

Факторы повышения современного уровня технического состояния железнодорожной инфраструктуры

Н.И. Коваленко✉, Н.А. Коваленко

Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Российская Федерация

✉kni50@mail.ru

Резюме

В статье отмечается, что, несмотря на принимаемые меры по снижению изломов рельсов, в отдельных дирекциях инфраструктуры ОАО «Российские железные дороги», интенсивной работы по предупреждению нарушений не проводится, должных выводов не делается. Для примера оценки текущего состояния путевого хозяйства рассмотрен инцидент в виде схода поезда, произошедшего 16 марта 2021 г. на перегоне Южно-Уральской железной дороги – филиала ОАО «Российские железные дороги». Данное событие отнесено к материалам по неудовлетворительному состоянию рельсов, изолирующих стыков (в том числе АпАТэК) и путевого хозяйства инфраструктурного комплекса в целом. С помощью выполненного моделирования и произведенных расчетов выявлено, что коэффициент запаса прочности по напряжениям в наиболее нагруженном сечении рельса равен 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 ее отсутствия, коэффициент запаса прочности по напряжениям в наиболее нагруженном сечении составил 0,82 как при слабом, так и при жестком подрельсовом основании. В результате проведенных исследований установлено, что стратегической задачей повышения эксплуатационной надежности пути является достижение равноресурсности в эксплуатации его элементов. Следует отказаться от стратегии планирования промежуточных ремонтов «по фактическому состоянию», в первую очередь на участках первого и второго классов, с разработкой для них периодичности ремонтов по наработке тоннажа или времени эксплуатации.

Ключевые слова

равноресурсность элементов пути, излом рельсов, принимающая шпала, изолирующий стык, подрельсовое основание, запас прочности по напряжениям, пропущенный тоннаж, особогруженонапряженные участки, балластный слой, планово-предупредительная выправка

Для цитирования

Коваленко Н.И. Факторы повышения современного уровня технического состояния железнодорожной инфраструктуры / Н.И. Коваленко, Н.А. Коваленко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2022. – № 2 (74). – С. 112–120. – DOI 10.26731/1813-9108.2022.2(74).112-120.

Информация о статье

поступила в редакцию: 4.05.2022 г.; поступила после рецензирования: 23.05.2022 г.; принята к публикации: 24.05.2022 г.

Factors of increasing the current level of technical condition of the railway infrastructure

N.I. Kovalenko✉, N.A. Kovalenko

Russian University of transport (MIET), Moscow, the Russian Federation

✉kni50@mail.ru

Abstract

In the article it is noted that, despite the measures taken to reduce rail fractures in certain Directorates of the infrastructure of JSC «Russian Railways», intensive work to prevent violations is not carried out, proper conclusions not made. As an example of assessing the current state of the track economy, a train derailment incident that occurred on March 16, 2021 on the stretch of the South Ural Railway – a branch of JSC «Russian Railways», is considered. The event is classified as the materials on unsatisfactory rail condition, insulating joints (including АпАТэК) and track facilities of the infrastructure complex as a whole. The performed modeling and calculations, revealed that the stress safety factor in the most loaded section of the rail was 1.7 for a rigid (stabilized) sub-rail base, whereas for a weak (soft, immediately after repair) sub-rail base, its value was 1.3. In case of destruction or absence of the receiving sleeper, the stress safety factor in the most loaded section was 0.82 for both weak and rigid sub-rail base. Based on the conducted research, it has been established that the strategic objective of improving the operational reliability of the track is to achieve equal resource in the operation of its elements. It is necessary to abandon the strategy of planning intermediate repairs "according to the actual condition", primarily on the first and second class sections, with the frequency of repairs worked out for them according to the tonnage run or operating time.

Keywords

tequivalence of track elements, rail breakage, receiving sleeper, insulating joint, sub-rail base, stress safety margin, throughput tonnage, especially load-stressed sections, ballast layer, planned and preventive straightening

For citation

Kovalenko N.I., Kovalenko N.A. Faktory povysheniya sovremennogo urovnya tekhnicheskogo sostoyaniya zheleznodorozhnoi infrastruktury [Factors of increasing the current level of technical condition of the railway infrastructure]. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2022, no. 2 (74), pp. 112–120.– DOI: 10.26731/1813-9108.2022.2(74).112-120.

Article info

Received: May 4, 2022; revised: May 23, 2022; accepted: May 24, 2022.

