

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 625.143.482, 625.171

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-6-3>

Дополнительные критерии изменения кривизны и температуры рельсовых плетей при контроле за предотказным состоянием бесстыкового пути в плане

**Виталий Владимирович Атапин***Самарский государственный университет путей сообщения (СамГУПС),
Самара, Россия.*✉ atapin@samgups.ru

Виталий АТАПИН

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются предложения по применению нового способа контроля за состоянием бесстыкового пути.

Основными факторами, оказывающими наибольшее влияние на состояние бесстыкового пути, являются угол рельсовых плетей и состояние бесстыкового пути в плане. Данная группа факторов описывает температурно-напряжённый характер работы бесстыкового пути. В качестве факторов, определяющих удерживающие свойства, оцениваются состояние рельсовых креплений, ширины плеча балластной призмы, наличие отрясённых и неподбитых шпал и заполняемость шпальных ящиков.

Совокупность указанных факторов даёт возможность выявлять комплексный коэффициент, позволяющий с высокой степенью достоверности оценивать предотказное состояние бесстыкового пути – риск потери устойчивости бесстыкового пути, степень опасности нарушения безопасности движения поездов.

С целью оценки состояния бесстыкового пути и степени его ухудшения, в работе представлены оценочные критерии. Они позволяют получить комплексное представление

о состоянии любого участка бесстыкового пути на основе результатов его проверки диагностическими средствами и формировать перечень рекомендаций для устранения выявленных нарушений.

Вместе с тем в работе выделены недостатки существующей методики оценки состояния бесстыкового пути в плане, которая основана на анализе изменения кривизны рельсовых плетей в плане во времени. Проведённый автором ретроспективный анализ, показывает, что имеются случаи резкого изменения состояния бесстыкового пути в плане, которые в настоящий момент не учитываются существующими критериями оценки. С целью повышения выявляемости таких участков бесстыкового пути предлагается в существующем алгоритме использовать дополнительные критерии оценки, связанные с изменениями кривизны рельсовых плетей и температуры рельсов, позволяющие своевременно определять места резкого изменения состояния в плане.

В последующих исследованиях требуется установить взаимосвязь температуры рельсов с местами резкого изменения состояния бесстыкового пути в плане.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, бесстыковой путь, предотказное состояние, кривизна, КАПС БП, температурные напряжения, матрица ранжирования, коэффициент.

Для цитирования: Атапин В. В. Дополнительные критерии изменения кривизны и температуры рельсовых плетей при контроле за предотказным состоянием бесстыкового пути в плане // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 6 (103). С. 18–26. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-6-3>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

В мировой практике эксплуатации железных дорог конструкция бесстыкового пути считается одной из передовых конструкций верхнего строения пути, что подтверждается наработанным опытом и её достоинствами. В существующих реалиях она может работать практически в любых эксплуатационных и природно-климатических условиях¹.

Данные преимущества конструкции бесстыкового пути позволили обеспечить постоянный рост полигона укладки рельсовых плетей по сравнению со звеньевой конструкцией пути. Расширение полигона укладки бесстыкового пути связано с осуществлением следующих задач²:

- совершенствование условий работы железнодорожного пути и подвижного состава;
- повышение эксплуатационного ресурса конструкции железнодорожного пути и усиление надёжности её работы;
- улучшение технико-экономических показателей работы железнодорожного пути;
- обеспечение плавности хода подвижного состава;
- уменьшение количества ударно-динамических зон, что способствует улучшению работы систем автоматической централизации и блокировки.

На сегодняшний день протяжённость уложенного бесстыкового пути в России составляет более 75 % от общей длины главных путей. Данный факт говорит о том, что практически вся сеть ОАО «РЖД» перешла на эксплуатацию данной конструкции.

Многие постулаты и допущения, которые были приняты ещё со времён первой укладки и начальной эксплуатации бесстыкового пути, используются и в настоящее время. Как правило, данные принципы базировались на небольшом опыте использования бесстыкового

пути, а также на недостаточных сведениях и устаревших подходах, связанных с его техническим обслуживанием. Один из главных недостатков, присущих содержанию бесстыкового пути, проявляется в части диагностики его фактического состояния. В результате этого не в полной мере учитываются все особенности данной конструкции, особенно связанные с температурным режимом.

Как известно, при изменении температуры рельсовых плетей в процессе эксплуатации, помимо отказов, причиной которых являются состояние геометрии рельсовой колеи, а также образующиеся дефекты в элементах верхнего строения пути, есть отказы, которые возникают по причине некачественного содержания и диагностирования состояния бесстыкового пути. Примеры таких отказов представлены ниже: «выброс пути», «угон в плане», «сдвиг пути» – такие отказы, как правило, классифицируются как опасные и связаны с потерей устойчивости рельсошпальной решетки. Кроме того, могут появляться и отказы, которые связаны с образованием дефектов рельсов – «излом рельсовой плети».

