

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

ИНСТИТУТ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ
И ПЕРЕПОДГОТОВКИ РУКОВОДИТЕЛЕЙ И СПЕЦИАЛИСТОВ
ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Кафедра «Строительство и эксплуатация дорог»

В. И. МАТВЕЦОВ, А. А. КЕБИКОВ,
Н. Е. МИРОШНИКОВ

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ **ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ**

Учебно-методическое пособие

Гомель 2013

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»
ИНСТИТУТ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ
И ПЕРЕПОДГОТОВКИ РУКОВОДИТЕЛЕЙ И СПЕЦИАЛИСТОВ
ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Кафедра «Строительство и эксплуатация дорог»

В. И. МАТВЕЦОВ, А. А. КЕБИКОВ,
Н. Е. МИРОШНИКОВ

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

*Одобрено методическими комиссиями
строительного и заочного факультетов
в качестве учебно-методического пособия
для студентов специальности 1–37 02 05
«Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство»*

Гомель 2013

УДК 625.143(075.8)
ББК 39.211-08
М33

Рецензент: начальник отдела пути, СЦБ и связи Гомельского отделения
Белорусской железной дороги *Ю. В. Мищук*

Матвеев, В. И.

М33 Анализ надежности работы железнодорожного пути : учеб.-метод.
пособие / В. И. Матвеев, А. А. Кебикив, Н. Е. Мирошников ; М-во
образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель :
БелГУТ, 2013. – 56 с.
ISBN 978-985-554-059-6

Изложены основы прогнозирования надежности работы звеньев и
бесстыкового железнодорожного пути. Определены условия эксплуатации и
режимы работы 25-метровых рельсов. Представлена методика контроля за тем-
пературным режимом работы рельсовых плетей бесстыкового пути.

Предназначено для студентов дневной и заочной форм обучения специаль-
ности 1–37 02 05 «Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйст-
во», слушателей Института повышения квалификации и переподготовки ру-
ководителей и специалистов транспортного комплекса Республики Бела-
русь, а также может быть полезно инженерно-техническим работникам пу-
тевого хозяйства.

УДК 625.143(075.8)
ББК 39.211-08

ISBN 978-985-554-059-6

© Матвеев В. И., Кебикив А. А.,
Мирошников Н. Е, 2013
© Оформление. УО “БелГУТ”, 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕЖИМА РАБОТЫ 25-МЕТРОВЫХ РЕЛЬСОВ	6
1.1 Общие положения	6
1.2 Определение допустимых годовых температурных амплитуд	8
1.3 Определение нормальных стыковых зазоров	12
1.4 Построение и анализ графиков изменения стыковых зазоров	14
1.5 Определение сжимающих и растягивающих температурных сил	16
1.6 Влияние ошибки при установке зазоров	22
1.7 Определение суммарных сжимающих и растягивающих температурных сил ..	26
1.8 Пример определения условий эксплуатации и режима работы 25-метровых рельсов для Гомельской дистанции пути	26
1.8.1 Исходные данные	26
1.8.2 Определение годовой температурной амплитуды, позволяющей эксплуатировать 25-метровые рельсы без сезонных разгонок и регулировок стыковых зазоров	27
1.8.3 Построение частной таблицы стыковых зазоров для Гомельской дистанции пути	28
1.8.4 Построение графиков изменения стыковых зазоров для Гомельской дистанции пути	28
1.8.5 Определение сжимающих и растягивающих температурных сил для Гомельской дистанции пути	32
1.8.6 Расчет влияния ошибки при установке зазоров	34
2 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ СТЫКОВЫХ ЗАЗОРОВ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЗВЕНЬЕВОГО ПУТИ	35
2.1 Общие сведения	35
2.2 Анализ состояния стыковых зазоров	35
2.3 Определение и построение поикетных фактических сжимающих перепадов температур	37
2.4 Построение графика максимальных стыковых зазоров	39
2.5 Анализ надежности работы звеньевого пути	40
2.6 Пример анализа состояния стыковых зазоров	40
2.6.1 Исходные данные	40
2.6.2 Анализ состояния стыковых зазоров на заданном участке	40
2.6.3 Определение и построение поикетных фактических сжимающих перепадов температур для заданного участка пути	42
2.6.4 Построение графика максимально возможных стыковых зазоров для заданного участка пути	43
3 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЕЙ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ	46
3.1 Общие сведения	46
3.2 Порядок разбивки створов	46

3.3	Определение дополнительных сил от угона пути	48
3.4	Определение допускаемых величин угона	50
3.5	Анализ надежности работы рельсовых плетей	51
3.6	Пример прогнозирования надежности работы рельсовых плетей для Гомельской дистанции пути	52
3.6.1	Исходные данные	52
3.6.2	Определение допускаемых величин угона по устойчивости для Гомельской дистанции пути	52
3.6.3	Прогнозирование надежности работы бесстыкового пути	53
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ		54
Приложение А Содержание учебного материала дисциплины «Правила технической эксплуатации и безопасность движения поездов ...		55

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы наметилась тенденция к постоянному увеличению длины рельсов. Однако, несмотря на широкое распространение и неоспоримые преимущества бесстыкового пути, звеньевой путь с 25-метровыми рельсами еще долгое время будет лежать и эксплуатироваться на Белорусской железной дороге. В связи с этим изучение вопросов содержания как бесстыкового, так и звеньевого пути является необходимым звеном в подготовке специалистов железнодорожного транспорта.

В своей практической деятельности работникам путевого хозяйства для обеспечения безопасного движения поездов по железнодорожному пути приходится решать много задач. Температурные и динамические силы от колес подвижного состава являются причиной угона пути, в результате которого возникают дополнительные сжимающие или растягивающие силы, осложняющие эксплуатацию железнодорожного пути и создающие опасность выброса пути летом, разрыва стыка или рельсовой плети зимой. Однако указанные дополнительные силы не всегда нарушают устойчивость или прочность пути. Это зависит от конструкции пути, условий укладки рельсов, величины ошибки при установке стыковых зазоров в момент укладки, отступлений фактических зазоров от рекомендуемых, температуры закрепления рельсовых плетей и т.д. Линейные работники должны знать температурную работу железнодорожного пути, уметь определять возможность дальнейшей нормальной эксплуатации пути с максимально допускаемыми скоростями движения, а также необходимость проведения специальных мер или выполнения неотложных работ при экстремальных температурах.

Изложение материала в данном пособии предполагает знание студентами основных теоретических основ и положений по вопросам эксплуатации железнодорожного пути. Поэтому, приступая к анализу и прогнозированию состояния железнодорожного пути, студент наряду с использованием нормативных и руководящих материалов должен обновить в памяти соответствующие разделы учебной программы, четко представлять себе основы температурной работы железнодорожного пути.

Авторы с благодарностью примут все предложения и пожелания по улучшению содержания и оформления данного учебно-методического пособия.

1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕЖИМА РАБОТЫ 25-МЕТРОВЫХ РЕЛЬСОВ

1.1 Общие положения

Анализ работы 25-метровых рельсов различных типов на прямых и в кривых позволил установить, что с учетом всего многообразия факторов звеньевой путь можно эксплуатировать с сезонной разгонкой и регулировкой стыковых зазоров и без нее [1]. Сезонная разгонка и регулировка стыковых зазоров является трудоемкой дополнительной работой и допускается только в исключительных случаях, когда использованы все другие меры, а надежная работа 25-метровых рельсов не обеспечивается в летних или зимних условиях, т. к. создается угроза выброса пути или среза болтов и разрыва стыков.

В зависимости от климатических условий **25-метровые рельсы могут эксплуатироваться в одном из следующих режимов:**

- *без сезонной разгонки и регулировки стыковых зазоров, не допуская изгиба стыковых болтов в момент наступления минимальных расчетных или близких к ним температур.* Такие условия эксплуатации можно обеспечить в зависимости от плана линии и конструкции верхнего строения пути при годовых амплитудах колебания температуры рельсов, не превышающих, в основном, 90 °С;

- *без сезонной регулировки стыковых зазоров за счет включения в работу на изгиб стыковых болтов на протяжении 7 и 14 °С.* При этом включение стыковых болтов на 14-градусный изгиб допускается в исключительных случаях с разрешения начальника службы пути после соответствующего технико-экономического обоснования. Такие условия эксплуатации 25-метровых рельсов обеспечиваются в районах, где годовые температурные амплитуды не превышают 110 °С;

- *с сезонной (весной и осенью) регулировкой стыковых зазоров, особенно в кривых участках пути, с укладкой соответственно укороченных или удлиненных рельсов и последующей их заменой на стандартные.* Такие условия эксплуатации 25-метровых рельсов обеспечиваются в районах с особо суровыми климатическими условиями, где годовые температурные амплитуды превышают 110 °С.

Включение стыковых болтов в работу на изгиб не может решить полностью проблем эксплуатации 25-метровых рельсов без сезонной разгонки и регулировки стыковых зазоров, особенно в кривых малого радиуса. Это является вынужденной мерой и предназначается для существенного снижения объема неотложных работ.

Изменение длины свободнолежащих рельсов ограничивается конструктивными размерами зазоров между ними, которые зависят от диаметра болтов и болтовых отверстий в накладках и концах рельсов. На Белорусской железной дороге принят конструктивный стыковой зазор 21 мм. Соглас-

но СТП 09150.56.010-2005 по условию предупреждения изгиба или среза стыковых болтов при низких температурах зазоры в стыках рельсов длиной 25 м не должны превышать 23 мм.

Годовая амплитуда колебания температуры рельсов на Белорусской железной дороге колеблется от 91 до 98 °С (таблица 1.1). Максимальная расчетная температура рельсов изменяется от 55 до 58 °С, а минимальная расчетная температура – от минус 35 до минус 42 °С. Конструктивного зазора в условиях Беларуси явно недостаточно для компенсации годовых изменений 25-метровых рельсов, которые превышают 27–29 мм. Поэтому для обеспечения нормальной работы звеньевое пути, наряду с торцевым давлением, приходится включать в работу на изгиб стыковые болты.

Таблица 1.1 – Расчетные температуры рельсов

Железнодорожная станция	Температура рельсов, °С		Расчетная температурная амплитуда, °С
	летняя t_{\max}	зимняя t_{\min}	
Белорусская железная дорога			
1 Барановичи	+56	-37	93
2 Бобруйск	+56	-37	93
3 Борисов	+56	-41	97
4 Брест	+57	-36	93
5 Витебск	+56	-41	97
6 Волковыск	+56	-38	94
7 Гомель	+57	-35	92
8 Гродно	+56	-35	91
9 Житковичи	+58	-36	94
10 Жлобин	+56	-36	92
11 Калинковичи	+58	-36	94
12 Кричев	+56	-39	95
13 Минск	+55	-39	94
14 Могилев	+56	-42	98
15 Молодечно	+55	-39	94
16 Орша	+56	-39	95
17 Осиповичи	+56	-37	93
18 Пинск	+56	-35	91
19 Полоцк	+56	-39	95
20 Слуцк	+55	-36	91
Железные дороги сопредельных стран			
21 Борзя	+60	-54	114
22 Иркутск	+56	-50	106
23 Калуга	+58	-45	103
24 Керчь	+57	-26	83
25 Киев	+59	-32	91
26 Москва	+58	-42	100
27 Новозыбков	+57	-37	94
28 Одесса	+57	-28	85
30 Симферополь	+60	-29	89
31 Тында	+56	-54	110

Необходимо отметить, что устойчивость пути в кривых участках пути малого радиуса почти в 2,5 раза ниже, чем на прямых при всех прочих равных условиях. Существующие требования по определению зазоров, укладке и текущему содержанию 25-метровых рельсов не учитывают особенностей условий их работы и не всегда обеспечивают надежность работы звеньевго пути и безопасность движения поездов.

1.2 Определение допускаемых годовых температурных амплитуд

Допускаемая температурная амплитуда, позволяющая эксплуатировать 25-метровые рельсы без сезонной регулировки стыковых зазоров, в общем случае определяется по формуле

$$[T] = \Delta t_{\text{св}} + \Delta t_R + \Delta t_{\text{пог}} + \Delta t_y + \Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{доп}}, \quad (1.1)$$

где $\Delta t_{\text{св}}$ – перепад температуры рельса, °С, необходимый для изменения длины свободнолежащего рельса на конструктивную величину стыкового зазора λ_k ;

Δt_R – перепад температуры рельса, °С, необходимый для преодоления сил трения рельса в накладках или стыкового сопротивления;

$\Delta t_{\text{пог}}$ – перепад температуры рельса, °С, необходимый для преодоления сил погонного сопротивления, вызываемого трением рельса о подкладку, костыли и противоугоны. При костыльном скреплении $\Delta t_{\text{пог}}$ ничтожно мал и с достаточной для практических расчетов точностью им можно пренебречь;

Δt_y – изменение температуры рельсов, °С, допускаемое по условию поперечной устойчивости пути при слитых зазорах;

$\Delta t_{\text{б}}$ – изменение температуры рельсов, °С, допускаемое по условию прочности стыковых болтов после раскрытия стыковых зазоров до конструктивного значения;

$\Delta t_{\text{доп}}$ – перепад температуры, °С, учитывающий допуск на содержание среднего зазора на пикете минус 2 мм, равный 7 °С.

