

КАРТОЧКА КОНТРОЛЯ ПОПЕРЕЧНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ И ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА БЕССТЫКОВОГО ПУТИ



В.В. АТАПИН, канд. техн. наук, старший инженер НПЦ ИНФОТРАНС,
В.В. ЕРШОВ, докт. техн. наук, главный специалист НПЦ ИНФОТРАНС

В настоящее время на сети ОАО «РЖД» протяженность бесстыкового пути составляет более 70 %. Бесстыковой путь работает во всех природно-климатических условиях и при любых эксплуатационных нагрузках. Более того, на бесстыковом пути реализуется все скоростное и высокоскоростное движение поездов, так как он обеспечивает комфортабельные условия для перевозки пассажиров. Несмотря на все достоинства, данная конструкция имеет один недостаток — температурные напряжения в рельсовых плетях, действующие как при укладке, так и при эксплуатации.

Нарушения, допускаемые при укладке бесстыкового пути и текущем содержании, совместно с воздействием поездной нагрузки и природно-климатических факторов создают условия для роста температурных напряжений в плетях и изменения режима их работы, что, в конечном итоге, может привести к дисбалансу сил, удерживающих и сдвигающих рельсошпальную решетку, т.е. сдвигу или даже выбросу пути.

Ключевую роль в решении данной проблемы играет обеспечение поперечной устойчивости бесстыкового пути, что достигается регулярным контролем за изменением температурного режима плетей [1]. К наиболее очевидным факторам, негативно влияющим на температурное состояние плетей и, соответственно, способным вызвать сдвиг рельсошпальной решетки, относятся:

состояние колеи в плане (неровности в плане);
угол плетей.

Методика контроля за углом плетей и изменениями температурного режима их работы была разработана специалистами ОАО «ВНИИЖТ» и изложена в Технических указаниях по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути (далее ТУ-2000) и в последующей Инструкции по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути (далее ТУ-2012) [2, 3].

Оценка состояния бесстыкового пути в плане до сих пор не имеет единого и достоверного математического алгоритма расчета, а также отсутствуют подходы к определению возможного влияния образу-

ющихся при эксплуатации неровностей в плане на показатели, характеризующие поперечную устойчивость пути и температурный режим работы плетей.

Авторами данной статьи разработана и предложена **методика определения поперечной устойчивости бесстыкового пути [4, 5, 6] на основе мониторинга неровностей рельсовых плетей в плане**, характеризующих температурно-напряженный режим их работы.

Основные преимущества методики:

использование данных автоматизированных средств диагностики (преимущественно вагоны-путеизмерители КВЛ-П), которые непосредственно описывают фактическое состояние пути [7];

возможность оценки различных по протяженности участков пути (рельсовая плеть, ПК, километр, локальный участок);

возможность отслеживания динамики развития показателей, характеризующих поперечную устойчивость бесстыкового пути и температурный режим плетей во времени и др.

Алгоритм разработанной методики включает следующий порядок действий [4].

1. Вычисляем температурный эквивалент, учитывающий накопление неровностей в плане, по формуле

$$\Delta M_{пл} = 9360 K_{эп} (\rho_4 - \rho_{20}) = 9360 K_{эп} \left(\frac{1}{R_4} - \frac{1}{R_{20}} \right), \quad (1)$$

где 9360 — угловой коэффициент;

$K_{эп}$ — коэффициент, зависящий от эпюры шпал; при 1840 шп/км $K_{эп} = 0,92$; при 2000 шп/км $K_{эп} = 1,0$;

ρ_4 — кривизна пути, измеренная и осредненная на длине 4 м, 1/м. Для обоснования данной длины использованы результаты [8, 9] исследований поперечной устойчивости бесстыкового пути венгерских специалистов и методика определения длины хорды с заданной неровностью, реализуемая при работе путеобследовательской станции ЦНИИ-4. Согласно этой методике длина хорды должна превышать длину заданной неровности на 0,2 (20 %) длины неровности $l_{нер-ти}$ с каждой стороны, т.е. в

Таблица 1

Значения длин упругих изгибов рельсошпальной решетки при нагреве

Радиус кривой R , м	600	500	400	300	Средние значения
Длина хорды изгиба неровности $l_{\text{нер-ти}}$, м	3,16	3,12	2,95	2,68	2,98
Длина хорды (осреднения) $L_{\text{хорды}} = 1,4l_{\text{нер-ти}}$, м	4,42	4,37	4,13	3,75	4,17 \approx 4

сумме $L_{\text{хорды}} = 1,4l_{\text{нер-ти}}$ (табл. 1).