В связи с этим, целью данной работы является разработка и совершенствование способа определения состояния бесстыкового пути. Среди основных методов исследования используются методы сравнения, прямых измерений, наблюдения.

РЕЗУЛЬТАТЫ

История развития способов определения устойчивости бесстыкового пути

Проведённый анализ показывает, что начальные способы определения устойчивости бесстыкового пути появились ещё в XIX веке. На тот момент все разрабатываемые способы были направлены на исследование определённого этапа работы конструкции, большинство из них проводились опытным путём.

Отправной точкой теоретических исследований устойчивости бесстыкового пути считают 1913 год [1]. Впоследствии стали развиваться уже существующие и появляться новые способы определения устойчивости бесстыкового пути, в большинстве своём основанные на расчёте величин критических усилий в рельсовых плетях:

- энергетический метод;
- метод дифференциальных уравнений равновесия;
- метод имитационного моделирования.

¹ Инструкция по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути, утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 14 декабря 2016 г. № 2544/р. [Электронный ресурс]: <https://tgarantproekt.ru/Documents/2544p%20Инструкция%20по%20устройству%2C%20укладке%2C%20содержанию%20и%20ремонту%20бесстыкового%20пути.doc>. Доступ 27.12.2022.

² Стратегия научно-технического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года (Белая книга), утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 17 апреля 2018 г. № 769/р. [Электронный ресурс]: http://cipi.samgtu.ru/sites/cipi.samgtu.ru/files/belaya_kniga.pdf. Доступ 27.12.2022.



Одним из наиболее современных способов определения состояния бесстыкового пути является метод конечных элементов (МКЭ), который, несмотря на сложность создания модели, имеет высокую точность результатов и возможность их графического отображения [2].

Следует отметить, что за последние годы особую значимость приобретает совершенно новый метод оценки устойчивости бесстыкового пути, получаемой по данным средств диагностики. Он основан на анализе изменения предотказного состояния бесстыкового пути [3].

Началом зарождения данного метода в России стали совместно проводимые работы специалистов НПЦ ИНФОТРАНС и АО «ВНИИЖТ», по результатам которых первоначально была создана для опытного применения «Методика контроля и оценки состояния бесстыкового пути на основе данных, получаемых по результатам проходов путеизмерительных средств, оборудованных подсистемами контроля устойчивости бесстыкового пути» (далее – Методика)³.

По итогам практической апробации была осуществлена её доработка, которая привела к переутверждению и введению в 2017 году Методики в действие на постоянной основе (в последующем в неё вносились изменения)⁴. Для её использования было разработано программное обеспечение – «Комплексный анализ предотказного состояния бесстыкового пути» (КАПС БП), которое было установлено во всех секторах бесстыкового пути дирекций инфраструктуры [4].

³ Методика контроля и оценки состояния бесстыкового пути на основе данных, получаемых по результатам проходов путеизмерительных средств, оборудованных подсистемами контроля устойчивости бесстыкового пути», утверждённая распоряжением ОАО «РЖД» № 3120р от 25 декабря 2014 г.

⁴ Методика контроля и оценки состояния бесстыкового пути на основе данных, получаемых по результатам проходов путеизмерительных средств, оборудованных подсистемами контроля устойчивости бесстыкового пути, утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 17 октября 2017 г. № 2115/р. (в ред. Распоряжения ОАО «РЖД» от 09.07.2020 № 1463/р). [Электронный ресурс]: <https://urizdat.ru/books/zheleznodorozhnyy-transport/put-i-putevye-hozyaystvo-cp-cdrp/o-sovershenstvovanii-sistemy-kontrolya-i-ocenki-sostoyaniya-besstykovogo-puta-na-osnove-dannyh-poluchaemyh-po-rezultatam-prohodov-puteizmeritelnyh-sredstv-oborudovannyh-podsystemami-kontrolya-ustoychivosti-besstykovogo-puti-rasporyazhenie-oao-rzhd-ot-17.10.2017-2115r-v-redakcii-rasporyazheniya-oao-.html> [ограниченный доступ].