Перепад температуры, необходимый для изменения длины свободнолежащего рельса на конструктивную величину стыкового зазора,

$$\Delta t_{\text{св}} = \frac{\lambda_k}{\alpha l}, \quad (1.2)$$

где λ_k – конструктивный стыковой зазор, мм;

α – коэффициент линейного расширения рельсовой стали, равный 0,0000118 1/°С;

l – длина рельса, мм.

Номинальные размеры конструктивных зазоров для рельсов типа Р50 равны 21 мм [3], а для рельсов типа Р65 и Р75 при накладках, расстояние в которых между центрами болтовых отверстий составляет 202 мм [4], конструктивный зазор равен 23 мм. При накладках, в которых расстояние между

центрами болтовых отверстий составляет 200 мм, конструктивный зазор составляет 21 мм.

Перепад температуры для изменения длины 25-метрового рельса на величину конструктивного стыкового зазора, равного 21 мм, составляет 71 °С, а для стыкового зазора величиной 23 мм указанный перепад составляет 78 °С [1].

Перепад температуры на преодоление стыкового сопротивления определяется по формуле

$$\Delta t_R = \frac{R}{6EF}, \quad (1.3)$$

где R – величина стыкового сопротивления, Н;

E – модуль упругости рельсовой стали, $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа = $2,1 \cdot 10^{11}$ Па;

F – площадь поперечного сечения рельса, м² (для новых рельсов типа Р50 – $65,99 \cdot 10^{-4}$ м², Р65 – $82,65 \cdot 10^{-4}$ м² и Р75 – $95,04 \cdot 10^{-4}$ м²).

В зависимости от состояния соприкасающихся поверхностей накладок и рельсов и особенно от затяжки стыковых болтов стыковое сопротивление изменяется в широких пределах и, как правило, меньше расчетных величин. Согласно рекомендациям НИИЖТа для практических расчетов в зависимости от конструкции пути принимаются значения стыковых сопротивлений, приведенные в таблице 1.2. Здесь же приведены перепады температур, необходимых для преодоления сопротивления трения накладок или стыкового сопротивления.

Таблица 1.2 – Перепады температур на преодоление стыкового сопротивления

Тип рельсов	Количество отверстий в накладке	Стыковое сопротивление R , кН	Изменение температуры, необходимое для преодоления стыкового сопротивления Δt_R , °С
Р50	6	120	7
Р65	6	160	8
Р65	4	100	5
Р75	6	160	7
Р75	4	100	4

Допускаемые изменения температуры рельсов t_y по условию устойчивости звеньев пути на щебеночном балласте и деревянных шпалах с 25-метровыми рельсами после закрытия зазоров зависит от конструкции пути и плана линии и принимается по таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Допускаемые изменения температуры рельсов по условию устойчивости звеньев пути

Тип рельсов	Изменения температуры Δt_y , °С, допускаемые по условию устойчивости, в зависимости от плана линии								
	прямая	радиус кривой, м							
		1200	1000	800	600	500	400	350	300
Р50	45	43	41	39	35	32	27	24	19
Р65, Р75	38	36	35	33	30	27	23	20	16

В зависимости от конструкции пути, качества отдельных его элементов, качества укладки и содержания рельсов, а также с учетом плана линии расчетные допускаемые амплитуды годовых колебаний температуры изменяются в широком диапазоне. Допускаемые температурные амплитуды, обеспечивающие эксплуатацию 25-метровых рельсов без сезонной регулировки стыковых зазоров, определенные по формуле (1.1), для различных конструкций пути и плана линии приведены в таблице 1.4. Во всех рассмотренных вариантах принято полное использование допускаемого по устойчивости нажатия торцов рельсов в момент наступления максимальной расчетной температуры, т. е. изгиб болтов при минимальной температуре отсутствует.

Таблица 1.4 – Допускаемые температурные амплитуды

Тип рельсов	Накладки	Конструктивный зазор, мм	Допускаемые температурные амплитуды $[T]$, °С, в зависимости от конструкции верхнего строения и плана пути								
			прямая	радиус кривой, м							
				1200	1000	800	600	500	400	350	300
P50	Шестидырные	21	116	114	112	110	106	103	98	95	90
		23	110	108	107	105	102	99	95	92	88
P65	Шестидырные	21	107	105	104	102	99	96	92	89	85
		23	114	112	111	109	106	103	99	96	92
	Четырехдырные	21	109	107	106	104	101	98	94	91	87
		23	116	114	113	111	108	105	101	98	94
P75	Шестидырные	21	106	104	103	101	98	95	91	88	84
		23	113	111	110	108	105	102	98	95	91
	Четырехдырные	21	109	107	106	104	101	98	94	91	87
		23	116	114	113	111	108	105	101	98	94

Анализируя данные таблицы 1.4, отмечаем, что с увеличением конструктивной величины стыкового зазора происходит увеличение допускаемой температурной амплитуды, позволяющей эксплуатировать 25-метровые рельсы без сезонных регулировок стыковых зазоров. С большей интенсивностью падает указанная допускаемая температурная амплитуда при уменьшении радиуса кривой. При этом можно заключить, что условие $T_A < [T]$ (T_A – фактическая годовая температурная амплитуда, °С; $[T]$ – допускаемая температурная амплитуда, °С) может быть выполнено на большей части Белорусской железной дороги путем соответствующего выбора конструктивных элементов стыка и обеспечения точной укладки рельсов с нормальными зазорами. Для всей территории Белорусской железной дороги имеются запасы температур, характеризуемые разностью $[T] - T_A$, которые позволяют обеспечить нормальную работоспособность 25-метровых рельсов. Только в кривых малого радиуса существующая конструкция стыка не позволяет эксплуатировать 25-метровые рельсы без сезонных регулировок стыковых зазоров.

Допускаемое изменение температуры рельсов Δt_6 , ограниченное по условию прочности стыковых болтов после раскрытия стыковых зазоров

свыше конструктивного значения не должно допускать среза болтов и разрыва стыков в зимнее время. Существующий конструктивный зазор не позволяет полностью компенсировать температурные деформации 25-метровых рельсов. Поэтому повсеместно без опасных последствий для безопасного движения поездов можно рекомендовать семиградусный изгиб болтов в момент наступления минимальной расчетной температуры, т. е. $\Delta t_6 = 7^\circ\text{C}$. В редких случаях в более суровых климатических условиях, особенно в крутых кривых, со специального разрешения начальника службы пути можно допускать $\Delta t_6 = 14^\circ\text{C}$. Учитывая, что в условиях Беларуси годовая температурная амплитуда не превышает 100°C , то данная мера не является необходимой. Перепад температуры Δt_6 учитывают только в тех районах, где не обеспечивается нормальная эксплуатация 25-метровых рельсов без изгиба стыковых болтов.

Допускаемые температурные амплитуды, обеспечивающие эксплуатацию 25-метровых рельсов без сезонной регулировки стыковых зазоров, определенные по формуле (1.1) с учетом 7- и 14-градусного изгиба болтов, для различных конструкций пути и плана линии приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Допускаемые температурные амплитуды с учетом изгиба стыковых болтов

Тип рельсов	Накладки	Конструктивный зазор, мм	Изгиб стыковых болтов, град.	Допускаемые температурные амплитуды [T], °С, в зависимости от конструкции верхнего строения и плана пути								
				прямая	радиус кривой, м							
					1200	1000	800	600	500	400	350	300
P50	Шестидырные	21	7	123	121	119	117	113	110	105	102	97
			14	130	128	126	124	120	117	112	109	104
P65	Шестидырные	21	7	117	115	114	112	109	106	102	99	95
		21	14	124	122	121	119	116	113	109	106	102
		23	7	124	122	121	119	116	113	109	106	102
		23	14	131	129	128	126	123	120	116	113	107
	Четырехдырные	21	7	114	112	111	109	106	103	99	96	92
		21	14	121	119	118	116	113	110	106	103	99
		23	7	121	119	118	116	113	110	106	103	99
		23	14	128	126	125	123	120	117	113	110	106
P75	Шестидырные	21	7	116	114	113	111	108	105	101	98	94
		21	14	123	121	120	118	115	112	108	105	101
		23	7	123	121	120	118	115	112	108	105	101
		23	14	130	128	127	125	122	119	115	112	108
	Четырехдырные	21	7	113	111	110	108	105	102	98	95	91
		21	14	120	118	117	115	112	109	105	102	98
		23	7	120	118	117	115	112	109	105	102	98
		23	14	127	125	124	122	119	116	112	109	105

Для конкретно заданных климатических условий, конструкции пути и величины конструктивного стыкового зазора по формуле (1.1) определяется допустимая годовая температурная амплитуда $[T]$, позволяющая эксплуатировать 25-метровые рельсы без сезонной разгонки и регулировки стыковых зазоров без изгиба и с изгибом болтов, на прямых участках пути, которая сравнивается с фактической годовой температурной амплитудой T_A . Затем аналогичный расчет проводится для заданных кривых участков пути, а результаты расчета приводятся в табличной форме аналогично таблицам 1.4 и 1.5.

При оформлении отчета по лабораторным занятиям анализируется возможность эксплуатации 25-метровых рельсов без сезонной разгонки и регулировки стыковых зазоров на прямых и в кривых участках пути вначале без изгиба болтов, затем с 7-градусным и, при необходимости, с 14-градусным изгибом болтов для конкретного конструктивного зазора. При этом отмечается, на кривых какого радиуса возможна эксплуатация 25-метровых рельсов без сезонной разгонки и регулировки стыковых зазоров, а в кривых меньшего радиуса эта работа является необходимой. Для практических целей допускается интерполяция допустимой годовой температурной амплитуды между соседними радиусами кривых участков пути. Если не задан минимальный радиус кривой на рассматриваемой дистанции пути, то анализ производится по всему диапазону радиуса кривых.

Кроме того, может быть проанализирована возможность применения 25-метровых рельсов с большей величиной конструктивного зазора для уменьшения, а в отдельных случаях и для полной ликвидации трудоемких работ по сезонной разгонке и регулировке стыковых зазоров звеньевых пути.

1.3 Определение нормальных стыковых зазоров

Во всех случаях, когда фактические температурные амплитуды оказываются меньше допустимых, обеспечивающих нормальную работу 25-метровых рельсов в зависимости от конструкции верхнего строения пути и плана линии для различных конструкций стыка, нормальные стыковые зазоры определяются по следующей формуле:

$$\lambda_n = \alpha l(t_{\min} + \Delta t_R + \Delta t_{св} - t) = \alpha l[t_{\min} + R/(\alpha EF) + \lambda_{к}/(\alpha l) - t], \quad (1.4)$$

где t_{\min} – минимальная расчетная температура рельсов, °С;

t – текущая температура, которой соответствует нормальный стыковой зазор, °С.

В суровых климатических условиях, особенно в кривых малого радиуса, перед наступлением максимальных расчетных температур следует производить проверку устойчивости железнодорожного пути. Фактические сжимающие температурные силы при этом не должны превышать допустимые. В случае невыполнения этого условия зимой возникает необходимость

включения стыковых болтов в работу на изгиб. Однако срез болтов и разрыв стыка не допускаются. Поэтому в таких условиях нормальный стыковой зазор определяется по формуле

$$\lambda_{\text{н}} = \alpha[t_{\text{мин}} + R/(\alpha EF) + \lambda_{\text{к}}/(\alpha l) - t + \Delta t_6], \quad (1.5)$$

где Δt_6 – перепад температуры, допускающий изгиб болтов в момент наступления минимальной расчетной температуры, °С.

Нормальные стыковые зазоры определяются по приведенным выше формулам или в соответствии с таблицей 1.6.