ρ_{20} — кривизна пути, измеренная и осредненная на длине 20 м, 1/м. В основе обоснования данной длины лежит ряд проведенных авторами экспериментов, позволяющих сделать вывод о том, что наиболее точно начальное напряженное состояние пути проявляется на длине, равной 20 м [4, 8, 9];

R_4 — локальный радиус кривой, полученный по кривизне, измеренной и осредненной на длине 4 м и характеризующий потерю поперечной устойчивости рельсошпальной решетки в процессе накопления остаточных неровностей бесстыкового пути в плане, м;

R_{20} — средний радиус кривой, полученный по кривизне, измеренной и осредненной на длине 20 м, и характеризующий процесс формирования начального напряженного состояния пути, м.

2. Определяем минимальную расчетную температуру закрепления рельсовой плети mint_3 по формуле

$$\text{mint}_3 = t_{\text{max max}} - [\Delta t_y]. \quad (2)$$

3. Находим измененную минимальную расчетную температуру закрепления плети с учетом $\Delta t_{\text{пл}}$ по формуле

$$\text{mint}'_3 = t_{\text{max max}} - ([\Delta t_y] - \Delta t_{\text{пл}}). \quad (3)$$

4. Проверяем условие устойчивости, исходя из неравенства:

$$t_3 \geq \text{mint}_{3,\text{опт}} \quad (\text{по нормам ТУ-2012}); \quad (4)$$

$$t_3 \geq \text{mint}'_3 \quad (\text{по нормам ТУ-2000}). \quad (4a)$$

5. Определяем температурный резерв для сохранения условия поперечной устойчивости бесстыкового пути по формулам:

$$\Delta \Delta t_{\text{пл}} = t_3 - \text{mint}_{3,\text{опт}} \quad (\text{по нормам ТУ-2012}); \quad (5)$$

$$\Delta \Delta t_{\text{пл}} = t_3 - \text{mint}'_3 \quad (\text{по нормам ТУ-2000}). \quad (5a)$$

6. Вычисляем коэффициенты поперечной устойчивости бесстыкового пути в сечениях с различной нагрузкой по формулам:

$$K_{y-i} = \frac{\rho_{\text{р.шп}} f_{\text{ш}}}{\alpha E F'' \Delta t_{\text{ож}} \frac{l_{\text{ш}}}{R_{20}}}; \quad (6)$$

$$K_{y-i} = \frac{\rho_{\text{р.шп}} f_{\text{ш}}}{\alpha E F'' \Delta t_{\text{ож}} \frac{l_{\text{ш}}}{R_4}}; \quad (7)$$

где $\rho_{\text{р.шп}}$ — масса рельсошпальной решетки, приходящаяся на одну шпалу, кН/шп ($\rho_{\text{р.шп}} = 3,66$ кН/шп) [10];

$f_{\text{ш}}$ — коэффициент трения шпал о балласт; $f_{\text{ш}} = 0,45$ — без учета вибрации, $f_{\text{ш.виб}} = 0,37$ — с учетом вибрации [10];

α — коэффициент линейного расширения рельсовой стали, 1/град ($\alpha = 0,000118$ 1/град);

E — модуль упругости рельсовой стали, кН/см² ($E = 2,1 \cdot 10^4$ кН/см²);

F'' — площадь поперечного сечения двух рельсов, см² ($F'' = 165,13$ см²);

$\Delta t_{\text{ож}}$ — ожидаемое превышение температур плетей относительно первоначальной температуры закрепления, °С;

$l_{\text{ш}}$ — расстояние между осями шпал, м ($l_{\text{ш}} = 0,5$ м при $R \leq 1200$ м и $l_{\text{ш}} = 0,55$ м при $R > 1200$ м).