Существующий алгоритм оценки состояния бесстыкового пути в плане

Основой работы программы КАПС БП стали данные, регулярно поступающие со средств диагностики и накапливающиеся в РЦДМ, службах пути, информационно-аналитических базах. Однако среди всего многообразия получаемых данных для решения задачи достоверного определения проблемных участков бесстыкового пути оказалось необходимым выделить наиболее значимые факторы для проведения последующей оценки. Классификация факторов была выполнена по следующему принципу:

- определение и оценка температурных напряжений в рельсовых плетях;
- определение и оценка удерживающих свойств рельсошпальной решётки в виде факторов, которые, как правило, пытаются удержать рельсошпальную решётку и при наличии температурных напряжений дают дополнительное ослабление.

К первой группе факторов относятся: угон рельсовых плетей и состояние бесстыкового пути в плане. Косвенно, не в прямую, посредством анализа и оценки данных факторов, согласно Методике, осуществляется определение участков бесстыкового пути, имеющих температурные напряжения. Для проведения анализа и формирования коэффициентов, характеризующих угон рельсовых плетей ($K_{уг.}$) и состояние бесстыкового пути в плане ($K_{пл.}$), используются исходные параметры: подвижки на «маячных» шпалах и кривизна правой и левой рельсовой нити (табл. 1).

Во вторую группу факторов входят те составляющие, которые удерживают рельсошпальную решётку в продольном и поперечном направлениях. К их числу относятся (табл. 1):

- рельсовые скрепления, состояние которых определяется на основе анализа изменения нестабильного шаблона;
- ширина плеча балластной призмы, которая контролируется по данным геометрических размеров балластной призмы [5];
- процент заполняемости шпальных ящиков, определяемый по наличию балласта в межшпальном пространстве;
- наличие неподбитых и отрясанных шпал, диагностируемое посредством расчёта зазоров в подшпальном пространстве по данным натурных неровностей в вертикальной плоскости.

Таблица 1

Факторы, оцениваемые в КАПС БП [разработано автором]

Факторы, характеризующие наличие температурных напряжений в рельсовых плетях		Факторы, характеризующие удерживающие свойства рельсошпальной решётки	
Факторы	Исходный параметр оценки	Факторы	Исходный параметр оценки
1. Состояние бесстыкового пути в плане	Кривизна правой и левой рельсовой плети	1. Удерживающие свойства рельсовых креплений	Нестабильный шаблон
		2. Наличие неподбитых и отрясанных шпал	Натурные неровности в вертикальной плоскости
2. Угон рельсовых плетей	Подвижки на «маячных» шпалах	3. Оценка ширины плеча балластной призмы	Геометрические размеры ширины плеча балластной призмы
		4. Заполняемость шпальных ящиков	Процент заполняемости шпальных ящиков



Рис. 1. Алгоритм определения комплексного коэффициента предотказного состояния бесстыкового пути [разработано автором].

Основными «техномаркерами» проблем, которые показывают реализацию температурных сил в перемещениях рельсовой плети, являются факторы, относящиеся к первой группе. В случае их возникновения и роста значений с течением времени, имеется угроза накопления температурных напряжений.

Сочетание данных показателей с нарушениями, выявленными при диагностике второй группы факторов, особенно на небольшом (6–9 м) участке, может привести к нарушению поперечной устойчивости бесстыкового пути и последующему отказу [6–7].

Результатом анализа и оценки всех факторов является определение комплексного коэффициента (K_k), который показывает состояние рельсошпальной решётки с точки зрения образования отказа по причине потери устойчивости (рис. 1).

При определении комплексного коэффициента предотказного состояния бесстыково-

го пути для факторов, которые характеризуют удерживающие свойства, учитываются масштабный и весовые показатели. Формула для определения комплексного коэффициента имеет следующий вид:

$$K_k = \max(K_{\text{ут.}}; K_{\text{пл.}}) + k_{\text{масш.}} \cdot (k_{\text{в.скр.}} \cdot K_{\text{скр.}} + k_{\text{в.бал.пр.}} \cdot K_{\text{бал.пр.}} + k_{\text{в.неп.шп.}} \cdot K_{\text{неп.шп.}} + k_{\text{в.зап.ящ.}} \cdot K_{\text{зап.ящ.}}), \quad (1)$$

где $k_{\text{масш.}}$ – масштабный коэффициент, принимается равным 0,25;

$k_{\text{в.скр.}}$, $k_{\text{в.бал.пр.}}$, $k_{\text{в.неп.шп.}}$, $k_{\text{в.зап.ящ.}}$ – весовые коэффициенты, учитывающие долю влияния каждого из факторов, относящихся ко второй группе, на общий комплексный коэффициент. Принимаются $k_{\text{в.скр.}} = 0,1$; $k_{\text{в.бал.пр.}} = 0,4$; $k_{\text{в.неп.шп.}} = 0,3$; $k_{\text{в.зап.ящ.}} = 0,2$.