Таблица 1.6 – Общая таблица нормальных стыковых зазоров

Нормальный стыковой зазор, мм	Величина повышения температуры рельса относительно ее минимального расчетного значения $t_{\text{мин}}$, °С								
	без изгиба стыковых болтов			с 7-градусным изгибом стыковых болтов			с 14-градусным изгибом стыковых болтов		
	$\lambda_{\text{к}} = 21$ мм		$\lambda_{\text{к}} = 23$ мм	$\lambda_{\text{к}} = 21$ мм		$\lambda_{\text{к}} = 23$ мм	$\lambda_{\text{к}} = 21$ мм		$\lambda_{\text{к}} = 23$ мм
	P50	P65, P75	P65, P75	P50	P65, P75	P65, P75	P50	P65, P75	P65, P75
0	+78	+76*	+83*	+85	+83*	+90*	+92	+90*	+97*
1	+75	+73	+79	+82	+80	+86	+89	+87	+93
2	+72	+70	+76	+79	+77	+83	+86	+84	+90
3	+69	+66	+73	+76	+73	+80	+83	+80	+87
4	+65	+62	+70	+72	+69	+77	+79	+76	+84
5	+61	+58	+66	+68	+65	+73	+75	+72	+80
6	+57	+55	+62	+64	+62	+69	+71	+69	+76
7	+54	+52	+58	+61	+59	+65	+68	+66	+72
8	+51	+48	+55	+58	+55	+62	+65	+62	+69
9	+47	+45	+52	+54	+52	+59	+61	+59	+66
10	+44	+41	+48	+51	+48	+55	+58	+55	+62
11	+40	+38	+45	+47	+45	+52	+54	+52	+59
12	+37	+34	+41	+44	+41	+48	+51	+48	+55
13	+33	+31	+38	+40	+38	+45	+47	+45	+52
14	+30	+28	+34	+37	+35	+41	+44	+42	+46
15	+27	+25	+31	+34	+32	+38	+41	+39	+45
16	+24	+21	+28	+31	+28	+35	+38	+35	+42
17	+20	+18	+25	+27	+25	+32	+34	+32	+39
18	+17	+15	+21	+24	+22	+28	+31	+29	+35
19	+14	+11	+18	+21	+18	+25	+28	+25	+32
20	+10	+8	+15	+17	+15	+22	+24	+22	+29
21	+7	+5	+11	+14	+12	+18	+21	+19	+25
22	–	–	+8	–	–	+15	–	–	+22
23	–	–	+5	–	–	+12	–	–	+19

* При шестидырных накладках все значения в столбце для соответствующих зазоров увеличиваются на 3 °С.

Если в районах с небольшими годовыми амплитудами колебаний температуры рельсов окажется, что при максимальной расчетной температуре нормальный зазор 25-метровых рельсов больше нуля, то определение нормальных стыковых зазоров в таком случае следует пересчитать по формуле

$$\lambda_n = \alpha l [t_{\max} - R/(\alpha EF) - t]. \quad (1.6)$$

В этом случае нормальные стыковые зазоры рельсов длиной 25 м можно определять и устанавливать для всех конструктивных величин в соответствии с таблицей 1.7.

Таблица 1.7 – Общая таблица зазоров для коротких рельсов

Нормальный зазор, мм	Величина понижения температуры рельса относительно ее максимального расчетного значения t_{\max} , °С		Нормальный зазор, мм	Величина понижения температуры рельса относительно ее максимального расчетного значения t_{\max} , °С	
	P50	P65, P75		P50	P65, P75
0	-7	-5*	12	-47	-45*
1	-10	-8	13	-51	-48
2	-14	-11	14	-54	-52
3	-17	-15	15	-57	-55
4	-20	-18	16	-61	-58
5	-24	-21	17	-65	-62
6	-27	-25	18	-69	-66
7	-30	-28	19	-72	-70
8	-33	-31	20	-75	-73
9	-37	-34	21	-78	-76
10	-40	-38	22	-82	-79
11	-44	-41	23	-85	-83

* При шестидырных накладках все значения в столбце для соответствующих зазоров увеличиваются на 3 °С.

Для каждой дистанции пути на основании таблицы 1.6 или 1.7 составляются частные таблицы нормальных стыковых зазоров 25-метровых рельсов.

1.4 Построение и анализ графиков изменения стыковых зазоров

После определения нормальных стыковых зазоров необходимо построить графики изменения зазоров 25-метровых рельсов без изгиба и с изгибом стыковых болтов в зимнее время в момент наступления минимальной расчетной температуры.

Построение графика изменения стыковых зазоров 25-метровых рельсов производится в следующем порядке. На миллиметровой бумаге строится прямоугольник температурной работы, ограниченный по горизонтальной оси экстремальными (минимальными и максимальными) расчетными температурами, а по вертикальной – нулевым и конструктивным значениями стыкового зазора. Для построения графика изменения зазоров масштаб температуры принимается 1 °С в одном миллиметре, а масштаб зазора – вдвое

увеличенным, т. е. 2:1, что позволяет изобразить 1 мм фактического зазора в 2 мм на чертеже.

Общий вид графиков изменения стыковых зазоров 25-метровых рельсов, эксплуатируемых без сезонной разгонки и регулировки зазоров, показан на рисунке 1.1.

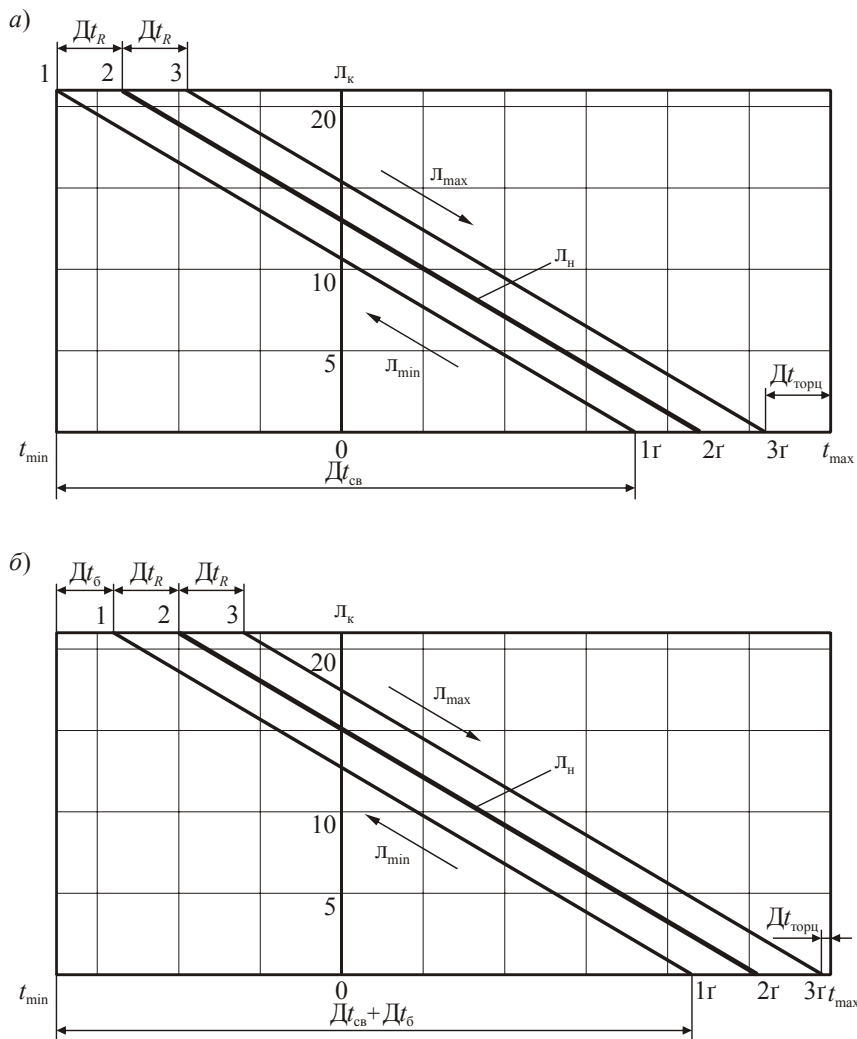


Рисунок 1.1 – Общий вид графиков изменения стыковых зазоров 25-метровых рельсов, эксплуатируемых без сезонной разгонки и регулировки зазоров:
 а – без изгиба болтов; б – с включением стыковых болтов в работу на изгиб

Построение графика изменения стыковых зазоров 25-метровых рельсов начинается с определения положения точки 1, соответствующей конструктивному зазору и температуре, при которой он образуется при понижении температуры до минимального расчетного значения. При построении графика изменения зазоров 25-метровых рельсов без изгиба болтов температура точки 1 (см. рисунок 1.1) соответствует минимальной расчетной температуре: при 7-градусном изгибе – $(t_{\min} + 7 \text{ }^\circ\text{C})$, а при 14-градусном – $(t_{\min} + 14 \text{ }^\circ\text{C})$. В каждом из рассмотренных случаев по линии конструктивного зазора откладывается вправо один и два перепада температур на преодоление стыкового сопротивления, т. е. Δt_R и $2\Delta t_R$, значения которых зависят от типа рельсов и конструкции стыка (см. таблицу 1.2), и соответственно получают точки 2 и 3.

Для определения положения точки 1' на линии нулевых зазоров устанавливается перепад температуры, необходимый для раскрытия и закрытия зазора в пределах своего конструктивного значения ($\Delta t_{\text{св}}$), который соответствует при конструктивном зазоре 21 мм $71 \text{ }^\circ\text{C}$, а при конструктивном зазоре 23 мм – $78 \text{ }^\circ\text{C}$. С учетом конструктивного стыкового зазора по линии нулевых зазоров от минимальной температуры (t_{\min}) откладывается вправо перепад температур $\Delta t_{\text{св}}$, $(\Delta t_{\text{св}} + \Delta t_R)$ и $(\Delta t_{\text{св}} + 2\Delta t_R)$. Полученные точки соединяем параллельными прямыми.

Нижняя линия (1–1') – линия минимальных стыковых зазоров, по которой раскрываются зазоры 25-метровых рельсов при понижении температуры.

Средняя линия (2–2') – линия нормальных стыковых зазоров, по которой устанавливаются стыковые зазоры в момент укладки 25-метровых рельсов.

Верхняя линия (3–3') – линия максимальных зазоров, по которой происходит закрытие стыковых зазоров при повышении температуры.

В правой части графика определяется и указывается величина перепада температур на торцевое давление ($\Delta t_{\text{торц}}$). В процессе анализа графика изменения стыковых зазоров 25-метровых рельсов определяются температуры появления нулевых и конструктивных стыковых зазоров, наличие или отсутствие торцевого давления и сжимающих сил, а также их величины.

1.5 Определение сжимающих и растягивающих температурных сил

Температурную силу по концам лежащего в пути рельса можно определить по формулам:

а) для летних условий –

$$N_{\text{л}} = R + N_{\text{торц}} = R + \alpha EF \Delta t_{\text{торц}}; \quad (1.7)$$

б) для зимних условий –

$$N_{\text{з}} = R + N_{\text{с}} = R + \alpha EF \Delta t_{\text{с}}. \quad (1.8)$$

В соответствии с принятыми допущениями наибольшая продольная температурная сила наблюдается в средней части стандартного рельса. В общем случае температурные силы, возникающие в рельсах, определяются по формулам:

а) для летних условий –

$$\max N_{\text{л}} = R + Q_{\text{л}} + N_{\text{торц}} = R + 0,5pl + \alpha EF \Delta t_{\text{торц}}; \quad (1.9)$$

б) для зимних условий –

$$\max N_{\text{з}} = R + Q_{\text{з}} + N_{\text{б}} = R + 0,5rl + \alpha EF \Delta t_{\text{б}}, \quad (1.10)$$

где $\max N_{\text{л}}$, $\max N_{\text{з}}$ – соответственно сжимающие и растягивающие наибольшие температурные силы по одной рельсовой нитке, Н;

$N_{\text{торц}}$ – силы торцевого давления в момент наступления расчетной температуры рельса, Н;

$N_{\text{б}}$ – силы, изгибающие болты при раскрытии зазора более конструктивного значения (при установке нормальных стыковых зазоров $N_{\text{б}} = 0$), Н;

$Q_{\text{л}}$, $Q_{\text{з}}$ – наибольшие сжимающие и растягивающие температурные силы, возникающие в результате преодоления всего погонного сопротивления по одной рельсовой нити, Н (принимаются в зависимости от типа промежуточного скрепления);

p , r – соответственно летнее и зимнее погонные сопротивления, Н/м;

$\Delta t_{\text{торц}}$ – перепад температуры, идущий на увеличение торцевого давления, °С;

$\Delta t_{\text{б}}$ – перепад температуры, идущий на изгиб и срез болтов, °С.

Сопротивление стыков зимой и летом существенных различий не имеет. Для длинных рельсов на костыльном скреплении разница в сжимающих и растягивающих силах зависит от соотношения сил торцевого давления и сил, изгибающих болты. При раздельном скреплении сжимающие и растягивающие температурные силы могут значительно отличаться друг от друга вследствие того, что зимнее погонное сопротивление почти в 4 раза больше летнего.

При костыльном скреплении зимой и летом погонное сопротивление одинаково и для нового скрепления не превышает 3000 Н/м. По мере службы в пути погонное сопротивление костыльного скрепления снижается и в процессе эксплуатации, как правило, не превышает 1000 Н/м по одной рельсовой нитке. Эту величину погонного сопротивления и следует принимать в дальнейших расчетах. По исследованиям ЦНИИ МПС, для раздельного скрепления $p = 6500$ Н/м, а $r = 25000$ Н/м [1].

Для сравнения фактических сжимающих температурных сил в пути с критической силой, допускаемой по условию устойчивости рельсошпальной решетки, принимается удвоенная максимальная сила, определяемая по формуле (1.9).

Зная максимальные продольные силы, довольно просто определить сжимающие и растягивающие напряжения, возникающие в рельсах. Наибольшие сжимающие температурные напряжения определяются из выражения

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{\max N_{\text{л}}}{F}. \quad (1.11)$$

Наибольшие растягивающие температурные напряжения

$$\sigma_{\text{раст}} = \frac{\max N_{\text{з}}}{F}. \quad (1.12)$$

Полученные по формулам (1.7)–(1.12) температурные силы и напряжения сравнивают с допускаемыми.