Введение

Руководством ОАО «Российские железные дороги» (РЖД) в настоящее время отмечается, что в путевом хозяйстве инфраструктурного комплекса сложилась тревожная обстановка с изломами рельсов. По состоянию на 13 марта 2021 г. на сети железных дорог были допущены 70 случаев изломов рельсов (за аналогичный период 2020 г. – 42 случая). В их числе 28 изломов сварных стыков, выполненных алюминотермитным способом сварки (в 2020 г. было 8 случаев). В телеграмме от 13 марта 2021 г. отмечается увеличение количества сходов подвижного состава на сети ОАО «РЖД» по причинам разрушения рельсов, изолирующих стыков с накладками АпАТЭК, сварных стыков, выполненных алюминотермитным способом и других причин.

Отмечается, что в течение первого квартала 2021 г. в ОАО «РЖД» было допущено 5 случаев схода подвижного состава в результате разрушения рельсов в зоне изолирующих стыков с накладками АпАТЭК. В телеграмме указывается, что отдельными Дирекциями инфраструктуры, несмотря на принимаемые меры по стабилизации ситуации по снижению изломов рельсов, фактической интенсивной работы по устранению нарушений не проводится, должных выводов не делается.

Таким образом, сложившееся на сети железных дорог ОАО «РЖД» положение по состоянию путевого хозяйства, в частности рельсов, в настоящее время имеет тенденцию к ухудшению.

Материалы и методы

В качестве примера оценки текущего состояния путевого хозяйства рассмотрим инцидент в виде схода поезда 16 марта 2021 г. на перегоне Южно-Уральской железной дороги – филиала ОАО «РЖД» и предшествовавших ему при-

чин. Данное событие следует отнести к материалам по неудовлетворительному состоянию рельсов, изолирующих стыков, в том числе АпАТЭК, и инфраструктурного комплекса в целом.

Комиссией ОАО «РЖД» по данному инциденту установлено, что причиной схода вагонов, произошедшей 16 марта 2021 г. на перегоне Южно-Уральской железной дороги – филиала ОАО «РЖД» явился излом рельса в сечении, где расположено отверстие диаметром 22 мм на расстоянии 60 см от торца рельса в изолирующем стыке, с последующими дополнительными изломами рельса и его разрушением на большое количество кусков (найлены 37 фрагментов, но это не полное их количество) на длине около 4 м (рис. 1).



Рис. 1. Фрагменты разрушения рельса после схода (16 марта 2021 г.)

Fig. 1. Rail failure fragments after derailment (March 16, 2021)

Участок пути, где произошел сход, имеет следующие характеристики: класс линии – 2; класс пути – 3; специализация – О (особогрузонапряженная); путь уложен при модернизации линии в 2013 г. 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 К 1 2013); категория рельса – ДТ350; износ головки рельса: вертикальный – 2,5 мм, боковой по рабочей грани – 14 мм.

На данном участке с 2017 г. не был выполнен средний ремонт пути, который требовалось запланировать в соответствии с п. 12 Приложения № 1 Правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации (далее – ПТЭ), утвержденных Министерством транспорта Российской Федерации от 21 декабря 2010 г. № 286 с изменениями в соответствии с Приказом Минтранса РФ от 9 февраля 2018 г. № 54.

На примыкающих концах рельса, на котором смонтирован изолирующий стык, была нарушена эпюра шпал (в сторону ее увеличения), которая предусматривается в соответствии с п. 3.11.10 и п. 3.11.11 Инструкции по

текущему содержанию пути, утвержденной распоряжением ОАО «РЖД» от 14 ноября 2016 г. № 2288р». Предстыковая шпала с отдающего конца рельса имела раскол.

Примерно за два месяца до схода, т. е. 6 января 2021 г., при производстве зимнего комиссионного осмотра на данном участке были 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). Эти неисправности, согласно акту комиссии ОАО «РЖД», были устранены.

Приблизительно за месяц до схода, то есть 8 февраля 2021 г., при рабочем проходе диагностического комплекса «ЭРА» на данном участке (в частности на исследуемом километре) были обнаружены неисправности в виде бокового износа рабочей грани рельса от 16,6 мм до 19,5 мм, что соответствует оценке «неудовлетворительно».

На этом же участке пути 22 февраля 2021 г., затем 7 марта 2021 г. производились работы по замене упругой прокладки на промежуточных скреплениях ЖБР-65 ПШМ, которые уложены на этом участке пути. Далее, 10 марта 2021 г. здесь же выполнялись работы по регулировке ширины колеи.