Помимо величины комплексного коэффициента, в ПО КАПС БП также определяется значение вероятности выброса V_2 , которое характеризует риск возникновения отказа бесстыкового пути по второму критическому состоянию.



Матрица ранжирования пикетов по результатам комплексной оценки предотказного состояния пути

Проверка: Рабочая

Состояние пути	$\Gamma < 30$	$30 \leq \Gamma < 50$	$50 \leq \Gamma < 70$	$\Gamma \geq 70$
Недопустимое				
Предотказное	1			
Нежелательное	16	1		
Допустимое	50	8		
Не прин. в расчет	2081	31		
Всего пикетов	2148	40		

Рис. 2. Фрагмент примера матрицы ранжирования по K_k .

Оценка данных показателей осуществляется на основе пороговых значений, приведённых в таблице состояний по показателям V_2 и K_k (табл. 2). При оценке анализируется состояние каждого из участков бесстыкового пути и формируется итоговая попикетная матрица ранжирования (рис. 2). В ней отражается общая интегральная оценка заданного структурного подразделения с указанием количества пикетов в том или ином состоянии [8].

На пикетах с недопустимым состоянием движение поездов закрывается.

В матрице ранжирования в зависимости от состояния комплексного коэффициента приводится подробная характеристика по каждому из пикетов, включая данные по всем

показателям, а также информацию о принадлежности пикета, план пути, грузонапряжённость, скорость движения (рис. 2). На основе данных, которые имеются в матрице ранжирования, формируются необходимые мероприятия, цель проведения которых восстановление состояния бесстыкового пути и обеспечение его устойчивости.

Как уже отмечалось выше, одним из ключевых факторов, который играет основную роль в процессе мониторинга за температурно-напряжённым состоянием бесстыкового пути, является определение динамики изменения рельсовых плетей в плане.

Согласно существующему алгоритму, заложенному в программу КАПС БП, контроль

Таблица 2

Оценочные критерии значений V_2 и K_k [4]

Наименование критерия	Значение показателя						
	не принимаемое в расчёт	допустимое	нежелательное		предотказное*		недопускаемое
			$V_{уст.} = 140 \text{ км/ч}$ и менее	$V_{уст.} = \text{более } 140 \text{ км/ч}$	$V_{уст.} = 140 \text{ км/ч}$ и менее	$V_{уст.} = \text{более } 140 \text{ км/ч}$	
Комплексный коэффициент предотказного состояния бесстыкового пути, K_k	$K_k < 1,5$	$1,5 \leq K_k < 2$	$2 \leq K_k < 3$	$2 \leq K_k < 2,5$	$3 \leq K_k < 5$	$2,5 \leq K_k < 5$	$K_k \geq 5$
Вероятность выброса сечения бесстыкового пути, $V_2, \%$	$V_2 < 5$ менее 5	$5 \leq V_2 < 10$	$10 \leq V_2 < 18$	$10 \leq V_2 < 14$	$18 \leq V_2 < 34$	$14 \leq V_2 < 34$	$V_2 \geq 34$

*Примечание: при наступлении предотказного состояния:
– для пикетов, имеющих значения $3 \leq K_k < 4$, скорость движения ограничивается до 60 км/ч;
– для линий с установленной скоростью движения более 140 км/ч для пикетов, имеющих значения $2,5 \leq K_k < 3$, скорость движения ограничивается до 120 км/ч;
– для пикетов, имеющих значения $4 \leq K_k < 5$, скорость движения ограничивается до 25 км/ч.

состояния рельсовых плетей в плане осуществляется по изменениям их кривизны, которую измеряют современные средства диагностики [9].

Сущность данного алгоритма (рис. 3) заключается в следующем:

1. После измерения кривизны рельсовых плетей в плане в программе КАПС БП происходит формирование кривизны в диапазоне 6–9 м, т.е. в «выбросоопасном» диапазоне.

2. Далее осуществляется определение локального участка, символизирующего наличие температурных напряжений посредством фиксации роста кривизны по каждой рельсовой нити отдельно на выбранном участке оценки. В качестве участка оценки, как правило, принимается пикет (далее – ПК) или рельсовая плеть [3].

3. Затем выполняется расчёт температурного эквивалента, характеризующего изменение состояния бесстыкового пути в плане ($\Delta t_{пл.}$), и формирование интенсивности изменения данного температурного эквивалента ($\Delta \Delta t_{пл.(\lambda)}$), как разница между значением, полученным в текущую проверку ($\Delta t_{пл.(\text{тек})}$), и минимальным ($\Delta t_{пл.(\text{мин})}$) за последние полгода наблюдения.