В настоящее время правила расчета пути на прочность нормируют напряжения по пределу выносливости рельсовой стали. Допускаемые кромочные напряжения в подошве рельсов при реализуемых в настоящее время коэффициентах запаса с учетом температурных напряжений устанавливаются одинаковыми для рельсов длиной 12,5 и 25 м.

Для локомотивов и вагонов, обращающихся по участку, допускаемые напряжения в кромках подошвы рельсов новых типов принимаются равными 240 МПа, а для рельсов старых типов (I-а, P38, III-а, IV-а) с длиной до 12,5 м – 200 МПа.

Кроме того, фактические сжимающие температурные силы летом не должны нарушать устойчивости рельсошпальной решетки. На устойчивость звеньевое пути большое влияние оказывает величина эксцентриситета передачи торцевого давления в стыках, с увеличением которого снижается устойчивость пути. Поэтому полученную по действующим правилам расчета пути на устойчивость критическую силу для бесстыкового пути аналогичной конструкции необходимо уменьшить в 1,2–1,5 раза, т. е. должно быть выполнено условие

$$\max N_{\text{л}} \leq \frac{P_{\text{к}}}{2K}, \quad (1.13)$$

где $P_{\text{к}}$ – критическая сила по условию устойчивости пути, Н;

K – коэффициент, учитывающий эксцентricность при торцевом давлении звеньевое пути (принимается от 1,2 до 1,5).

Лаборатория бесстыкового пути ЦНИИ МПС экспериментально определила критические силы для 25-метровых рельсов типа Р65 с деревянными шпалами на щебеночном балласте, значение которых в зависимости от плана линии указаны в таблице 1.8.

Таблица 1.8 – Критические силы для 25-метровых рельсов типа Р65 с деревянными шпалами на щебеночном балласте

Радиус кривой, м	Прямая	1000	800	600	500	400
Критическая сила, кН	1560	1440	1350	1230	1110	1100

Фактические сжимающие температурные силы сравниваются с допускаемыми. В случае превышения фактических сил над допускаемыми производится усиление конструкции верхнего строения пути или ограничение скорости движения поездов.

Аналогичен подход и к определению температурных сил и напряжений, возникающих в 25-метровых рельсах, которые в данном районе являются обычными (короткими). При правильной установке стыковых зазоров в точном соответствии с фактической температурой в 25-метровых рельсах отсутствует торцевое давление и работа болтов на изгиб. При этом по концам рельсов зимой и летом температурные силы равны стыковому сопротивлению, т. е. $N_{л} = N_{з} = R$. В средней части обычных рельсов температурные силы определяются по формулам:

а) для летних условий –

$$\max N_{л} = R + 0,5rl; \quad (1.14)$$

б) для зимних условий –

$$\max N_{з} = R + 0,5pl. \quad (1.15)$$

При костыльном скреплении для рельсов обычной длины максимальные продольные температурные силы летом и зимой одинаковы, так как равны погонные сопротивления, т. е.

$$\max N_{л} = \max N_{з}. \quad (1.16)$$

При правильной укладке и эксплуатации рельсов обычной длины фактические температурные силы будут всегда меньше допускаемых. Если стыковые зазоры установлены с отступлениями, то возникает необходимость проверки возможности нарушения устойчивости рельсошпальной решетки или прочности рельсов при экстремальных или близких к ним температурах. В этом случае, в зависимости от величины ошибки в установке стыковых зазоров, могут иметь место или торцевое давление, или работа болтов на изгиб. При этом необходимо помнить, что болты будут изгибаться только в том случае, если при укладке пути стыковые зазоры будут установлены больше рекомендуемых на величину

$$\lambda_{ф} - \lambda_{н} > \lambda_{к} - \lambda_{год}, \quad (1.17)$$

где $\lambda_{ф}$ – фактически установленный стыковой зазор;

$\lambda_{н}$ – рекомендуемый (нормальный) стыковой зазор, соответствующий данной температуре;

λ_k – конструктивная величина стыкового зазора;
 $\lambda_{\text{год}}$ – годовые фактические изменения длины рельса с учетом всех сопро-
тивлений,

$$\lambda_{\text{год}} = \alpha l(T_A - 2\Delta t_R). \quad (1.18)$$

При установке стыковых зазоров меньше рекомендуемых в момент наступления максимальных или близких к ним температур возникает торцевое давление.

Несколько иная картина имеет место на нестабилизированных или недостаточно закрепленных участках пути, где наблюдается угон. Это, в первую очередь, тормозные участки и однопутные железнодорожные линии с большой грузонапряженностью, а также участки производства ремонтов пути с заменой рельсошпальной решетки. Тормозные силы и силы угона, а также температурные силы вызывают в отдельных местах пути продольные подвижки рельсов или рельсошпальной решетки, нарушая в стыках стыковые зазоры. При этом одни зазоры могут уменьшаться до нуля, а другие увеличиваются до своего конструктивного значения. Причем такое состояние стыковых зазоров наблюдается при незначительных отрицательных или положительных температурах рельса. Безусловно, что в период наступления экстремальных температур продольные сжимающие или растягивающие силы могут превысить допусковые и представляют угрозу безопасности движения поездов.

Аналогичное положение может иметь место и на надежно закрепленном пути от угона, когда при замене рельсошпальной решетки температура рельсов не замеряется, а установке рекомендуемых стыковых зазоров не уделяется должное внимание. Поэтому в процессе текущего содержания железнодорожного пути с 25-метровыми рельсами очень важно уметь в каждом конкретном случае установить возможность их нормальной эксплуатации. Для этого необходимо определить фактические температурные силы, которые могут возникнуть в пути в момент наступления максимальной или минимальной расчетных температур.

Для подсчета фактических температурных сил в конкретно заданном районе необходимо знать величину стыкового зазора при ослабленных болтах и температуру рельса. Отдельно взятый стыковой зазор не имеет решающего значения, поэтому необходимо брать средний стыковой зазор на пикете и по нему определять температурные силы. Зная средний зазор на пикете и температуру, необходимо определить фактические температурные сжимающие и растягивающие силы, которые не должны превышать допусковых.

Наибольшие сжимающие температурные силы, которые могут возникнуть в пути в момент наступления максимальной расчетной температуры, могут быть определены по формуле

$$N_{сж} = 2\alpha EF \left(t_{\max} - t - \frac{\lambda_{\phi}}{\alpha l} \right), \quad (1.19)$$

где $2\alpha EF$ – величина продольной силы, на которую увеличиваются сжимающие силы в пути при изменении температуры на 1°C ;

t – температура рельса при замере фактического стыкового зазора, $^{\circ}\text{C}$;

λ_{ϕ} – фактический стыковой зазор при ослабленных болтах, т. е. при отсутствии стыкового сопротивления, мм.

Эта формула справедлива для случая, когда

$$\left(t_{\max} - t - \frac{\lambda_{\phi}}{\alpha l} \right) > 0. \quad (1.20)$$

Невыполнение условия (1.20) указывает на отсутствие сжимающих сил даже при максимальной температуре. Иными словами, стыковые зазоры при максимальной температуре и рассматриваемых исходных данных больше нуля, т. е. летом в работе 25-метровых рельсов никаких затруднений не возникнет.

Наибольшие растягивающие силы, которые могут возникнуть в пути в момент наступления минимальной расчетной температуры,

$$N_{\text{раст}} = 2\alpha EF \left(t_{\min} - t + \frac{\lambda_{\kappa} - \lambda_{\phi}}{\alpha l} \right). \quad (1.21)$$

Эта формула справедлива для случая, когда

$$\left(t_{\min} - t + \frac{\lambda_{\kappa} - \lambda_{\phi}}{\alpha l} \right) < 0. \quad (1.22)$$

Невыполнение этого условия указывает на то, что изгиб болтов отсутствует даже при минимальной расчетной температуре. Иными словами, в момент наступления минимальной температуры стыковые зазоры не будут достигать конструктивного значения, что облегчает взаимодействие пути и подвижного состава в зоне стыка. Поэтому зимой в работе 25-метровых рельсов никаких затруднений не ожидается.

Определенные по формулам (1.19) и (1.21) силы сравниваются с допускаемыми и делается вывод о работоспособности пути. Проведение специальных мер (разгонка и регулировка стыковых зазоров) необходимо в тех случаях, когда фактические силы в пути могут превысить допускаемые. В качестве временной меры в отдельных случаях можно рекомендовать укладку «сплоток» и удлиненных или укороченных рельсов. Проведение всех указанных мероприятий необходимо обеспечить заблаговременно, до наступления экстремальных или близких к ним температур.

Если стыковые зазоры по обеим ниткам неодинаковы, то наибольшие сжимающие силы подсчитываются по каждой нитке отдельно, а затем суммируются. Также поступают и при подсчете растягивающих температурных сил.

1.6 Влияние ошибки при установке зазоров

Нормальная эксплуатация 25-метровых рельсов во многом зависит от точности установки стыковых зазоров в момент укладки рельсов при производстве ремонта пути с заменой рельсошпальной решетки.

Фактические изменения длины 25-метрового рельса при годовой амплитуде колебания температуры рельсов $T_A = 100^\circ\text{C}$ составляют около 26 мм, что превышает конструктивную величину стыкового зазора. Поэтому при существующем стыковом и промежуточном скреплении в процессе эксплуатации 25-метровых рельсов на большей части территории Беларуси не обеспечивается их нормальная работа, т. е. не исключается торцевое давление летом и работа болтов на изгиб зимой.

Торцевое давление, приводящее к выколам головки рельсов в стыках, способствует преждевременному износу и выходу элементов верхнего строения пути. Изгиб болтов и раскрытие стыкового зазора более 21 мм приводит к усиленному расстройству рельсовой колеи в зоне стыка. Устранить вредное влияние торцевого давления и изгиба болтов, т. е. полностью компенсировать фактические изменения длины 25-метрового рельса за счет увеличения существующего конструктивного зазора нецелесообразно из-за резкого усиления динамического воздействия подвижного состава на путь в зоне стыка.

Ограничение температурных деформаций рельса конструктивной величиной стыкового зазора приводит к увеличению сил торцевого давления и температурных сжимающих сил. Значения сжимающих сил, возникающих в пути

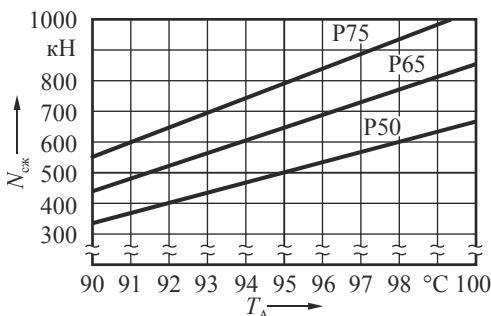


Рисунок 1.2 – Сжимающие силы, возникающие в пути при установке нормальных стыковых зазоров

при ограничении раскрытия стыковых зазоров его конструктивным значением, в зависимости от годовой амплитуды колебания температуры рельсов, приведены на графике (рисунок 1.2) и в таблице 1.9. При определении сжимающих сил стыковое сопротивление для рельсов типа P50 принято 120 кН, P65 и P75 – 160 кН. Однако могут приниматься и другие значения стыкового сопротивления.

Значения сжимающих температурных сил возрастают с увеличением типа рельсов и годовой амплитуды колебания температуры. При этом наибольшие сжимающие силы в условиях Беларуси могут достигать 850–1000 кН, что представляет угрозу устойчивости рельсошпальной решетки и может привести к выбросу звеньев пути в момент наступления максимальных расчетных или близких к ним температур только в крутых кривых радиусом менее 400 м.

Таблица 1.9 – Сжимающие силы, возникающие в пути при установке нормальных стыковых зазоров

Тип рельсов	В килоньютонах		
	Годовая амплитуда колебания температуры рельсов, °С		
	90	95	100
P50	338	502	666
P65	443	648	853
P75	556	792	1028

Все вышесказанное относится к случаю, когда при укладке пути замеряется температура рельса, а стыковые зазоры устанавливаются в точном соответствии с фактической температурой. При установке зазоров, отличающихся от рекомендуемых, условия работы стыковых соединений осложняются, а возникающие при этом фактические растягивающие или сжимающие температурные силы затрудняют работу 25-метровых рельсов и могут привести к тяжелым последствиям.

Назначение стыковых зазоров больше нормальных облегчает работу рельсов летом вследствие уменьшения сил торцевого давления при наступлении максимальных температур. Вероятность выколов головки рельсов в стыке при этом уменьшается, что следует считать положительным. Однако зимой работа 25-метровых рельсов осложняется, так как конструктивная величина стыкового зазора появляется раньше, чем температура достигает своего минимального расчетного значения. Дальнейшее понижение температуры раскрывает стыковой зазор больше конструктивного и приводит к изгибу болтов, что является нерациональным.