7. Находим интенсивность изменения температурного эквивалента, учитывающего накопление неровностей в плане, во времени по формуле [4]

$$\Delta \Delta t_{\text{пл}}^\lambda = \frac{\Delta t_{\text{пл(тек.п)}} - \Delta t_{\text{пл(пред.п)}}}{n}, \quad (8)$$

где $\Delta t_{\text{пл(тек.п)}}$ — температурный эквивалент влияния неровностей в плане за текущую проверку, °С;

$\Delta t_{\text{пл(пред.п)}}$ — температурный эквивалент влияния неровностей в плане за предыдущую проверку, °С;

n — периодичность (разность) между проверками диагностического средства. При разности между проверками в две недели, $n = 0,5$, при разности в один месяц, $n = 1$ и т.д.

Алгоритм методики позволяет на основе данных средств диагностики получать показатели поперечной устойчивости бесстыкового пути на участках различной протяженности и выявлять места, представляющие наибольшую опасность в части нарушения поперечной устойчивости рельсошпальной решетки.

Для удобства анализа напряженного состояния рельсовых плетей при изменяющихся неровностях в плане, а также отслеживания динамики их изменения, разработана выходная форма — **карточка контроля поперечной устойчивости и температурного режима бесстыкового пути** [11].

Рассмотрим пример карточки контроля кривого участка пути ($R = 633$ м), эксплуатируемого на перегоне Патрикеево—Барыш (2 путь). Карточка составлена на основе данных проезда вагона-путеизмерителя КВЛ-П2.1 от 21 августа 2015 г.

Карточка состоит из табличной и графической форм данных, отражающих фактическое состояние бесстыкового пути и риск нарушения поперечной устойчивости при нарастающих неровностях в плане.

В табличной форме (табл. 2) приведены паспортные характеристики анализируемого участка пути (ПЧ, название перегона, № пути и др.), включая све-

Карточка контроля поперечной устойчивости бесстыкового пути и температурного режима рельсовых плетей

Дорога: Куйбышевская

Тип и номер вагона-путеизмерителя: КВЛ-П2.1 (ПС-015)				Карточка от 18.03.2016 г.				Проезд от 21.08.2015 г.					
Участок: Патрикеево-Барыш				Направление: Инза-Новообразцовое				Путь: 2		Км: 776-777		ПЧ: 21	
Характеристики кривой					Параметры устойчивости, относящиеся к кривой								
Начало		Конец		Длина, м	Плеть			$t_{\max \max}, ^\circ\text{C}$	$[\Delta t_y], ^\circ\text{C}$	$\Delta t_{\text{ок}}, ^\circ\text{C}$	$t_3, ^\circ\text{C}$	$t_{3. \text{опт}}, ^\circ\text{C}$	$\min t_3, ^\circ\text{C}$
км	м	км	м		начало	конец	№ (ст.)						
776	521	777	347	832	776 ПК 1+96	776 ПК 6+24	№ 9 (Л)	59	44	34	25	30 ± 5	15
					776 ПК 6+36	777 ПК 2+95	№ 10 (Л)	59	44	29	30	30 ± 5	15
					777 ПК 3+07	777 ПК 8+94	№ 11 (Л)	59	44	34	25	30 ± 5	15
Характеристики круговой кривой					Характеристики переходных кривых								
Начало		Конец		Длина, м	$R_n, \text{м}$	$R(f_{\text{ср}}), \text{м}$	Начало		Конец		Длина, м		
км	м	км	м				км	м	км	м			
776	626	777	244	624	633	636	776	521	776	626	105		
							777	244	777	347	103		
Показатели поперечной устойчивости круговой кривой при возникающих неровностях в плане													
Км	ПК	м	Факт. радиус, м, измеренный на длине 20 и 4 м		Темп. эквивалент $\Delta t_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$	Измен. мин. темп. закреп. $\min t_3, ^\circ\text{C}$	Резерв темп-р. $\Delta \Delta t_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$	Коэффициент устойчивости K_y		Интенсивность изменения темп. экв-та $\Delta \Delta t_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}/\text{период}$			
			R_{20}	R_4				R_{20}	R_4				
776	7	627	636	407	8,3	23,3	6,7	1,77	1,13	1,4			
	8	719	641	464	5,6	20,6	9,4	1,78	1,29	0,9			
	9	815	639	478	4,9	19,9	10,1	1,77	1,33	0,5			
	10	934	645	426	7,5	22,5	7,5	1,79	1,18	0,6			
777	1	28	645	530	3,1	18,1	11,9	1,79	1,47	0,3			
	2	136	645	494	4,4	19,4	10,6	1,79	1,37	0,4			
	3	224	647	538	2,9	17,9	7,1	1,80	1,49	0,8			