4. Осуществляются определение и оценка коэффициента предотказного состояния, показывающего устойчивость бесстыкового пути в плане ($K_{пл.}$). Оценка коэффициента $K_{пл.}$ происходит согласно действующим критериям, которые приведены в табл. 2.

Примечательным является тот факт, что действие ограничений скорости движения и проведение работ по разрядке температурных напряжений или их регулировке на обнаруженных и ближайших к ним пикетах, а также выполнение других сопутствующих работ начинается при выявлении комплексного коэффициента $K_{к} \geq 3$.

Как уже отмечалось ранее, высокий вклад в формирование неблагоприятного комплексного коэффициента вносят факторы, относящиеся к первой группе – угон рельсовых плетей и состояние бесстыкового пути в плане [10; 11]. При наличии информации по обоим показателям для определения комплексного коэффициента учитывается тот, который характеризует худшее состояние.

В случае с коэффициентом $K_{пл.}$, образование комплексного коэффициента, символизирующего предотказное (3 и более при $V_{уст.} =$

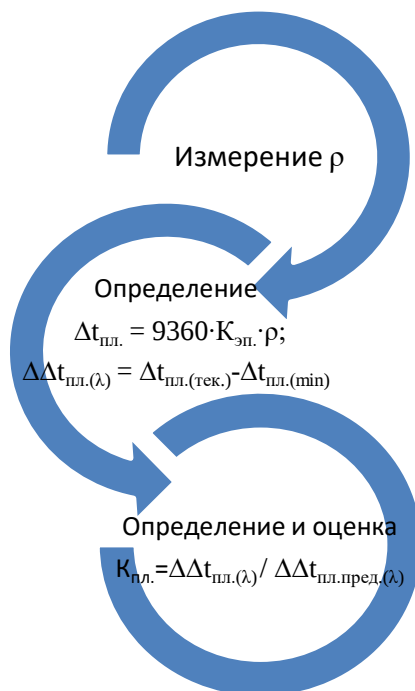


Рис. 3. Алгоритм определения состояния бесстыкового пути в плане [разработано автором].

140 км/ч и менее и 2,5 и более при $V_{уст.} =$ более 140 км/ч) или недопустимое состояние (5 и более), возможно при следующих сценариях.

Сценарий № 1. Состояние бесстыкового пути в плане, то есть изменение кривизны рельсовых плетей в диапазоне 6–9 м, происходит достаточно резко (в рамках двух соседних проверок) (рис. 4а).

Сценарий № 2. Состояние бесстыкового пути в плане, то есть изменение кривизны рельсовых плетей в диапазоне 6–9 м, происходит плавно на протяжении длительного периода времени (рис. 4б).

Учёт дополнительных факторов

Существующий алгоритм оценки состояния бесстыкового пути в плане, реализованный в ПО КАПС БП, в рассмотренных сценариях не всегда учитывает случаи резкого изменения кривизны в плане [12]. Наглядными являются примеры, когда изначальная величина коэффициента $K_{пл.}$ имеет достаточно малые значения (как правило, менее 0,5), а затем происходит резкий рост, приводящий к увеличению коэффициента до значений, меньших чем у предотказного состояния (менее 3 или 2,5, в зависимости от установленной скорости). Проявление данного роста