Проанализируем, какие дополнительные температурные силы возникнут в 25-метровых рельсах на костыльном скреплении при укладке их в путь с зазорами, отличающимися от нормальных. На закрытие стыкового зазора от 21 до 0 мм или для раскрытия его от 0 до 21 мм требуется перепад температуры

$$\Delta t_{\text{св}} = \frac{L_{\text{к}}}{6l} = \frac{21}{0,295} = 71 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Для изменения длины 25-метрового рельса на 1 мм потребуется перепад температуры

$$1/(\alpha l) = 1/0,295 = 3,4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Тогда температурную продольную силу, передаваемую на болты в момент наступления минимальной расчетной температуры, можно определить, пользуясь следующей зависимостью:

$$\Delta P_{\phi} = \alpha EF \frac{\lambda_{\phi} - \lambda_{н}}{\alpha l} = EF \frac{\lambda_{\phi} - \lambda_{н}}{l}, \quad (1.23)$$

где λ_{ϕ} – величина фактически установленного стыкового зазора, м;
 $\lambda_{н}$ – величина нормального стыкового зазора при данной температуре, м.

Ошибка в установке стыковых зазоров на 1 мм вызывает появление сил, изгибающих и срезающих стыковые болты по одной рельсовой нитке в рельсах типа Р50, Р65 и Р75 соответственно 55,4; 69,4 и 79,8 кН.

С увеличением ошибки в назначении стыковых зазоров при укладке 25-метровых рельсов до 2 мм типа Р65 и Р75 температурные силы, срезающие болты, составляют соответственно 140 и 160 кН. Такие значительные температурные силы в зимнее время могут привести к срезу болтов и разрыву стыков 25-метровых рельсов, что представляет угрозу безопасному движению поездов. Если при этом путь будет недостаточно закреплен от угона, то в рельсах возникнут еще большие температурные растягивающие силы, величина которых находится в прямой зависимости от величины угона. В результате несовершенства противоугонной системы и несвоевременной замены негодных противоугонов срез болтов и разрыв стыков может произойти при небольших отрицательных значениях температуры, т. е. задолго до наступления минимальной расчетной температуры.

Установка стыковых зазоров меньше нормальных приводит к более быстрому закрытию зазоров и вызывает увеличение сил торцевого давления. При этом дополнительные температурные сжимающие силы, возникающие по одной рельсовой нитке в момент наступления максимальных расчетных температур,

$$\Delta P_{\phi} = EF \frac{\lambda_{н} - \lambda_{\phi}}{l}. \quad (1.24)$$

Условные обозначения приведены выше. Следовательно, дополнительные сжимающие силы и силы, изгибающие или срезающие стыковые болты, одинаковы при одной и той же ошибке, т. е. при $\lambda_{н} - \lambda_{\phi} = \lambda_{\phi} - \lambda_{н}$. Зависимость этих сил от величины ошибки при установке стыковых зазоров, отличающихся от нормальных, приведена на рисунке 1.3 и в таблице 1.10.

Назначение стыковых зазоров меньше нормальных облегчает работу рельсов зимой. Даже в момент наступления минимальной расчетной температуры зазоры не достигают конструктивной величины, что является рациональным. В результате этого уменьшается динамическое воздействие

подвижного состава на путь в зоне стыка. Однако эксплуатация пути летом значительно осложняется, так как увеличение сил торцевого давления способствует более интенсивному появлению выколов головки рельса с торцов. Наличие выколов в последующие зимы приводит к значительному увеличению фактического стыкового зазора. Кроме того, наличие сжимающих сил не позволяет при высоких температурах проводить большинство работ, связанных с ослаблением устойчивости рельсошпальной решетки (рихтовка, выправка или подъемка пути и т. д.). Выполнение этих работ следует проводить рано утром или днем при пасмурной погоде. При определенных условиях увеличение сил торцевого давления сверх допустимых может привести к нарушению устойчивости пути.

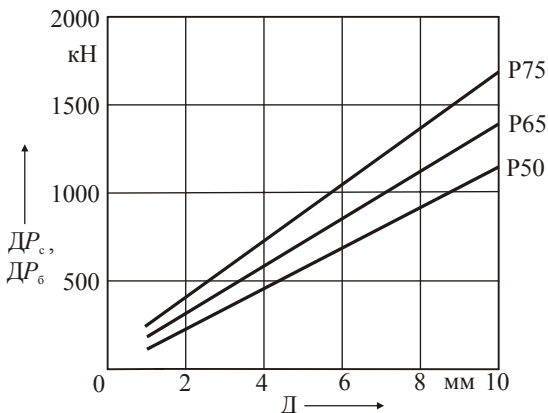


Рисунок 1.3 – Дополнительные силы (сжимающие и растягивающие), кН, возникающие в пути при установке зазоров, отличающихся от нормальных

Таблица 1.10 – Дополнительные температурные силы, возникающие в пути в результате установки зазоров, отличающихся от рекомендуемых
В килоньютонах

Тип рельсов	Величина, на которую фактические зазоры отличаются от рекомендуемых, мм				
	2	4	6	8	10
P50	222	444	666	888	1110
P65	278	556	834	1112	1390
P75	319	638	957	1276	1595

Существующие схемы закрепления пути от угона не всегда обеспечивают должную стабилизацию железнодорожного пути на участках с высокой грузонапряженностью, а также на однопутных участках в местах интенсивного торможения. Наличие угона в еще большей мере осложняет работу стыковых соединений и температурную работу 25-метровых рельсов, увеличивая в отдельных местах сжимающие продольные силы, а вместе с тем и опасность выброса пути.

Сами по себе дополнительные сжимающие силы не представляют большой опасности для устойчивости рельсошпальной решетки даже при ошиб-

ке в установке зазоров до 8 мм (см. таблицу 1.10 и рисунок 1.3). Возникающие при этом дополнительные силы достигают 1300 кН, что меньше критической силы по условию выброса пути на прямых. Однако в пути фактически имеются значительные сжимающие силы (силы стыкового сопротивления и торцевого давления) даже при установке нормальных стыковых зазоров, соответствующих данной температуре (см. рисунок 1.2 и таблицу 1.9). Эти силы резко увеличиваются в результате установки стыковых зазоров, отличающихся от рекомендуемых, особенно на нестабилизированном или недостаточно закрепленном от угона пути.

1.7 Определение суммарных сжимающих и растягивающих температурных сил

Возможные суммарные температурные силы состоят из фактических сжимающих или растягивающих сил в пути, возникающих при установке нормальных стыковых зазоров, и дополнительных сил, возникающих в результате установки или наличия в пути зазоров, меньше или больше нормальных соответственно.

Фактические сжимающие силы в пути летом

$$N_{\text{сж}} = 2\delta EF \left(T_A - \frac{L_k}{\delta l} - \frac{R}{\delta EF} \right). \quad (1.25)$$

Фактические растягивающие силы в пути зимой при условии исключения работы на изгиб стыковых болтов будут состоять только из сил стыкового сопротивления:

$$N_{\text{раст}} = R.$$

К фактическим сжимающим и растягивающим температурным силам необходимо прибавить дополнительные температурные силы, возникающие в пути в результате ошибки при установке нормальных стыковых зазоров (см. таблицу 1.10). Полученные суммарные силы не должны превышать допусковых для данной конструкции верхнего строения пути.

1.8 Пример определения условий эксплуатации и режима работы 25-метровых рельсов для Гомельской дистанции пути

1.8.1 Исходные данные

Участок звеньевоего пути (длина рельсов 25 м, тип рельса Р65, накладки 6-дырные) на деревянных шпалах и костыльном скреплении находится на Гомельской дистанции Белорусской железной дороги ($t_{\text{max}} = +57 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\text{min}} = -35 \text{ }^\circ\text{C}$).

1.8.2 Определение годовой температурной амплитуды, позволяющей эксплуатировать 25-метровые рельсы без сезонных разгонок и регулировок стыковых зазоров

По формуле (1.1) рассчитаем допускаемую амплитуду, позволяющую эксплуатировать 25-метровые рельсы без сезонных разгонок и регулировок стыковых зазоров для Гомельской дистанции:

- без изгиба стыковых болтов –

$$[T] = 71 + 8 + 0 + 38 + 0 - 7 = 110 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

- с 7-градусным изгибом –

$$[T] = 71 + 8 + 0 + 38 + 7 - 7 = 117 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Эти же значения можно было определить по таблицам 1.4 и 1.5. Результаты сводим в таблицу 1.11.

Таблица 1.11 – Допускаемые температурные амплитуды

Тип рельсов	Накладки	Конструктивный зазор, мм	Допускаемые температурные амплитуды [T], °С, в зависимости от конструкции верхнего строения и плана пути								
			пря-мая	радиус кривой, м							
			1200	1000	800	600	500	400	350	300	
Р65	Шестидыр-ные		<i>Без изгиба стыковых болтов</i>								
		21	110	108	107	105	102	99	95	92	88
		23	117	115	114	112	109	106	102	99	95
			<i>С 7-градусным изгибом стыковых болтов</i>								
		21	117	115	114	112	109	106	102	99	95
	23	124	122	121	119	116	113	109	106	102	

Годовая температурная амплитуда для Гомельской дистанции

$$T_A = t_{\max} - t_{\min} = 57 - (-35) = 92 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Сравниваем значение T_A со значениями, полученными в таблице 1.11. В каждой строке находим зоны, при которых $T_A > [T]$, и отделяем их жирной линией. Для тех кривых, значения допускаемых амплитуд которых расположены справа от жирной линии при заданном типе рельсов и стыковом скреплении, необходимо выполнять работы по сезонным регулировкам стыковых зазоров. Для тех значений, которые расположены слева от проведенной жирной линии, такие работы выполнять не придется.

На основании таблицы 1.11 можно утверждать, что для Гомельской дистанции пути выполнение работ по сезонным регулировкам стыковых зазоров при эксплуатации звеньевое пути с 25-метровыми рельсами типа Р65 и шестидырными накладками может потребоваться только при конструктивном зазоре 21 мм в кривых радиусом менее 350 м и при режиме работы звеньевое пути без включения стыковых болтов в работу на изгиб.

1.8.3 Построение частной таблицы стыковых зазоров для Гомельской дистанции пути

Частную таблицу нормальных стыковых зазоров для Гомельской дистанции пути (таблица 1.12) строим на основании общей (см. таблицу 1.6).

Таблица 1.12 – Частная таблица нормальных зазоров для Гомельской дистанции пути (тип рельса Р65)

Нормальный стыковой зазор, мм	Температура рельса, соответствующая стыковому зазору, °С			
	без изгиба стыковых болтов		с 7-градусным изгибом стыковых болтов	
	$\lambda_k = 21$ мм	$\lambda_k = 23$ мм	$\lambda_k = 21$ мм	$\lambda_k = 23$ мм
0	+44	+51	+51	+58
1	+41	+48	+48	+55
2	+38	+44	+45	+51
5	+35	+41	+42	+48
4	+31	+38	+38	+45
5	+27	+35	+34	+42
6	+23	+31	+30	+38
7	+20	+27	+27	+34
8	+17	+23	+24	+30
9	+13	+20	+20	+27
10	+10	+17	+17	+24
11	+6	+13	+13	+20
12	+3	+10	+10	+17
15	-1	+6	+6	+13
14	-4	+3	+3	+10
15	-7	-1	0	+6
16	-10	-4	-3	+3
17	-14	-7	-7	0
18	-17	-10	-10	-3
19	-20	-14	-13	-7
20	-24	-17	-17	-10
21	-27	-20	-20	-13
22	-	-24	-	-17
23	-	-27	-	-20

1.8.4 Построение графиков изменения стыковых зазоров для Гомельской дистанции пути

На рисунке 1.4 приведены графики изменения стыковых зазоров без изгиба и с 7-градусным изгибом стыковых болтов для Гомельской дистанции пути при конструктивном зазоре, равном 21 мм.