дения о прямых, круговых и переходных кривых, а также данные по рельсовым плетям, входящим в состав анализируемого участка: координаты плетей, их номера, t_3 , $t_{3. \text{опт}}$, $t_{\max \max}$, $\min t_3$ и др.

Главное, что содержит табличная часть карточки — показатели поперечной устойчивости бесстыкового пути, которые формируются по вышеприведенной методике и характеризуют состояние каждого пикета в пределах анализируемого участка. Все показатели отражают фактическое состояние бесстыкового пути в плане и служат «помощниками» для принятия обоснованных управленческих решений.

Графическая часть (оборот карточки) представляет собой наглядную картину напряженного состояния пути, где видны места, вызывающие риск нарушения поперечной устойчивости рельсошпальной решетки. Она включает графики мгновенной (локальной) кривизны пути (рис. 1), получаемой диагностическим средством, кривизны (радиуса), которая отражает начальное (базовое) напряженное состояние участка

(R_{20}) и кривизны (радиуса), которая отражает потерю несущей поперечной устойчивости в процессе накопления остаточных неровностей в плане (R_4). Места, представляющие риск нарушения поперечной устойчивости, на графиках отмечены кружочком (рис. 2).

Графическая часть на обороте карточки содержит также температурный график работы рельсовых плетей