В материалах расследования и отчетах по

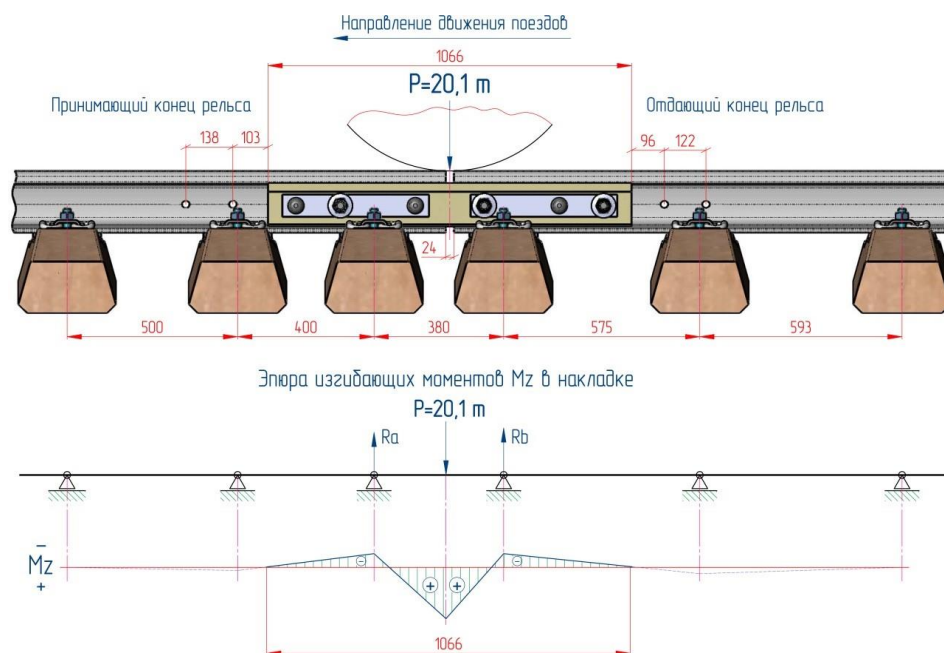


Рис. 2. Расчетная схема места разрушения рельса при сходе вагонов 16 марта 2021 г. при неразрушенной шпале

Fig. 2. Calculated scheme of the rail failure area after the March 16, 2021 derailment with the sleeper undestroyed

текущему содержанию участка пути, где произошел сход, в журнале учета работ текущего содержания, оценке состояния пути и путевых устройств отсутствуют материалы, в которых указано о выполнении работ по осмотру данного изолирующего стыка АпАТЭК со снятием накладок.

Результаты

Для установления возможных причин схода подвижного состава, произошедшего 16 марта 2021 г. на перегоне Южно-Уральской железной дороги – филиала ОАО «РЖД», исследовано, какие эпюры растягивающих и сжимающих напряжений должны быть в головке и подошве рельса при его изломе, зафиксированном на фото (рис. 1), а также в композитных накладках при их изломе, отмеченных в Акте комиссией ОАО «РЖД» по данному событию, при неразрушенной и разрушенной шпале под принимающим рельсом.

Выполненным моделированием [1, 2] и произведенными расчетами [3, 4] установлено, что максимальный изгибающий момент возникает при неразрушенной шпале в сечении по оси шпального ящика между принимающей и

отдающей шпалами (рис. 2).

Под головкой рельса будет растянутая зона (на схеме обозначена знаком плюс), под подошвой рельса – сжатая зона (на схеме указана в виде знаков «минус»). В сечении расположения зазора стыка изгибающий момент и напряжения невелики и соответствуют нормативным значениям.

Расчетами установлено, что коэффициент запаса прочности по напряжениям в наиболее нагруженном сечении композитных накладок по оси принимающей шпалы составил при слабом (мягком) подрельсовом основании 1,3, при жестком – 1,7.

Выполнено 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 (или ее условном расположении). В данном сечении возникают напряжения, превышающие нормативные значения.

При разрушенной шпале под принимающим концом рельса (рис. 3) под головкой рельса будет сжатая зона, под подошвой отдающего конца рельса – растянутая зона.