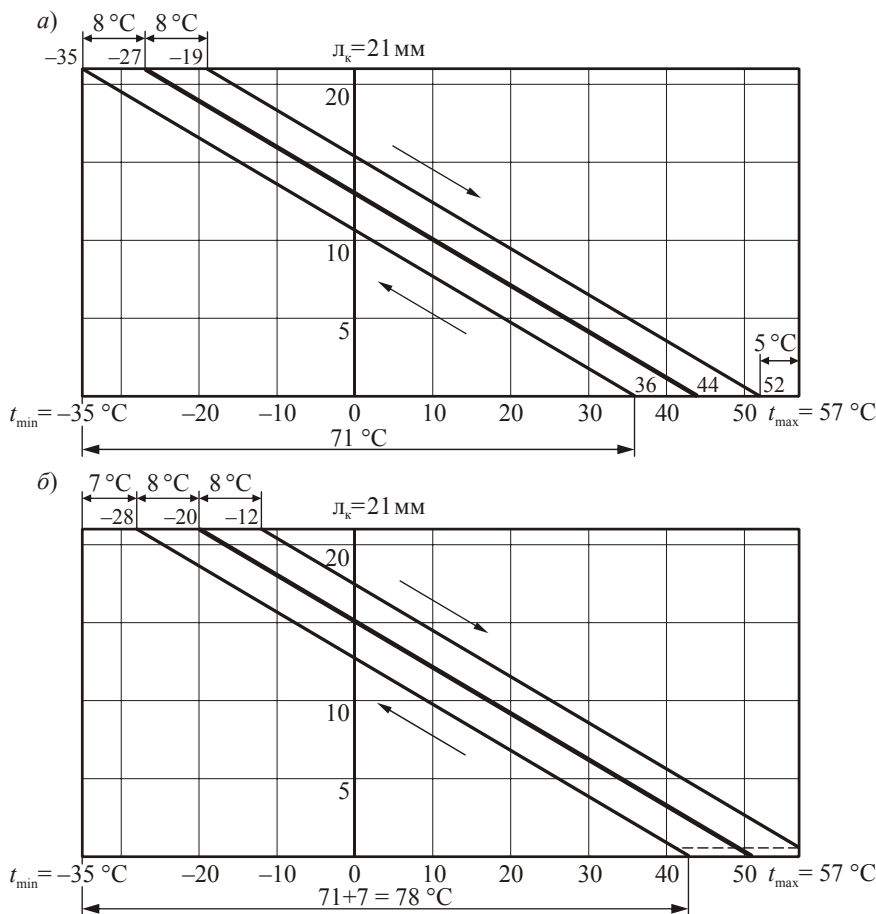


Рисунок 1.4 – Графики изменения стыковых зазоров для Гомельской дистанции пути при конструктивном стыковом зазоре 21 мм: а – без изгиба стыковых болтов; б – с 7-градусным изгибом

При эксплуатации звеньевое пути без изгиба стыковых болтов нулевой стыковой зазор будет образовываться при температуре $+52^{\circ}\text{C}$, а перепад температуры, вызывающий появление торцевого давления, будет равен 5°C (см. рисунок 1.4, а).

При включении стыковых болтов в работу на 7-градусный изгиб (см. рисунок 1.4, б) имеет место недоиспользование стыкового зазора – линия закрытия стыковых зазоров выходит за пределы температурного прямоугольника, т. е. при максимальной температуре зазор больше нуля (пунктирная линия), что явно нецелесообразно ввиду того, что зимой зазор раскрывается

до своего конструктивного значения и включаются в работу на изгиб стыковые болты, а летом даже при наступлении максимальной расчетной температуры зазоры в пути не будут равны нулю и будут отсутствовать сжимающие силы. В этом случае построение графиков изменения стыковых зазоров производят из условия $\lambda = 0$ при t_{\max} . При наступлении минимальной расчетной температуры будет иметь место 5-градусный изгиб стыковых болтов, который не вызовет их разрыва (рисунок 1.5). Зазоры в этом случае устанавливаются в соответствии с таблицей 1.13.

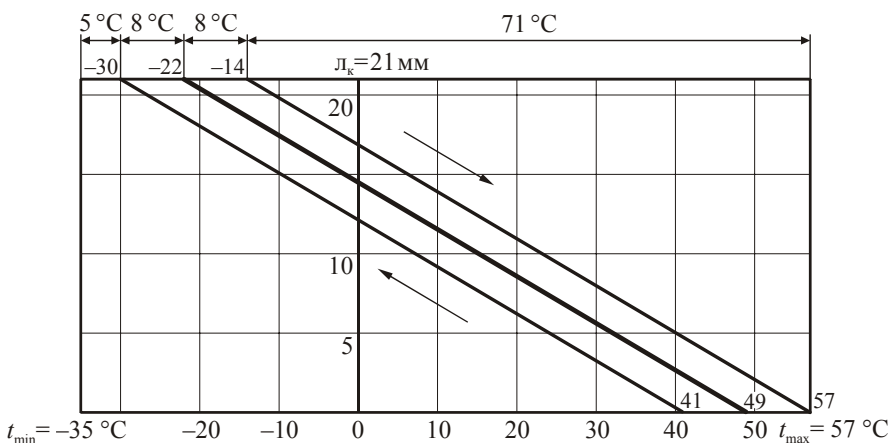


Рисунок 1.5 – Графики изменения стыковых зазоров для Гомельской дистанции пути исходя из условия $\lambda = 0$ при t_{\max} при конструктивном стыковом зазоре 21 мм

Таблица 1.13 – Частная таблица нормальных зазоров для Гомельской дистанции пути (тип рельса Р65, накладки шестидырные) при условии исключения сжимающих температурных сил

Нормальный зазор, мм	Температура рельса, соответствующая стыковому зазору, °C	Нормальный зазор, мм	Температура рельса, соответствующая стыковому зазору, °C	Нормальный зазор, мм	Температура рельса, соответствующая стыковому зазору, °C
0	-8	8	-34	16	-61
1	-11	9	-37	17	-65
2	-14	10	-41	18	-69
3	-18	11	-44	19	-73
4	-21	12	-48	20	-76
5	-24	13	-51	21	-79
6	-28	14	-55	22	-82
7	-31	15	-58	23	-86

На рисунке 1.6 приведены графики изменения стыковых зазоров без изгиба и с 7-градусным изгибом для Гомельской дистанции пути при конструктивном стыковом зазоре, равном 23 мм.

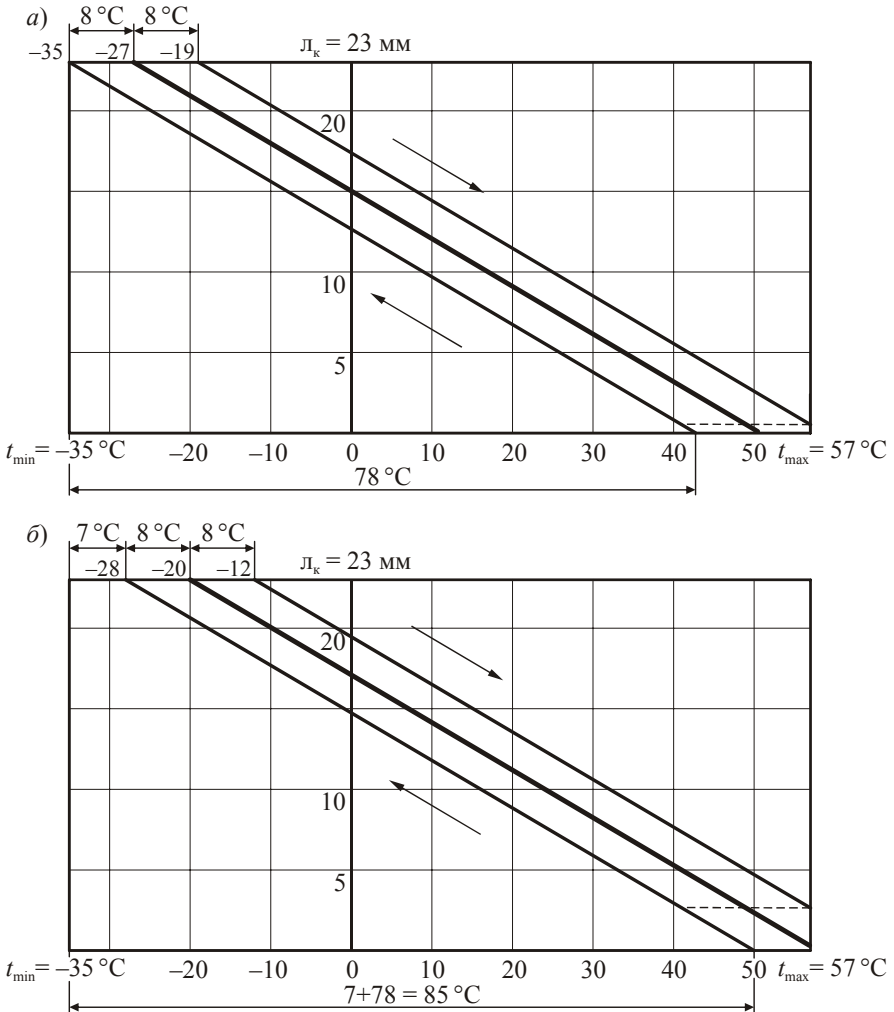


Рисунок 1.6 – Графики изменения стыковых зазоров для Гомельской дистанции пути при конструктивном стыковом зазоре 23 мм: а – без изгиба стыковых болтов; б – с 7-градусным изгибом

При конструктивном стыковом зазоре 23 мм (см. рисунок 1.6, а и б) при эксплуатации звеньевое пути без изгиба и с изгибом стыковых болтов в

обоих случаях стыковой зазор используется не полностью (пунктирная линия). Это говорит о том, что в случае эксплуатации 25-метровых рельсов типа Р65 с шестидырными накладками в условиях Гомельской дистанции пути с годовой амплитудой температур, равной $92\text{ }^{\circ}\text{C}$, фактические годовые изменения длины рельсов будут компенсироваться конструктивной величиной стыкового зазора 23 мм . При этом также отсутствует необходимость включения стыковых болтов в работу на изгиб. В этом случае построение графиков изменения стыковых зазоров также производят из условия $\lambda = 0$ при t_{\max} (см. таблицу 1.13). При этом при наступлении минимальной расчетной температуры стыковой зазор раскроется не полностью (рисунок 1.7, пунктирная линия), что благоприятно скажется на условиях работы звеньевого пути, т. к. исключается работа стыковых болтов на изгиб, а также уменьшается динамическое воздействие подвижного состава на путь в зоне стыка.

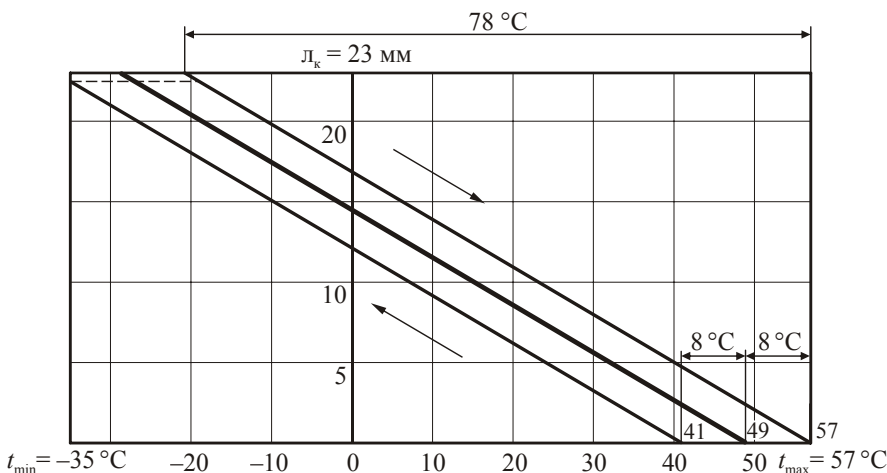


Рисунок 1.7 – Графики изменения стыковых зазоров для Гомельской дистанции пути исходя из условия $\lambda = 0$ при t_{\max} при конструктивном стыковом зазоре 23 мм

1.8.5 Определение сжимающих и растягивающих температурных сил для Гомельской дистанции пути

При проведении промера стыковых зазоров звеньевого пути установлено, что в районе Гомеля, где $t_{\max} = +57\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\min} = -35\text{ }^{\circ}\text{C}$, при температуре $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ средний стыковой зазор 25-метровых рельсов типа Р65 на прямой по обеим рельсовым нитям оказался равным 8 мм .

Требуется проверить работоспособность железнодорожного пути в летних и зимних условиях и наметить меры для обеспечения безопасности движения поездов.

По зависимости (1.19) определяем, что наибольшие сжимающие температурные силы в момент наступления максимальной расчетной температуры, при $F = 82,65 \text{ см}^2 = 82,65 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, составят

$$N_{\text{сж}} = 2 \cdot 0,0000118 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 82,65 \cdot 10^{-4} (57 - 5 - 8/0,295) = 1019 \text{ кН.}$$

Такие сжимающие силы не нарушат устойчивость рельсошпальной решетки, поэтому эксплуатация пути с такими зазорами в летних условиях на прямых не создает трудностей, т. к. $N_{\text{сж}} = 1019 \text{ кН} < N_{\text{к}} = 1560 \text{ кН}$ (см. таблицу 1.8).

Растягивающие силы определим по формуле (1.21), но перед этим проверим выполнение условия (1.22):

$$-35 - 5 + (21 - 8)/0,295 = 4,1 > 0.$$

Так как условие не выполняется, то это говорит о том, что изгиб болтов будет отсутствовать даже при минимальной расчетной температуре. Иными словами, в момент наступления минимальной температуры стыковые зазоры не будут достигать конструктивного значения, что облегчает взаимодействие пути и подвижного состава в зоне стыка. Поэтому зимой в работе 25-метровых рельсов никаких затруднений не ожидается.