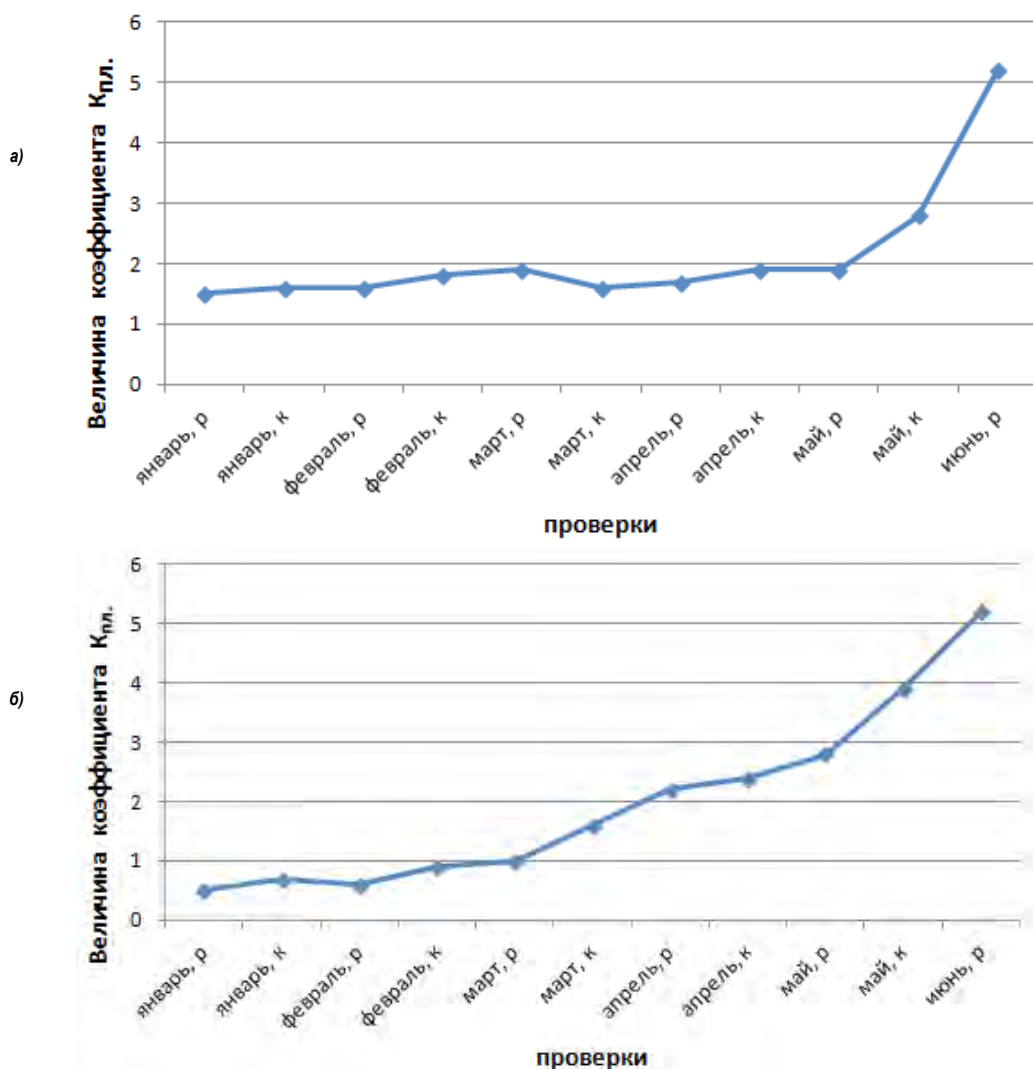


Рис. 4. Сценарии развития состояния бесстыкового пути в плане:
а – сценарий № 1; б – сценарий № 2 [разработано автором].

наглядно отображается на графике кривизны рельсовых плетей, полученной в диапазоне 6–9 м (рис. 5).

Например, при исходной величине коэффициента $K_{пл.} = 0,2$ (для показанного на рис. 6 графика – в мае при контрольной проверке) величина коэффициента в следующую проверку изменилась до $K_{пл.} = 2,8$ (июнь, рабочая проверка). Согласно действующим критериям оценки, величина $K_{пл.} = 2,8$ (при $V_{уст.} < 140$ км/ч) соответствует нежелательному, а не предостказному состоянию и не требует ограничения скорости, а также проведения работ, связанных с разрядкой температурных напряжений или их регулировкой.

Однако само изменение, равное $\Delta K_{пл.} = K_{пл.(тек.пр.)} - K_{пл.(пред.пр.)} = 2,8 - 0,2 = 2,6$, является существенным и отличается тем, что произо-

шло за короткий промежуток времени, поэтому представляет опасность дальнейшего роста, а также перехода в состояние, которое соответствует предвыбросному, особенно в период повышения температур (рис. 6).

Проведённый на первоначальном этапе статистический анализ отдельных случаев, которые аналогичны вышеприведённому примеру, показывает, что данные изменения, действительно, являются опасными, требуют дополнительного контроля и могут приводить к нарушению безопасности движения поездов [13].

ПРЕДЛОЖЕНИЯ И ВЫВОДЫ

С целью повышения выявляемости таких участков бесстыкового пути предлагается осуществлять определение мест резкого изменения кривизны рельсовых плетей в плане