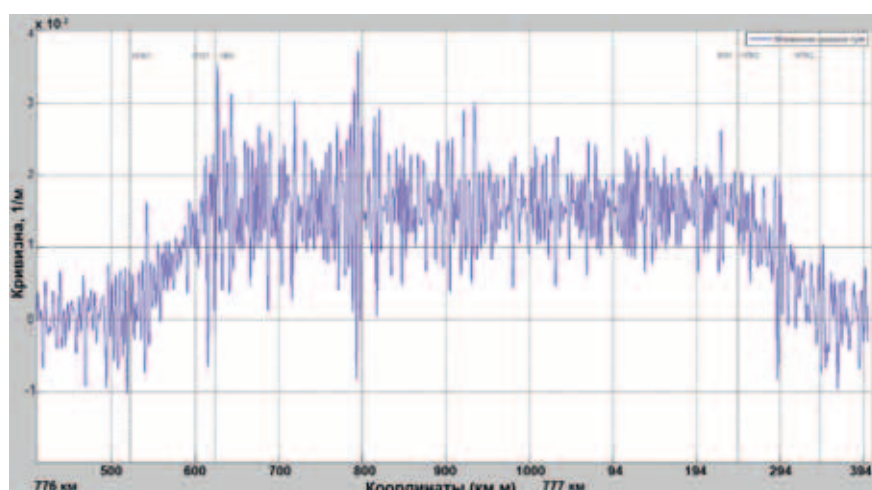


Рис. 1. График мгновенной (локальной) кривизны

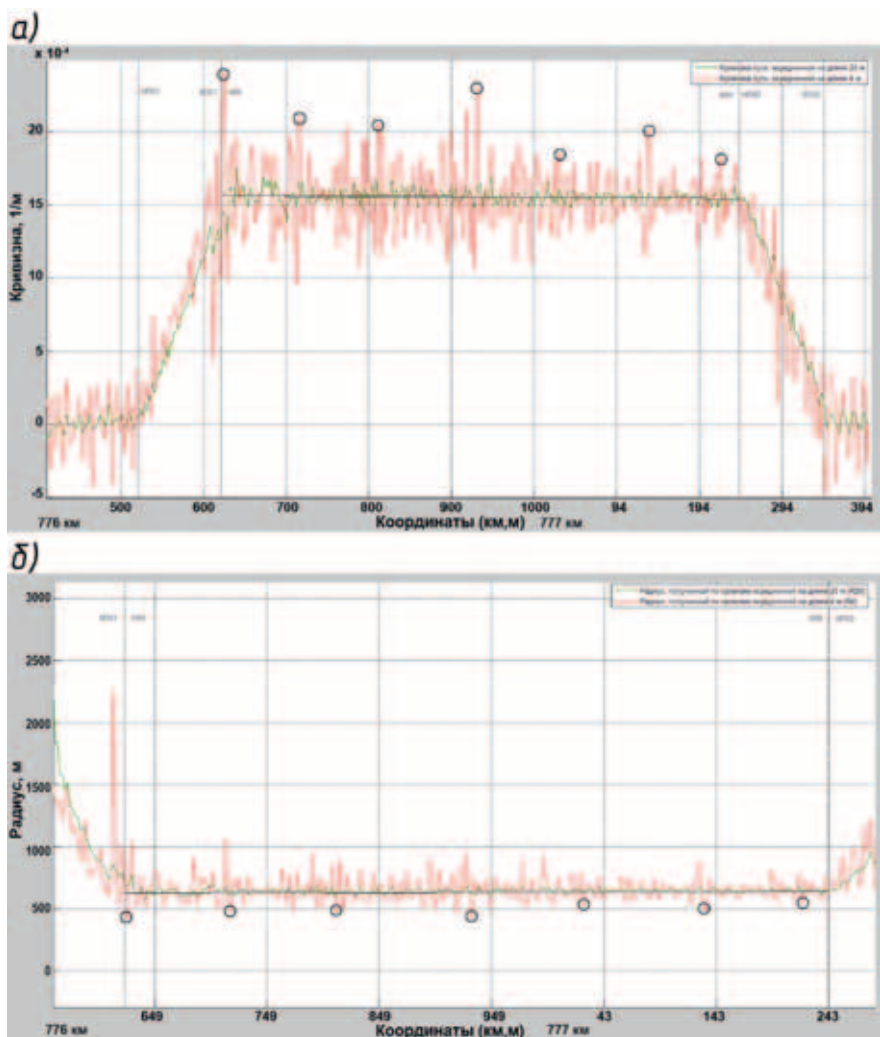


Рис. 2. Графики фактической кривизны (а) и радиуса (б) кривой с обозначением мест (кружочки), представляющих риск нарушения поперечной устойчивости бесстыкового пути при возникающих неровностях в плане: зеленым — на длине 20 м (базовое состояние кривой); красным — на длине 4 м (напряженное состояние кривой из-за накопления неровностей в плане)

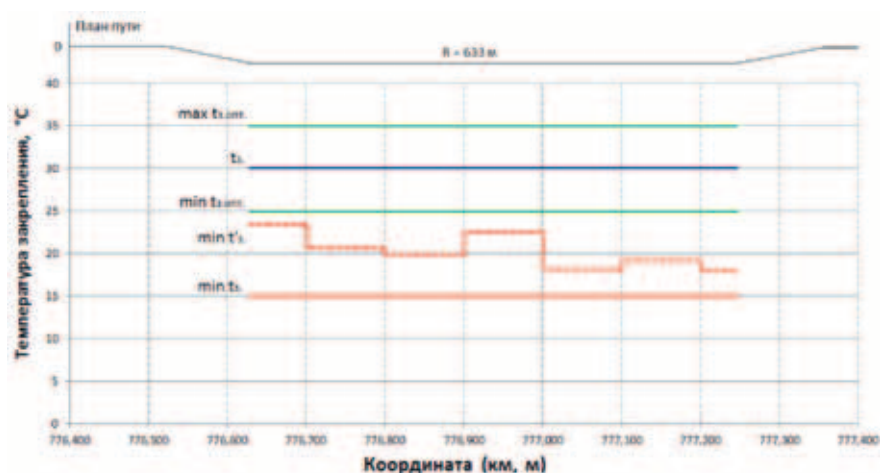


Рис. 3. Температурный график работы рельсовых плетей в кривом участке пути при возникающих неровностях в плане