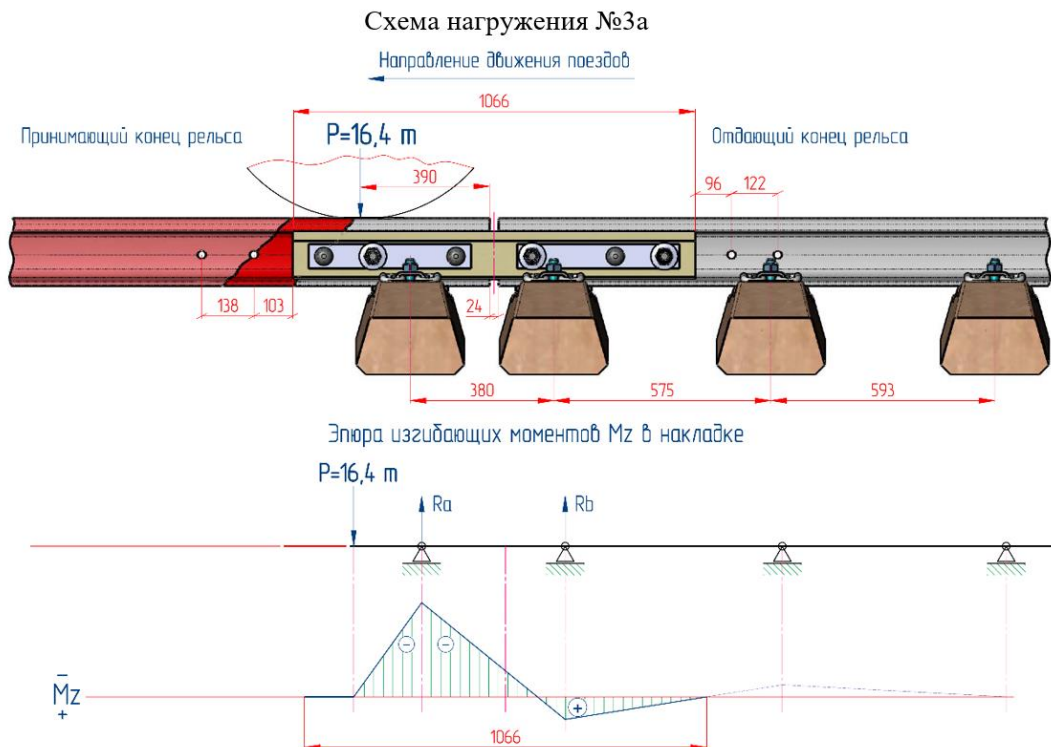


Рис. 3. Расчетная схема места разрушения рельса при сходе вагонов 16 марта 2021 г. при разрушенной шпале

Fig. 3. Calculated scheme of the rail failure area after the March 16, 2021 derailment with the sleeper destroyed

В ослабленном сечении четвертого отверстия в накладках (при счете слева направо) изгибающий момент меньше, чем по оси отдающей шпалы, однако здесь меньше и момент сопротивления сечения накладок.

В случае разрушения принимающей шпалы, коэффициент запаса прочности по напряжениям в наиболее нагруженном сечении композитных накладок по оси отдающей шпалы составил 0,82 как при слабом, так и при жестком подрельсовом основании (принимающая шпала отсутствует).

На разработанной модели (см. рис. 3) при разрушении принимающей шпалы (или ее отсутствии) надрыв накладок изолирующего стыка прогнозируется в ослабленном болтовым отверстием сечении, расположенном на расстоянии, порядка, 48 мм от оси шпалы.

Обсуждение результатов

Для выяснения возможной причины схода подвижного состава, произошедшего 16 марта 2021 г., были исследованы следующие вопросы:

1. При какой величине упругой просадки рельсов, уложенных на шпалах с расчетным модулем упругости подрельсового основания, произойдет излом композитных накладок от вертикальной нагрузки?

2. Каково значение данной вертикальной нагрузки?

При проведении исследований и выполнении расчетов рассматриваются схемы нагружения и эпюры изгибающих моментов в рельсах и накладках, приведенные на расчетных схемах рис. 2 и 3. 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 композитных накладках от воздействия вертикальных сил давления колес на рельсы в зоне стыка, необходимо приложить силу 86,4 тс от одного колеса или 172,8 тс от колесной пары при слабом основании. При жестком основании соответственно 129,0 тс от одного колеса или 258 тс от колесной пары при не разрушенных шпалах и не изломанных 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.

В процессе исследований ставилась задача определить соотношение расчетной величины нагрузки, при которой возможен излом накладок и фактически реализуемой в стыковой зоне при осевых нагрузках 25 тс.

Замечено, что при расчетной динамической силе от колесной пары с осевой нагрузкой 25 тс (от колеса – 12,5 тс) в зоне стыкового зазора с учетом ударного воздействия составит на одно колесо 20,1 тс (см. рис. 2). Соотношение фактически действующих сил и сил, приводящих к излому накладок, составит: $86,4 / 20,1 = 4,3$ раза при слабом основании и $129,0 / 20,1 = 6,4$ раза при жестком основании.

Таким образом, для излома композитных накладок от воздействия вертикальных сил от колес на рельсы в зоне стыка при не разрушенных шпалах и не изломанных рельсах необходимо приложить силы соответственно в 4,3 и 6,4 раза превышающие реализуемые при осевых нагрузках 25 тс при слабом и жестком основании.

В результате исследований и выполненных расчетов обнаружено, что наиболее вероятная причина схода вагонов, произошедших 16 марта 2021 г. на Южно-Уральской железной дороге – излом рельса в районе первого отверстия под перемычку диаметром 22 мм. Причиной излома являются процессы усталостной деградации рельсовой стали, так как фактический пропущенный тоннаж по рельсам составил более 766 млн. т брутто при нормативной величине 700 млн. т брутто. Нормативный тоннаж указан в соответствии с правилами технической эксплуатации.