Для оптимизации температурной работы пути необходимо рекомендовать увеличить стыковые зазоры за счет их разгонки или регулировки. Если опасное состояние зазоров будет обнаружено весной, то разгонка или регулировка зазоров должна быть проведена немедленно. Если же такое положение имело бы место осенью, то производство этих работ может быть перенесено на весеннее время, так как зимой обеспечивается нормальная эксплуатация железнодорожного пути. Увеличивать или уменьшать стыковые зазоры в каждом конкретном случае необходимо до их рекомендуемой величины для фактической температуры. В данном случае необходимо на 3–4 мм уменьшить величину стыковых зазоров, так как в районе Гомеля температуре 5 °С соответствует нормальный стыковой зазор 11 мм. При этом сжимающие и растягивающие силы соответственно составят

$$N_{\text{сж}} = 2 \cdot 0,0000118 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 82,65 \cdot 10^{-4} (57 - 5 - 11/0,295) = \\ = 602\,618 \text{ Н} = 603 \text{ кН,}$$

$$N_{\text{раст}} = 2 \cdot 0,0000118 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 82,65 \cdot 10^{-4} [-35 - 5 + (21 - 11)/0,295] = \\ = 249\,934 \text{ Н} = 250 \text{ кН.}$$

Значит, летом сжимающие силы в этом случае уменьшаться с 1019 до 603 кН, а зимой же стыковые болты будут изгибаться силой

$$250 - R = 250 - 160 = 90 \text{ кН},$$

но особых трудностей это не вызовет, т. к. при наличии таких растягивающих сил в пути среза болтов не произойдет.

1.8.6 Расчет влияния ошибки при установке зазоров

Фактические температурные силы с учетом ошибки при установке стыковых зазоров в районе Гомеля, где годовая амплитуда колебания температуры рельсов составляет 92 °С, определяем по формуле (1.24) с учетом дополнительных сил по таблице 1.9. Так, например, фактическая температурная сжимающая сила

$$N_{\text{факт}} = 26EF \left(T_A - \frac{L_k}{6l} - \frac{R}{6EF} \right) = 2 \cdot 0,0000118 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 82,65 \cdot 10^{-4} \left(92 - \frac{21}{0,0000118 \cdot 25000} - \frac{160000}{0,0000118 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 82,65 \cdot 10^{-4}} \right) = 540120 \text{ Н} = 540 \text{ кН},$$

а с учетом ошибки при установке нормальных зазоров в 2 мм –

$$N_{\text{сум}} = 540 + 278 = 818 \text{ кН}.$$

Результаты расчета сводим в таблицу 1.14.

Таблица 1.14 – Суммарные сжимающие температурные силы с учетом установки зазоров, меньше рекомендуемых

В килоньютонах

Тип рельсов	Величина, на которую фактические зазоры отличаются от рекомендуемых, мм				
	2	4	6	8	10
Р65	818	1096	1374	1652	1930

Неточная установка стыковых зазоров, увеличивая температурные силы в пути, повышает вероятность нарушения устойчивости рельсошпальной решетки летом и среза болтов или разрыва стыков в зимнее время.

Как видно из таблицы 1.14, для района Гомеля с годовой амплитудой колебания температуры рельсов 92 °С ошибка в 8 мм является недопустимой, так как может привести к выбросу пути на прямых, не говоря уже о кривых участках пути.

Следовательно, для обеспечения бесперебойного движения поездов и нормальной работы железнодорожного пути при укладке 25-метровых рельсов необходимо повсеместно более тщательно устанавливать рекомендуемые стыковые зазоры в соответствии с фактической температурой рельсов и своевременно устранять появившиеся отступления.

2 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ СТЫКОВЫХ ЗАЗОРОВ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЗВЕНЬЕВОГО ПУТИ

2.1 Общие сведения

Эксплуатация 25-метровых рельсов с существующим конструктивным зазором на Белорусской железной дороге вызывает определенные трудности. В зимнее время возрастают случаи среза болтов или разрыва стыков, приводящие к перерыву движения и другим недопустимым последствиям. Летом при наступлении максимальных расчетных или близких к ним температур происходят выбросы звеньевого пути, которые могут привести к авариям и крушениям поездов.

В настоящее время сплошные промеры стыковых зазоров звеньевого пути проводятся два раза в год: весной и осенью. Работники путевого хозяйства должны уметь анализировать фактическое состояние стыковых зазоров, определять необходимость применения тех или иных неотложных мер по разгонке и регулировке зазоров, обеспечивающих надежную работу звеньевого пути и высокий уровень безопасности движения поездов.

В существующих нормативных документах, определяющих условия установки и содержание стыковых зазоров отсутствуют жесткие требования к точности начальной установки зазоров и их последующего содержания в процессе эксплуатации. Указанные документы не полностью отвечают требованиям практики эксплуатации 25-метровых рельсов, содержат некоторые неопределенные, противоречивые рекомендации и в известной степени устарели.

2.2 Анализ состояния стыковых зазоров

На заданном километре анализу подвергаются стыковые зазоры 25-метровых рельсов по обеим рельсовым ниткам, замеренные при сплошной проверке состояния зазоров и фиксированной температуре рельсов. Вначале отмечается, что зазоры по левой нитке изменяются от λ_{\min} до λ_{\max} , превышают или не превышают фактические стыковые зазоры конструктивную их величину. Аналогичный вывод делается и по правой нитке. Затем строится гистограмма состояния стыковых зазоров 25-метровых рельсов, которая характеризует их на период сплошного промера при фактической температуре рельсов.

При построении гистограммы в зависимости от фактического состояния стыковых зазоров назначается не менее 7–8 интервалов с шагом через каждые 2–4 мм с таким расчетом, чтобы охватить весь диапазон значений стыковых зазоров указанного километра.

Установление закономерностей, которым подчиняются массовые, случайные явления, основано на изучении статистических данных о том, какие значения принял в результате наблюдений интересующий исследователя

признак, в нашем случае – величина стыкового зазора. Изучение статических данных начинается с их группировки.

Для построения интервального вариационного ряда необходимо определить величину интервала, установить полную шкалу интервалов, в соответствии с ней сгруппировать результаты наблюдений. Для определения оптимальной величины интервала (h), т. е. такой, при которой построенный интервальный ряд не был бы слишком громоздким и в то же время позволял выявить характерные черты рассматриваемого явления, можно использовать формулу Стерджеса

$$h = (X_{\max} - X_{\min})/k, \quad (2.1)$$

где X_{\max} и X_{\min} – соответственно максимальное и минимальное значения стыкового зазора, мм;

k – число интервалов разбиения выборки,

$$k \approx 1 + 3,3221 \lg n; \quad (2.2)$$

n – число анализируемых зазоров.

Если h окажется дробным числом, то за величину интервала следует взять ближайшее целое число. За начало первого интервала рекомендуется принимать величину, равную $(X_{\min} - h/2)$. Тогда, если a_i – начало i -го интервала, то $a_1 = X_{\min} - h/2$; $a_2 = a_1 + h$; $a_3 = a_2 + h$ и т. д.

Построение интервалов продолжают до тех пор, пока начало следующего по порядку интервала будет равным или большим X_{\max} . Для удобства число интервалов, как правило, не должно быть меньше семи и больше тридцати.

После установления шкалы интервалов следует приступить к группировке результатов наблюдений. Для этого просчитывают количество наблюдений, попавшее в каждый из интервалов. В интервал включаются варианты, большие, чем нижняя граница интервала и меньшие или равные верхней границе интервала. Общее количество результатов наблюдений, попавшее в какой-либо интервал, и будет определять его частоту.

Далее необходимо определить числовые характеристики рассматриваемой случайной величины.

Математическое ожидание, характеризующее среднее значение величины зазора,

$$M[X] = \sum_i x_i p_i, \quad (2.3)$$

где p_i – вероятность появления зазора величиной x_i .

Дисперсия – мера рассеивания значений величины зазора относительно ее математического ожидания, определяемая по формуле

$$D[X] = \sum_i (x_i - M[X])^2 p_i = \sum_i x_i^2 p_i - (M[X])^2. \quad (2.4)$$

Среднее квадратическое отклонение, характеризующее степень разброса значений величины зазора,

$$\sigma[X] = \sqrt{D[X]} . \quad (2.5)$$

Статистический анализ величины зазоров на рассматриваемом километре пути позволяет определить:

- среднее значение величины стыковых зазоров;
- среднеквадратическое отклонение, характеризующее степень разброса значений величины зазора;
- медиану, то есть такое значение стыкового зазора, при котором равновероятно, что величина зазора будет больше или меньше этого значения;
- дисперсию, характеризующую степень разброса значений;
- минимальное и максимальное наблюдаемое значение зазора.

Подбор закона распределения (нормального распределения) выполняется для уровня значимости 0,95.

Графическое изображение вариационного ряда позволяет представить в наглядной форме закономерности варьирования значений признака. Для построения гистограммы, служащей для изображения только интервального вариационного ряда, в прямоугольной системе координат по оси абсцисс откладывают отрезки, изображающие интервалы варьирования, и на этих отрезках, как на основании, в определенном масштабе, строят прямоугольники с высотами, равными частотам соответствующего интервала. В результате построения получается ступенчатая фигура, состоящая из прямоугольников, которая называется гистограммой (рисунок 2.1).

Если по оси абсцисс выбрать такой масштаб, чтобы ширина интервала была равна единице, а по оси ординат считать, что единица масштаба соответствует одному наблюдению, то очевидно, что площадь гистограммы равна общему числу наблюдений, если по оси ординат откладывались частоты, и равна единице, если откладываются частоты.

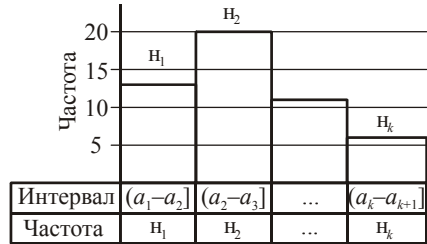


Рисунок 2.1 – Гистограмма интервального вариационного ряда

2.3 Определение и построение попикетных фактических сжимающих перепадов температур

Результаты сплошного весеннего промера состояния стыковых зазоров 25-метровых рельсов анализируются с целью определения надежной работы звеньевого пути в момент наступления максимальных расчетных или близких к ним температур. Для этого производится расчет фактических перепадов температур от момента появления нулевого зазора на пикете до наступления максимальной расчетной температуры. Один зазор не может оказывать существенного влияния на работоспособность звеньевого пути, он все-

гда может откорректироваться и измениться за счет соседних зазоров. Поэтому за расчетный принимается средний зазор на пикете, на протяжении которого может сформироваться и произойти выброс рельсошпальной решетки.

Определение фактических сжимающих перепадов температур или перепадов температур от момента появления нулевого зазора до наступления максимальной расчетной температуры рельсов производится по следующей зависимости:

$$\Delta t_{сж} = t_{\max} - (t + \lambda_{ср}/\alpha l) = t_{\max} - t - 3,4\lambda_{ср}, \quad (2.6)$$

где t – температура, при которой осуществляется замер зазоров, °С;

$\lambda_{ср}$ – средний зазор на пикете по обоим рельсовым нитям, мм;

3,4 – перепад температур, при котором 25-метровый рельс изменяет свою длину на 1 мм.

Средний зазор на пикете

$$\lambda_{ср} = \frac{\sum \lambda_i^{пр} + \sum \lambda_i^{лев}}{8}, \quad (2.7)$$

$\sum \lambda_i^{пр}$ и $\sum \lambda_i^{лев}$ – сумма зазоров на пикете соответственно по правой и левой ниткам, мм.

По результатам расчетов строятся попикетные графики фактических сжимающих перепадов температур на заданном километре (рисунок 2.2), которые сравниваются с допускаемыми (см. таблицу 1.3).

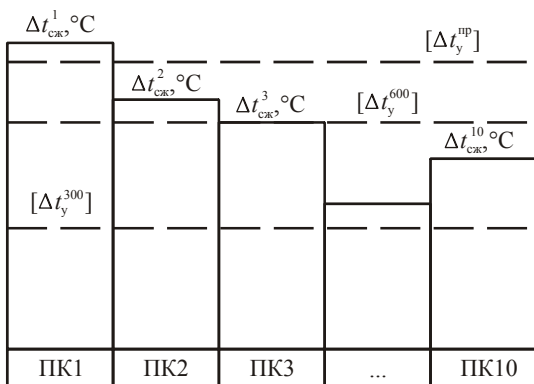


Рисунок 2.2 – График попикетных сжимающих перепадов температуры

На графике фактических сжимающих перепадов температур $t_{сж}$ пунктиром проводятся значения t_y , допускаемые по устойчивости звеньевое пути на прямой и в кривых радиусом 600 и 300 м, если не задан конкретный радиус кривой (см. рисунок 2.2).

Анализируя график фактических сжимающих и допускаемых сжимающих перепадов температур по устойчивости пути делается вывод об угрозе нарушения устойчивости рельсошпальной решетки на каждом пикете при наступлении максимальных или близких к ним температур.

на каждом пикете при наступлении максимальных или близких к ним температур.