тей на анализируемом участке, который показывает динамику изменения минимальной температуры закрепления с учетом возникающих неровностей в плане, а также оставшийся температурный резерв для сохранения условия поперечной устойчивости.

На приведенном примере (рис. 3) видно, что наименьшее значение резерва температур обнаружено на 776 км ПК7 (627 м) и составляет $\Delta t_{пл} = 6,7 \text{ } ^\circ\text{C}$, что говорит о выполнении условия поперечной устойчивости ($t_3 \geq \min t'_3$; $30 \text{ } ^\circ\text{C} \geq 23,3 \text{ } ^\circ\text{C}$), но создает дополнительный риск его нарушения, особенно в период действия интенсивной поездной нагрузки и повышения температур. При более детальном анализе графиков можно установить, что столь малая величина температурного резерва вызвана изменением радиуса R_4 (локальный радиус) на 776 км ПК7 (627 м), величина которого составляет $R_4 = 407 \text{ м}$, $R_{20} = 636 \text{ м}$, а величина температурного эквивалента равна $\Delta t_{пл} = 8,3 \text{ } ^\circ\text{C}$, тогда как по результатам предыдущей проверки $R_4 = 433 \text{ м}$, $R_{20} = 636 \text{ м}$, а $\Delta t_{пл} = 6,9 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Таким образом величина интенсивности изменения температурного эквивалента $\Delta \Delta t_{пл} = 1,4 \text{ } ^\circ\text{C/период}$, что дает основание говорить о росте кривизны пути в плане на данном пикете, выраженном в изменении температурного эквивалента.

На основании приведенного примера можно сделать вывод о том, что разработанная карточка позволяет проводить регулярный анализ состояния абсолютно любого по протяженности участка бесстыкового пути в плане, в результате которого выявляются локальные места, где возможна потеря несущей поперечной устойчивости рельсошпальной решетки.

Структура данных в карточке дает возможность формировать показатели, которые характеризуют текущее состояние данного участка бесстыкового пути, и при эксплуатации накапливать, хранить и отслеживать динамику их развития с целью прогнозирования устойчивости рельсошпаль-

ной решетки на ближнюю и дальнюю перспективу.

Карточка предполагается для использования в следующих структурных подразделениях ОАО «РЖД»: сектор бесстыкового пути;

дистанция пути;

Центр диагностики и мониторинга устройств инфраструктуры;

Центр управления содержанием инфраструктуры и др.

Внедрение карточки в указанных выше подразделениях позволит не только диагностировать опасные участки, где возможно нарушение поперечной устойчивости бесстыкового пути, но и решать целый ряд сопутствующих задач:

1) выявлять участки пути с постоянным ростом кривизны, что говорит о накоплении остаточных неровностей в плане;

2) отслеживать динамику развития показателей, характеризующих состояние бесстыкового пути в плане;

3) осуществлять контроль температурного режима плетей;

4) определять участки пути с недостаточным температурным резервом;

5) оценивать возможные риски потери поперечной устойчивости бесстыкового пути с целью недопущения случаев нарушения безопасности движения поездов.

В дальнейшем следует продолжить совершенствование карточки мониторинга изменения поперечной устойчивости бесстыкового пути и температурного режима плетей во времени, чтобы она включала оценку каждого анализируемого участка с рекомендациями по предупреждающим действиям и мероприятиям текущего содержания в зависимости от степени риска.

Список источников

1. Ершов В.В., Атапин В.В. О выборе температуры закрепления рельсовых плетей // Путь и путевое хозяйство. 2015. № 6.

2. Технические указания по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути. — М.: Транспорт, 2000.