По итогам расследования комиссией ОАО «РЖД» было установлено, что на данном участке с 2017 г. не выполнялся средний ремонт пути, была нарушена эпюра шпал (в сторону ее увеличения), были выявлены замечания в виде углов в плане, наличие свехнормативных зазоров в изолирующем стыке, наличие негодных шпал и креплений, загрязненность и засоренность балласта и другие неисправности.

Утверждено стратегической задачей увеличение эксплуатационной надежности пути, в том числе рельсов, посредством повышения ресурсов работы его элементов для достижения их равноресурсности в эксплуатации [5, 6].

В технических условиях на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту желез-

нодорожного пути и Паспорте параметров железнодорожного пути и показателей его функционирования нормативная потребность работ по капитальному ремонту пути для каждого участка с различной грузонапряженностью и установленными скоростями движения поездов, определяющими класс пути, рассчитывается по формуле:

$$W_{norm} = \frac{L_i \times G_{god}}{Q_{norm} \times f_i} = \frac{L_i}{N_{god} \times f_i}$$

где W_{norm} – нормативная потребность работ, км; G_{god} – грузонапряженность, млн. ткм брутто/км в год; Q_{norm} , N_{god} – тоннаж в млн. т брутто или количество лет, соответствующие нормативному периоду между капитальными ремонтами пути; L_i – развернутая длина участка пути данного класса, км; f_i – коэффициент, учитывающий дополнительные эксплуатационные факторы, например, наличие средней длины плетей меньше нормативной; наличие на участках недостаточной толщины чистого щебня; невыполнение шлифовки рельсов; близость мест погрузки угля или руды и другие. Численные значения приведенных выше величин берутся из технического паспорта дистанции пути.

Потребный объем работ разных видов (V_i) по участкам определяются по формуле:

$$V_i = w_{kap} \times n_i$$

где w_{kap} – нормативная потребность работ по капитальному ремонту пути; n_i – количество повторений работ различного вида за период между капитальными ремонтами пути.

Схема планирования ремонтов от капитального до капитального, представляет собой жизненный цикл работы пути [7–9].

Рекомендации жизненного цикла работы железнодорожного пути на особогрузонапряженных участках (О), согласно правилам технической эксплуатации

Life cycle recommendations for the railway track functioning on the especially load-stressed sections (O), according to the technical maintenance rules

Продление жизненного цикла элементов конструкции пути и повышение их надежности возможно за счет оптимизации ремонтных схем и своевременного выполнения планируемых ремонтов, что приведет к снижению затрат на текущее содержание, позволит в целом уменьшить затраты на материалы и снизить трудозатраты [10–12].

Важнейшей операцией продления сроков работы балластного слоя является его своевременная очистка и пополнение образовавшегося дефицита новым балластом [13, 14]. Результаты исследований научных работников и специалистов железнодорожного транспорта [15, 16] свидетельствуют, что для восстановления максимальной работоспособности балласта необходимо производить средние ремонты (С), или (РС), т. е. капитальные ремонты III-го уровня [17]. В качестве других видов необходимых промежуточных ремонтов предусматриваются подъемочный ремонт (П) и планово-предупредительный ремонт (В). Основные рекомендации приведены в табл.

Исследованиями [18] уровня загрязнения балласта частицами фракции менее 25 мм на полигоне Западно-Сибирской магистрали показали, что он существенно увеличивается при пропуске тоннажа до 200 млн. т брутто. Далее наблюдается, практически, равномерный рост загрязнения балласта, до наработки тоннажа порядка 1 200 млн. т брутто. Например, установлено, что, при тоннаже порядка 700 млн. т брутто загрязненность балласта составляет порядка 28 %, а при пропущенном тоннаже 1 200 млн. т брутто – около 33 %.

Код группы (специализация)	Класс пути	Периодичность выполнения капитального ремонта I-ого (КРН) и III-ого (РС) уровней - млн. тонн брутто				Ремонтные схемы: виды путевых работ и очередность их выполнения за межремонтный цикл
		Железобетонные шпалы		Деревянные шпалы		
		Новые материалы	старогодные материалы	Новые материалы	старогодные материалы	
О	1, 2	1400	-	-	-	КРН-В-В-РС-В-П-КРН
О	1, 2	700	-	600	-	КРН-В-С-В-КРН

При исследовании загрязненности щебеночного балласта частицами фракций от 5 мм до 0,1 мм наблюдается практически ее равномерный рост на всем протяжении межремонтного периода [19, 20]. Структура загрязнителей при сверхнормативном пропущенном тоннаже (более 700 млн. т брутто) составляет 16 % для фракции от 25 мм до 5 мм, для фракции от 5 до 0,1 мм – 12 % и при размере частиц загрязнителей до 0,1 мм порядка 6 %.