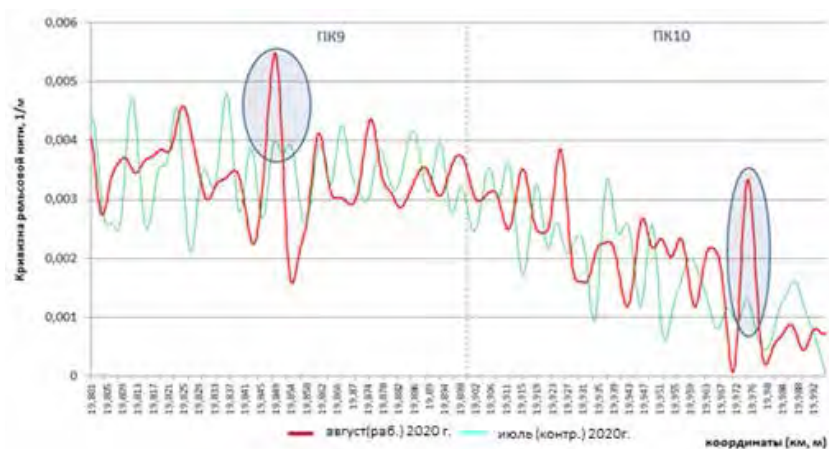


Рис. 5. Пример резкого изменения кривизны рельсовой нити во времени [разработано автором].

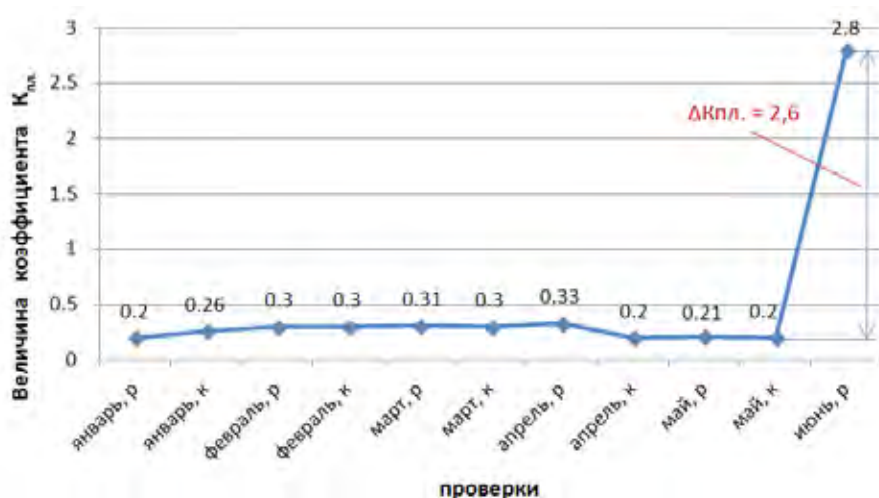


Рис. 6. Пример резкого изменения коэффициента $K_{пл.}$ во времени [разработано автором].

в диапазоне 6–9 м в рамках соседних проверок пути, используя следующую формулу:

$$\Delta K_{пл.} = K_{пл.(тек.пр.)} - K_{пл.(пред.пр.)}, \quad (2)$$

где $K_{пл.(тек.пр.)}$ – величина коэффициента, показывающая степень предотказности за текущую проверку;

$K_{пл.(пред.пр.)}$ – величина коэффициента, показывающая степень предотказности за предыдущую проверку.

Дополнительно предлагается учитывать изменения температуры рельсов, которые были зафиксированы диагностическими средствами в момент измерения кривизны в ходе данных проверок, по формуле:

$$\Delta t_r = t_{r(тек.пр.)} - t_{r(пред.пр.)}, \quad (3)$$

где $t_{r(тек.пр.)}$ – температура рельсов, зафиксированная в момент измерения кривизны за текущую проверку;



Рис. 7. Дерево состояний [разработано автором].





$t_{p(\text{пред.пр.})}$ – температура рельсов, зафиксированная в момент измерения кривизны за предыдущую проверку.

Установление пороговых критериев оценки предлагается выполнить на основе полученных в ходе исследований зависимостей [14]:

$$f(\Delta K_{\text{пл.}}; \Delta t_p), \quad (4)$$

Для ранжирования полученных критериев оценки и принятия управленческих решений целесообразно использовать «дерево состояний» (рис. 7) [15; 16].

