсовой опорной площадки при использовании регулировочных прокладок (карточек) является уменьшение модуля упругости подрельсового основания на 7–15 % и увеличение на 8–18 % усталостных процессов деградации рельсовой стали. Это необходимо учитывать с точки зрения равноресурсности путевых элементов для повышения эксплуатационной надежности пути. ■

## Список литературы

1. Гринь Е.Н., Коваленко Н.И. Факторный анализ оценки состояния пути // Путь и путевое хозяйство. 2013. № 1. С. 22-23.
2. Kovalenko Nikolay, Volkov Boris, Kovalenko Aleksandr, Kovalenko Nina (2020). Budgeting Direct Costs of Track Complex of JSC "Russian Railways" in the Light of Modern Classification of Railway Lines. / In: Popovic Z., Manakov A., Breskich V. (eds) VIII International Scientific Siberian Transport Forum. TransSiberia 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1115. Springer Cham 05 January 2020, pp 177-183.
3. Методика классификации железнодорожных линий ОАО «РЖД», утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 04 марта 2015 г. № 551р.
4. Kovalenko Nikolay, Ponomarev Valentin, Kovalenko Nina, Fomina Nadegda, Kovalenko Aleksandr (2020). Assessment of the Mitigation of Consequences Resulting from Incidents at the Railway. / In: Popovic Z., Manakov A., Breskich V. (eds) VIII International Scientific Siberian Transport Forum. TransSiberia 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1115. Springer, Cham 05 January 2020, pp 184-194.
5. Kovalenko Nikolai, Grin Elena, Kovalenko Nina (2020) The determination of the repairs of railway track considering the reliability and risk level, E3S Web of Conferences, Vol. 157 06031 (2020). doi.org/10.1051/e3sconf/202015706031 Springer, 20 March 2020, pp 92-99.
6. Гапеенко Ю.В. Стабилизация пути после глубокой очистки балласта // Путь и путевое хозяйство. 1997. № 10. — С. 13–16.
7. Путевые машины для выправки железнодорожного пути, уплотнения и стабилизации балластного слоя. Технологические системы. Учебное пособие для вузов ж.д. транспорта / Атаманюк А.В., Бредюк В.Б., Бугаенко В.М. и др.; под ред. Поповича М.В., Бугаенко В.М. - М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. — 285 с.
8. Величко Д.В. Толстикова Н.А. Анализ загрязненности щебеночного балласта // Известия Транссиба / Омский государственный университет путей сообщения. — Омск. — 2016. — № 3 (27). — С. 110 – 117.
9. Путевые машины. Учебник для вузов ж.д. транспорта / С.А.Соломонов, М.В.Попович, В.М.Бугаенко и др.; под ред. С.А.Соломонова. — М.: Желдориздат, 2000. — 756 с.
10. Постановление Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008г. № 1734-р «Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года» (в ред. распоряжения Правительства РФ от 11.06.2014 № 1032-р).
11. Tsvetkov V.Ya. Conceptual Model of the Innovative Projects Efficiency Estimation // European Journal of Economic Studies, 2012, Vol. (1), №1. — pp. 45-50.
12. «Правила назначения ремонтов железнодорожного пути», утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 17.12.2021г. введенные в действие 29.04.2022г. (далее «Правила назначения ремонтов»).
13. «Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, утверждены Министерством транспорта Российской Федерации от 21 декабря 2010г. № 286 с изменениями в соответствии с Приказом Минтранса РФ от 09.02.2018г. № 54».
14. «Инструкция по текущему содержанию пути, утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 14 ноября 2016г. № 2288р».
15. «Журнал учета работ по текущему содержанию и оценке состояния пути и путевых устройств, утвержден распоряжением ОАО «РЖД» от 02 мая 2012 г. № 857р (далее ПУ-74) /электронный ресурс sdorzd/uchetnaya...pu-74-eto...sdo-rjd.html/».
16. Ицкович, Г.М. Руководство к решению задач по сопротивлению материалов: учебное пособие для втузов / Г.М. Ицкович, А.С. Минин, А.И. Винокуров; Под общ. ред. Л.С. Минина. — М.: Высшая школа, 2001. — 592 с.
17. Перельмутер, А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. Издание четвертое, переработанное и дополненное Издательство СКАД СОФТ Издательство Ассоциации строительных вузов Издательство ДМК Пресс Москва 2011. — 736 с.
18. Александров, А.В. Сопротивление материалов: Учеб. для вузов / А.В.Александров, В.Д.Потапов, Б.П.Державин; Под ред. А.В. Александрова. — 3-е изд. Испр. — М.: Высш. шк., 2003. — 560 с.
19. Горшков, А.Г. Сопротивление материалов: Учеб. пос. 2-е изд., испр. / А.Г. Горшков, В.Н. Трошин, В.И. Шалашилин. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. — 544 с.
20. Державин А.Н. Методика назначения капитального ремонта пути на перегоне/А.Н. Державин Н.Н. Лысенко, А.В. Замуховский // Путь и путевое хозяйство. 2021.- №5. —С.31-33.