3. Инструкция по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути, утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» № 2788 р от 29 декабря 2012 г.

4. Атапин В.В. Контроль и оценка предотказного состояния бесстыкового пути в плане / Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.22.06. — СПб, 2015.

5. Атапин В.В. Методика оценки условий и резерва поперечной устойчивости в кривых участках бесстыкового пути при отступлении от норм содержания в плане // Вестник транспорта Поволжья. 2012. № 1.

6. Ершов В.В., Атапин В.В. Исследование влияния отступлений от норм содержания в плане на поперечную устойчивость бесстыкового пути / Труды международной научно-практической конференции «Транспорт—2013». — Ростов-на-Дону: ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный университет путей сообщения», 2013.

7. Суслов О.А., Седелкин Ю.А., Атапин В.В. Анализ устойчивости бесстыкового пути по данным современных средств диагностики // Путь и путевое хозяйство. 2015. № 11.

8. Ершов В.В., Атапин В.В. Методика осреднения кривизны при определении радиусов круговых кривых // Вестник транспорта Поволжья. 2012. № 5.

9. Атапин В.В. Исследование изменения радиусов кривых, полученных при различных длинах осреднения / Вестник СамГУПС. 2013. Вып. 2(20).

10. Ершов В.В. Устойчивость бесстыкового пути с учетом воздействия поездов и разработка технологий по ее обеспечению / Диссертация на соискание ученой степени доктора техн. наук: 05.22.06. — М., 2003.

11. Атапин В.В., Ершов В.В. Поперечная устойчивость бесстыкового пути и ее выходные формы // Вестник транспорта Поволжья. 2013. № 2.

КАРТОЧКА КОНТРОЛЯ ПОПЕРЕЧНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ И ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА БЕССТЫКОВОГО ПУТИ

Ключевые слова: бесстыковой путь, поперечная устойчивость, неровности в плане, карточка, температурный режим работы, рельсовая плеть, кривизна, средства диагностики, сдвиг пути.

Атапин Виталий Владимирович — канд. техн. наук, старший инженер НПЦ ИНФОТРАНС, преподаватель кафедры «Путь и строительство железных дорог» СамГУПС.
E-mail: vitalap88@rambler.ru

Ершов Валентин Васильевич — докт. техн. наук, главный специалист НПЦ ИНФОТРАНС, профессор кафедры «Путь и строительство железных дорог» СамГУПС.
E-mail: ershov_valentin@rambler.ru

Аннотация. В данной статье приведена методика определения условий и показателей поперечной устойчивости, которая позволяет осуществлять контроль и анализ за состоянием различных участков бесстыкового пути в плане. Описаны основные преимущества разработанной методики и алгоритм ее реализации. Разработана выходная форма — карточка контроля за поперечной устойчивостью и температурным режимом работы рельсовых плетей, предназначенная для удобства проведения анализа за состоянием рельсовых плетей бесстыкового пути при возникающих неровностях в плане, а также отслеживанием динамики его изменения.

CARD OF CONTROL FOR TRANSVERSE STABILITY AND SERVICE TEMPERATURE OF CONTINUOUS WELDED RAILS

Keywords: continuous welded rails, transverse stability, chatter mark in plane, card, service temperature, rail bar, curvature, diagnostic tools, shift of the track.

Atapin Vitaliy Vladimirovich — Ph.D, senior engineer INFOTRANS, lecturer of department «Rail and railway construction» Samara State Transport University, e-mail: vitalap88@rambler.ru

Ershev Valentin Vasilievich — D.Sci, chief specialist INFOTRANS, professor of department «Rail and railway construction» Samara State Transport University, e-mail: ershov_valentin@rambler.ru

Abstract. This article describes the method of definition of the conditions and indicators of transverse stability, which allows to control and analyze the condition of various parts of continuous welded rails in the plan. The main advantages of the given method and algorithm of its realization have been described. The final form has been developed: the card of control for transverse stability and service temperature of rail bar, which has been designed for the convenience in the realization of analysis of the continuous welded rails condition in case of chatter mark in plane, as well as for tracking of its dynamic change.