Таким образом, использование дополнительных критериев оценки позволит своевременно выявлять участки бесстыкового пути, которые представляют высокую опасность «выброса» по причине резкого изменения состояния в плане, особенно в период повышения температур.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ammann & Gruenewaldt. Längskräfte im Eisenbahngleis. Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure, 2 Februar, 1929, Band 73, Nr. 5, S. 157–161. [Электронный ресурс]: <https://cybra.lodz.pl/dlibra/publication/23279/edition/20029/content>. Доступ 28.11.2022.
2. Овчинников Д. В. Аспекты определения устойчивости бесстыкового пути при воздействии подвижного состава // Наука и образование транспорту. – 2019. – № 2. – С. 155–159. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43073342>. Доступ 28.11.2022.
3. Атапин В. В. Контроль и оценка предотказного состояния бесстыкового пути в плане // Автореферат дисс... канд. техн. наук. – Самара, СамГУПС, 2015. – 22 с. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30417666>. Доступ 28.11.2022.
4. Михалкин И. К., Симаков О. Б., Седелкин Ю. А. [и др.] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018661607 Российская Федерация. Комплексный анализ предотказного состояния бесстыкового пути (КАПС БП): № 2018619108: заявл. 28.08.2018: опубл. 10.09.2018; заявитель Акционерное общество Научно-производственный центр информационных и транспортных систем (АО НПЦ ИНФОТРАНС). [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39302209>. Доступ 28.11.2022.
5. Jianxing, Liu; Zhiye, Liu; Ping Wang; Lei, Kou. Dynamic characteristics of the railway ballast bed under water-rich and low-temperature environments. Engineering Structures, 2021, Vol. 252 (3), 113605. DOI: 10.1016/j.engstruct.2021.113605 [ограниченный доступ].
6. Суслов О. А., Седелкин Ю. А., Атапин В. В. Анализ устойчивости бесстыкового пути по данным современных средств диагностики // Путь и путевое хозяйство. – 2015. – № 11. – С. 22–28. [Электронный ресурс]:

<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25000845> [ограниченный доступ].

7. Nam-Hyoung, Lim; Nam-Hoi, Park; Young, Jong Kang. Stability of continuous welded rail track. Computers & Structures, 2003, Vol. 81 (22–23), pp. 2219–2236. DOI: 10.1016/S0045-7949(03)00287-6 [ограниченный доступ].

8. Атапин В. В., Ершов В. В. Поперечная устойчивость бесстыкового пути и её выходные формы // Вестник транспорта Поволжья. – 2013. – № 2 (38). – С. 80–87. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19423848>. Доступ 28.11.2022.

9. Boronahin, A. M., Filatov, Y. V., Larionov, D. Y. [et al]. Measurement system for railway track condition monitoring. Proceedings of the 2015 IEEE North West Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, ElConRusNW 2015, St. Petersburg, 02–04 февраля 2015 года. – St. Petersburg, 2015, pp. 155–158. DOI: 10.1109/ElConRusNW.2015.7102252 [ограниченный доступ].

10. Аккерман Г. Л., Мыльникова М. А. Организация мониторинга за напряжённым состоянием бесстыкового пути // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2018. – № 2 (38). – С. 50–56. DOI: 10.20291/2079-0392-2018-2-50-56. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35310557>. Доступ 28.11.2022.

11. Аккерман Г. Л., Мыльникова М. А. Контроль температурно-напряжённого состояния рельсовых плетей, выброса, разрыва и угона железнодорожного бесстыкового пути при помощи баллизы // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 1 (33). – С. 28–34. DOI: 10.20291/2079-0392-2017-1-28-34. [Электронная ссылка]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28897304>. Доступ 28.11.2022.

12. Атапин В. В. Методика осреднения кривизны при отступлениях от норм содержания в плане // Транспорт Урала. – 2012. – № 4 (35). – С. 64–68. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18294620>. Доступ 28.11.2022.

13. Boronahin, A. M., Kukaev, A. S., Larionov, D. Y. [et al]. Application of regression analysis for data processing of inertial track monitoring system. Proceedings of the 2016 IEEE North West Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, ElConRusNW 2016, Saint Petersburg, 02–03 февраля 2016 года. – Saint Petersburg, 2016, pp. 151–155. DOI: 10.1109/ElConRusNW.2016.7448142 [ограниченный доступ].

14. Атапин В. В., Атапина Н. А. Управление рисками при оценке состояния бесстыкового пути // Путь и путевое хозяйство. – 2019. – № 5. – С. 20–24. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39246832> [ограниченный доступ].

15. Суслов О. А., Марийчук В. А., Овчинников Д. В. Определение уровня риска сдвига рельсошпальной решётки бесстыкового пути // Вестник транспорта Поволжья. – 2016. – № 6 (60). – С. 41–47. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27722533>. Доступ 28.11.2022.

16. Певзнер В. О., Гринь Е. Н. Совершенствование системы управления техническим обслуживанием пути // Железнодорожный транспорт. – 2021. – № 2. – С. 54–59. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44665922> [ограниченный доступ]. ●

Информация об авторе:

Атапин Виталий Владимирович – кандидат технических наук, директор института автоматизации информационных технологий и строительства, доцент кафедры пути и путевого хозяйства Самарского государственного университета путей сообщения (СамГУПС), Самара, Россия, atapin@samgps.ru.

Статья поступила в редакцию 27.11.2022, одобрена после рецензирования 27.12.2022, принята к публикации 28.12.2022.