Для 5–6-летнего периода эксплуатации для загрязнителей фракции до 0,1 мм получены зависимости величины загрязнения щебеночного балласта от толщины балластного слоя. Выявлена тенденция уменьшения доли таких частиц при увеличении толщины балласта: для слоя до 30 см она составляет 38 %, при толщине 40 см – загрязненность в среднем 32 %. При увеличении толщины на 10 см (до толщины порядка 50 см), наблюдается снижение загрязненности еще на 15 %.

На наш взгляд, современная система планирования ремонтов в течение жизненного цикла требует современной корректировки. В особенности для железнодорожных линий первого и второго классов.

Например, существующая в настоящее время система планирования промежуточных ремонтов «по фактическому состоянию» (см. табл.) имеет существенный недостаток, заключающийся в экспертном принятии решения, для которого условием эффективного планирования ремонтов пути является минимизация суммарных затрат на выполнение путевых ремонтных работ и задержек поездов с учетом количества и продолжительности требуемых «окон» (или закрытия перегона).

Такой принцип планирования негативно отражается на сроках и объемах выполнения промежуточных ремонтов. Что и отражается в результатах расследования по инциденту от 16 марта 2021 г. на Южно-Уральской железной дороге – филиале ОАО «РЖД». Следует отказаться от данной стратегии, в первую очередь, на участках первого и второго классов, с разработкой для этих классов пути периодичности таких ремонтов по наработке тоннажа или времени эксплуатации.

Заключение

Для Транссибирской магистрали принято предельное значение допустимого засоре-

ния щебеночного балласта более 30 %, которое возникает при величине пропущенного тоннажа 500 млн т (около восьми лет эксплуатации). В среднем для Среднесибирского региона пропущенный тоннаж для достижения предельного засорения балласта составляет порядка 800 млн т (10 лет эксплуатации). Такие значения могут служить ориентиром для проведения ремонтов пути с использованием машин для очистки балласта, в том числе глубокой его очистки.

Наиболее пагубными в условиях интенсивной эксплуатации пути (при грузонапряженности линии 100 млн т·км брутто/км в год и более), приводящим к накоплению в пути различных неисправностей (например, углов в плане, угона рельсов, вызывающего сверхнормативный зазор, и др.), являются нарушение нормативных требований продолжительности эксплуатации и невыполнение номенклатуры промежуточных ремонтов и текущего содержания.

Установлено, что для высокой интенсивности эксплуатации пути, характерной для рассматриваемых условий, необходимо предусматривать повышенную потребность производства работ по замене упругой прокладки на скреплениях, в частности ЖБР-65ППМ, регулировку ширины колеи, а также эффективное выполнение мероприятий по текущему содержанию участков пути и изолирующих стыков.

Применяемая в настоящее время периодичность и схема выполнения ремонтов и планово-предупредительной выправки железнодорожного пути на особогрузонапряженных участках «по фактическому состоянию» не удовлетворяет перспективным техническим требованиям к конструкции железнодорожного пути и системе его технического обслуживания, обеспечивающей наработку свыше нормативной как по пропущенному тоннажу, так и по годам эксплуатации.

На основании проведенных исследований делается вывод, что стратегической задачей повышения эксплуатационной надежности пути является достижение равноресурсности в эксплуатации его элементов.

Следует отказаться от стратегии планирования промежуточных ремонтов «по фактическому состоянию» в первую очередь на участках первого и второго классов с разработкой для них периодичности ремонтов по наработке тоннажа или времени эксплуатации.

Список литературы

1. Ицкович Г.М., Минин А.С., Винокуров А.И. Руководство к решению задач по сопротивлению материалов. М. : Высш. шк., 2001. 592 с.
2. Перельмутер, А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. М. : ДМК Пресс, 2011. 736 с.
3. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Сопротивление материалов. М. : Высш. шк., 2003. 560 с.
4. Горшков А.Г., Трошин В.Н., Шалашилин В.И. Сопротивление материалов. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2005. 544 с.
5. Гринь Е.Н., Коваленко Н.И. Факторный анализ оценки состояния пути // Путь и путевое хозяйство. 2013. № 1. С. 22–23.
6. Budgeting Direct Costs of Track Complex of JSC «Russian Railways» in the Light of Modern Classification of Railway Lines. / N. Kovalenko, B. Volkov, A. Kovalenko et al. // TransSiberia 2019 : VIII International Scientific Siberian Transport Forum. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Vol. 1115. P. 177–183.
7. Об утверждении методики классификации и специализации железнодорожных линий ОАО «РЖД» : распоряжение ОАО «РЖД» от 23.12.2015 г. № 3048р.
8. Путевые машины / С.А. Соломонов, М.В. Попович, В.М. Бугаенко и др. М. : Желдориздат, 2000. 756 с.
9. Путевые машины для выправки железнодорожного пути, уплотнения и стабилизации балластного слоя. Технологические системы / А.В. Атаманюк, В.Б. Бредюк, В.М. Бугаенко и др. М. : УМЦ ЖДТ, 2008. 285 с.
10. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года : постановление Правительства Рос. Федерации от 22 нояб. 2008 г. № 1734-р : в ред. от 11.06.2014 № 1032-р.
11. Assessment of the Mitigation of Consequences Resulting from Incidents at the Railway. / N. Kovalenko, V. Ponomarev, N. Kovalenko et al. // TransSiberia 2019 : VIII International Scientific Siberian Transport Forum. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. P. 184–194.
12. Kovalenko N., Grin E., Kovalenko N. The determination of the repairs of railway track considering the reliability and risk level, E3S // Web of Conferences. 2020. Vol. 157. P. 92–99. Doi.org/10.1051/e3sconf/202015706031.
13. Бессонова Н.В. Определение общих расходов для ремонтно-путевых работ при предоставлении «окон» // Соискатель – приложение к журналу Мир транспорта. 2010. Т. 8. № 2. С. 52–54.
14. Парамонова Н.В. Оптимум для времени «окна» // Мир транспорта. 2007. Т. 5. № 1 (17). С. 114–116.
15. Гапеев Ю.В. Стабилизация пути после глубокой очистки балласта // Путь и путевое хозяйство. 1997. № 10. С. 13–16.
16. Tsvetkov V.Ya. Conceptual Model of the Innovative Projects Efficiency Estimation // European Journal of Economic Studies. 2012. Vol. (1), № 1. P. 45–50.
17. Державин А.Н., Лысенко Н.Н., Замуховский А.В. Методика назначения капитального ремонта пути на перегоне // Путь и путевое хозяйство. 2021. № 5. С. 31–33.
18. Величко Д.В. Толстикова Н.А. Анализ загрязненности щебеночного балласта // Изв. Транссиба. 2016. № 3 (27). С. 110–117.
19. Абрашитов А.А. Механизм образования выплесков в балластной призме // Мир транспорта. 2015. Т. 13. № 3 (58). С. 210–217.
20. Оценка источников загрязнения балластного слоя из гранитного щебня и моделирование разрушения и истирания частиц щебня при динамическом нагружении / А.А. Абрашитов, А.А. Зайцев, А.В. Семак // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути : тр. XIII Междунар. науч.-техн. конф. (Чтения, посвященные памяти профессора Г.М. Шахуняца). М. :, 2016. С. 184–187.

References

1. Itskovich G.M., Minin A.S., Vinokurov A.I. Rukovodstvo k resheniyu zadach po soprotivleniyu materialov [A manual to solving tasks on the resistance of materials]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 2001. 592 p.
2. Perel'muter, A.V., Slivker V.I. Raschetnye modeli sooruzhenii i vozmozhnost' ikh analiza [Design models of structures and the possibility of their analysis]. Moscow: DMK Press Publ., 2011. 736 p.
3. Aleksandrov A.V., Potapov V.D., Derzhavin B.P. Soprotivlenie materialov [Resistance of materials]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 2003. 560 p.
4. Gorshkov A.G., Troshin V.N., Shalashilin V.I. Soprotivlenie materialov [Resistance of materials]. Moscow: FIZMATLIT, 2005. 544 p.
5. Grin' E.N., Kovalenko N.I. Faktorny analiz otsenki sostoyaniya puti [Factor analysis of the assessment of the state of the path]. *Put' i putevoe khozyaistvo* [Path and path facilities], 2013, no. 1, pp. 22–23.
6. Budgeting Direct Costs of Track Complex of JSC «Russian Railways» in the Light of Modern Classification of Railway Lines. / N. Kovalenko, B. Volkov, A. Kovalenko et al. // TransSiberia 2019 : VIII International Scientific Siberian Transport Forum. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Vol. 1115. Pp. 177–183.
7. Rasporiyazhenie ОАО «RZhD» от 23.12.2015 г. № 3048р «Об утверждении методики классификации и специализации железнодорожных линий ОАО «RZhD» [Order of JSC «Russian Railways» dated December 23, 2015 no 3048r «On approval of the methodology of classification and specialization of Railway lines of JSC «Russian Railways»].
8. Solomonov S.A., Popovich M.V., Bugaenko V.M. [et. al.]. Putevye mashiny [Path machines]. Moscow: Zheldorizdat Publ., 2000. 756 p.
9. Atamanyuk A.V., Bredyuk V.B., Bugaenko V.M. [et. al.]. Putevye mashiny dlya vypravki zheleznodorozhnogo puti, uplotneniya i stabi-lizatsii ballastnogo sloya. Tekhnologicheskie sistemy [Track machines for straightening the railway track, compaction and stabilization of the ballast layer. Technological systems]. Moscow: UMTS ZhDT Publ., 2008. 285 p.

10. Postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 22 noyabrya 2008g. № 1734-р «Transportnaya strategiya Rossiiskoi Fede-ratsii do 2030 goda» (v red. rasporyazheniya Pravitel'stva RF ot 11.06.2014 № 1032-р) [Resolution of the Government of the Russian Federation of November 22, 2008 No. 1734-р «Transport Strategy of the Russian Federation until 2030» (Edited by the Decree of the Government of the Russian Federation of 11.06.2014 no 1032-р)].

11. Assessment of the Mitigation of Consequences Resulting from Incidents at the Railway. / N. Kovalenko, V. Ponomarev, N. Kovalenko et al. // TransSiberia 2019 : VIII International Scientific Siberian Transport Forum. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Pp. 184–194.

12. Kovalenko N., Grin E., Kovalenko N. The determination of the repairs of railway track considering the reliability and risk level, E3S // Web of Conferences. 2020. Vol. 157. P. 92–99. Doi.org/10.1051/e3sconf/202015706031.

13. Bessonova N.V. Opredelenie obshchikh raskhodov dlya remontno-putevykh работ pri predostavlenii «okon» [Determination of total expenses for repair and track work when providing «windows»]. *Soiskatel' – prilozhenie k zhurnalu «Mir transporta»* [The applicant is an appendix to the magazine «World of Transport»], 2010, vol. 8, no. 2, pp. 52–54.

14. Paramonova N.V. Optimum dlya vremeni «okna» [Optimum for «window» time]. *Mir transporta* [World of transport], 2007, vol. 5, no. 1(17), pp. 114–116.

15. Gapeenko Yu.V. Stabilizatsiya puti posle glubokoi ochildki ballasta [Path stabilization after deep ballast cleaning]. *Put' i putevoe khozyaistvo* [Path and path facilities], 1997, no. 10, pp. 13–16.

16. Tsvetkov V.Ya. Conceptual Model of the Innovative Projects Efficiency Estimation // European Journal of Economic Studies. 2012, vol. 1, no. 1, pp. 45–50.

17. Derzhavin A.N., Lysenko N.N., Zamukhovskii A.V. Metodika naznacheniya kapital'nogo remonta puti na peregone [Methodology for the appointment of major repairs of the track on the stretch]. *Put' i putevoe khozyaistvo* [Track and track facilities], 2021, no. 5, pp. 31–33.

18. Velichko D.V. Tolstikova N.A. Analiz zagryaznenosti shchebenochnogo ballasta [Analysis of contamination of crushed stone ballast]. *Izvestiya Transsiba* [Bulletins of Transsib], 2016, no. 3(27), pp. 110–117.

19. Abrashitov A.A. Mekhanizm obrazovaniya vypleskov v ballastnoi prizme [Mechanism of formation of splashes in the ballast prism]. *Mir transporta* [World of transport], 2015, vol. 13, no. 3(58), pp. 210–217.

20. Abrashitov A.A., Zaitsev A.A., Semak A.V., Shavrin L.A. Otsenka istochnikov zagryazneniya ballastnogo sloya iz granitnogo shchebnya i modelirovanie razrusheniya i istiraniya chastits shchebnya pri dinamicheskom nagruzhenii [Assessment of sources of contamination of the ballast layer of granite rubble and modeling of destruction and abrasion of crushed stone particles under dynamic loading]. *Trudy XIII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii (Chteniya, posvyashchennye pamyati professor G.M. Shakhun'yantsa) «Sovremennye problemy proektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii zheleznodorozhnogo puti»* [Proceedings of the XIII International Scientific and Technical Conference (Readings dedicated to the memory of Professor G.M. Shakhun'yants) «Contemporary problems of railway track design, construction and operation»]. Moscow, 2016, pp. 184–187.

Информация об авторах

Коваленко Николай Иванович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры пути и путевого хозяйства, Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва; e-mail: kni50@mail.ru.

Коваленко Нина Александровна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры управления эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте, Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва; e-mail: nina-alex-kov@mail.ru.

Information about the authors

Nikolai I. Kovalenko, Doctor of Engineering Science, Full Professor, Professor of the Department of Track and track facilities, Russian University of transport (MIET), Moscow; e-mail: kni50@mail.ru.

Nina A. Kovalenko, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Management of operating and safety on transport, Russian University of transport (MIET), Moscow; e-mail: nina-alex-kov@mail.ru.