2.4 Построение графика максимальных стыковых зазоров

Результаты сплошного осеннего промера состояния стыковых зазоров анализируются с целью прогнозирования нормальной работы звеньевоего пути в момент наступления минимальной расчетной температуры t_{\min} , а также для определения неотложных работ по разгонке или регулировке стыковых зазоров.

Максимально возможный стыковой зазор по обеим рельсовым ниткам в зимнее время

$$\lambda = \lambda_{\phi} + \lambda', \quad (2.8)$$

где λ' – величина, на которую раскроется стыковой зазор при понижении температуры от температуры замера t до минимальной расчетной t_{\min} , мм,

$$\lambda' = \alpha l(t - t_{\min}) = 0,295(t - t_{\min}); \quad (2.9)$$

λ_{ϕ} – фактический стыковой зазор по правой или левой рельсовой нитке, мм;
 t – температура, соответствующая фактическому зазору (температура замера стыкового зазора) °С.

Максимально возможные стыковые зазоры, определенные по каждой рельсовой нитке, откладываются в обе стороны от линейки измеренных зазоров на километре в каждом стыке (рисунок 2.3). Обычно фактические стыковые зазоры откладываются в масштабе 1:1. В принятом масштабе проводится пунктирная горизонтальная линия, характеризующая величину конструктивного стыкового зазора. Максимально возможные стыковые зазоры в зимнее время сравниваются с конструктивными и делаются соответствующие выводы:

- 1) фактический зазор больше или меньше конструктивного;
- 2) может ли произойти срез болтов и разрыв стыков;
- 3) нужно ли проводить неотложные работы по разгонке или регулировке стыковых зазоров.

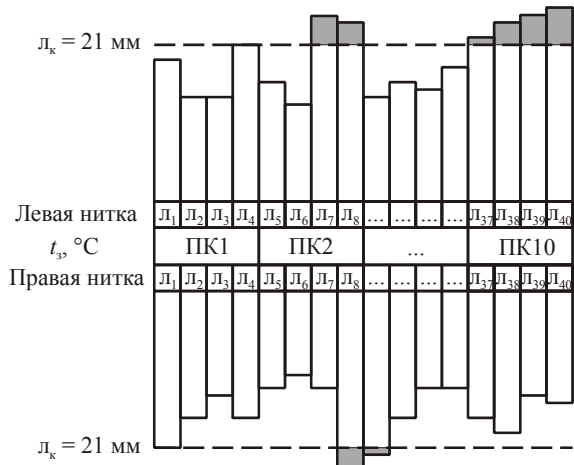


Рисунок 2.3 – График раскрытия стыковых зазоров при наступлении минимальной расчетной температуры

При раскрытии стыкового зазора сверх конструктивной величины включаются на изгиб стыковые болты, которые по мере дальнейшего понижения

температуры до определенного значения могут быть срезаны, что, несомненно, приведет к разрыву стыков.

Наибольший перепад температуры, изгибающий стыковые болты в момент наступления минимальной расчетной температуры,

$$\Delta t_{\text{изг}} = t_{\text{min}} - t + 3,4(\lambda_{\text{к}} - \lambda_{\text{ф}}). \quad (2.10)$$

Формула справедлива при отрицательном значении правой части.

2.5 Анализ надежности работы звеньевое пути

На основании расчетов и анализа состояния стыковых зазоров весеннего промера прогнозируется надежность работы звеньевое пути на заданном километре по устойчивости пути и даются рекомендации о необходимости выполнения неотложных работ по разгонке и регулировке стыковых зазоров. При наличии угона проводят дополнительные сплошные промеры стыковых зазоров 25-метровых рельсов накануне ожидаемого наступления экстремальных или близких к ним температур.

На основании анализа зазоров осеннего промера и построения графика ожидаемого раскрытия зазоров зимой, даются выводы и рекомендации о надежности работы звеньевое пути в момент наступления минимальных расчетных температур, а также о необходимости неотложных работ по разгонке и регулировке стыковых зазоров на пикетах и в стыках, где возможен срез болтов или разрыв стыков.

2.6 Пример анализа состояния стыковых зазоров

2.6.1 Исходные данные

Участок звеньевое пути (длина рельсов 25 м, рельсы типа Р65, накладки 6-дырные) на деревянных шпалах и костыльном скреплении длиной 1 км находится на Гомельской дистанции пути Белорусской железной дороги ($t_{\text{max}} = +57^\circ\text{C}$, $t_{\text{min}} = -35^\circ\text{C}$). Даны стыковые зазоры, определенные при весеннем сплошном промере при температуре $t_3 = +5^\circ\text{C}$ (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Результаты замера стыковых зазоров при температуре $+5^\circ\text{C}$

Л. н.	7	2	9	9	4	4	12	5	7	4	3	6	10	8	13	14	13	14	7	6	11	10	5	8	7	11	9	12	10	9	17	13	14	15	16	5	3	4	1	2
ПК	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10																					
Пр. н.	1	5	2	5	1	4	1	7	6	5	5	1	5	7	2	3	10	8	3	5	12	3	4	10	5	2	3	12	2	4	2	4	6	5	4	5	1	8	6	3
<i>Примечание – Л. н. – левая нитка, пр. н. – правая нитка.</i>																																								

2.6.2 Анализ состояния стыковых зазоров на заданном участке

Оцениваем общее состояние зазоров. В рассматриваемом примере отмечаем, что зазоры по левой нитке изменяются от 1 до 17 мм, а по правой нит-

ке – от 1 до 12 мм (см. рисунок 2.1), и не превышают конструктивного значения зазора.

Установим закономерности, которым подчиняются величины зазоров на заданном участке. Изучаем статистические данные – сведения о том, какие значения принимает величина зазора в результате наблюдений.

Вначале построим столбцовую диаграмму наблюдаемых значений величины зазора. Группировку ее значений выполним с помощью интервального статистического ряда. Для этого определим число интервалов разбиения выборки, а также длину и границы интервалов статистического ряда непрерывной случайной величины зазора по формулам (2.2) и (2.1):

$$k \approx 1+3,322\lg 80 \approx 7,3 \text{ интервалов}; h = (17 - 1)/7 = 2,3.$$

В результате число интервалов должно быть не менее 7 через 2 мм.

Подсчитываем частоты и частоты попадания выборочных значений случайной величины зазора в тот или иной полуинтервал, результаты сводим в таблицу 2.2. На основании полученных данных строим столбцовую диаграмму (рисунок 2.4).

Таблица 2.2 – Интервальный статистический ряд

Интервал, мм	0–2	2–4	4–6	6–8	8–10	10–12	12–14	14–16	16–18
Частота	13	16	17	10	9	6	6	2	1
Частость	0,1625	0,2000	0,2125	0,1250	0,1125	0,0750	0,0750	0,0250	0,0125

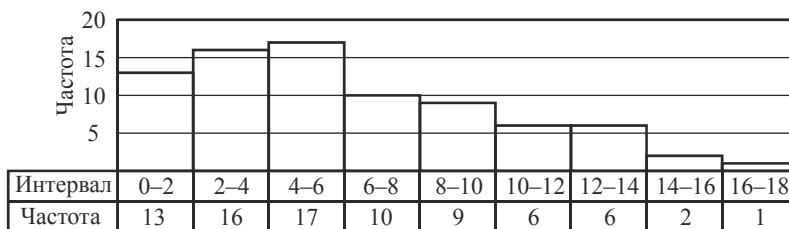


Рисунок 2.4 – Гистограмма состояния стыковых зазоров

Определим по формуле (2.3) математическое ожидание. При этом вероятность появления зазора будем определять как отношение частоты его появления на общее количество измерений.

$$M[X] = (1 \cdot 6/80 + 2 \cdot 7/80 + 3 \cdot 7/80 + 4 \cdot 9/80 + 5 \cdot 10/80 + 6 \cdot 7/80 + 7 \cdot 6/80 + 8 \cdot 4/80 + 9 \cdot 4/80 + 10 \cdot 5/80 + 11 \cdot 2/80 + 12 \cdot 4/80 + 13 \cdot 3/80 + 14 \cdot 3/80 + 15 \cdot 1/80 + 16 \cdot 1/80 + 17 \cdot 1/80) = 6,6 \text{ мм.}$$

Далее по формуле (2.4) определим дисперсию:

$$D[X] = (1^2 \cdot 6/80 + 2^2 \cdot 7/80 + 3^2 \cdot 7/80 + 4^2 \cdot 9/80 + 5^2 \cdot 10/80 + 6^2 \cdot 7/80 + 7^2 \cdot 6/80 + 8^2 \cdot 4/80 + 9^2 \cdot 4/80 + 10^2 \cdot 5/80 + 11^2 \cdot 2/80 + 12^2 \cdot 4/80 + 13^2 \cdot 3/80 + 14^2 \cdot 3/80 + 15^2 \cdot 1/80 + 16^2 \cdot 1/80 + 17^2 \cdot 1/80) - 6,6^2 = 16,44 \text{ мм}^2.$$

По формуле (2.5) определяем среднеквадратическое отклонение:

$$\sigma[X] = \sqrt{16,44} = 4,1 \text{ мм}.$$

Статистический анализ величины зазоров на рассматриваемом километре пути позволяет сделать следующие выводы:

- при объеме выборки 80 зазоров среднее значение их величины составляет 6,6 мм;

- среднеквадратическое отклонение, характеризующее степень разброса значений величины зазора составляет 4,1 мм, что довольно велико;

- оценка медианы – 5,0 мм, то есть равновероятно, что величина зазора будет больше или меньше 5 мм;

- оценка дисперсии, характеризующей степень разброса значений, – 16,44 мм²;

- минимальное наблюдаемое значение зазора равно 1, а максимальное – 17 мм.

Подбор закона распределения (нормального распределения) выполняется для уровня значимости 0,95. Для рассматриваемого километра можно утверждать, что с вероятностью 0,95 (при данной температуре и технологии обслуживания пути) средняя величина зазора будет принадлежать интервалу (2,5; 10,7). Все отклонения средних значений зазора (на других участках) от указанного интервала можно считать существенными.

2.6.3 Определение и построение попикетных фактических сжимающих перепадов температур для заданного участка пути

Определим фактические сжимающие перепады температур по формуле (2.6), при этом предварительно по формуле (2.7) необходимо рассчитать средний зазор на пикете. Для первого пикета получим

$$\lambda_{\text{ср}} = (7 + 2 + 9 + 9 + 1 + 5 + 2 + 5)/8 = 5,0 \text{ мм};$$

$$t_{\text{сж}} = 57 - 5 - 3,4 \cdot 5,0 = 35 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Расчет на других пикетах производим аналогично. Результаты сводим в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 – Расчет сжимающих перепадов температур

Пикеты	$\lambda_{\text{ср}}$, мм	t_{max} , °C	t_3 , °C	$t_{\text{сж}}$, °C	Пикеты	$\lambda_{\text{ср}}$, мм	t_{max} , °C	t_3 , °C	$t_{\text{сж}}$, °C
1	5,0	+57	+5	35	6	7,9	+57	+5	25
2	4,8			36	7	7,6			26
3	4,6			36	8	7,6			26
4	7,8			25	9	8,8			22
5	8,3			24	10	3,5			40

По результатам расчетов строим попикетные графики фактических сжимающих перепадов температур $\Delta t_{\text{сж}}$ на заданном километре (рисунок 2.5, а), которые необходимо сравнить с допускаемыми. На графике проводим пунктиром значения $[\Delta t_y]$, допускаемые по устойчивости звеньевому пути с рельсами типа Р65 на прямой и в кривых радиусом 600 и 300 м, для которых t_y соответственно равны 38, 30 и 16 °С.

Анализируя график фактических и допускаемых сжимающих перепадов температур по устойчивости пути можно отметить следующее:

- на прямой только на 10-м пикете фактический сжимающий перепад температуры превышает допускаемое значение, что создает угрозу нарушения устойчивости рельсошпальной решетки при наступлении максимальных расчетных или близких к ним температур. На указанном пикете необходимо произвести разгонку или регулировку стыковых зазоров, т. е. увеличить на этом пикете зазоры до нормальной величины. На остальном протяжении километра летом будет обеспечиваться нормальная эксплуатация 25-метровых рельсов, поэтому дополнительных работ проводить не следует;

- в кривых радиусом 600 м и более фактические сжимающие перепады температур, превышающие допускаемые, зафиксированы на 1, 2, 3 и 10-м пикетах. Во избежание нарушения устойчивости звеньевому пути на этих пикетах необходимо увеличить зазоры, произвести разгонку и регулировку стыковых зазоров 25-метровых рельсов. На остальном протяжении можно такую работу не выполнять;

- в кривых радиусом 300 м и менее опасность выброса пути имеется на протяжении всего километра. Необходимо в процессе разгонки и регулировки стыковых зазоров 25-метровых рельсов увеличить стыковые зазоры.

Анализируя состояние фактических зазоров, следует отметить, что увеличение зазоров потребуется только на правой рельсовой нити, где зазоры намного меньше, чем по левой нитке, и имеется много близких к нулевым. Если нет возможности отрегулировать величину стыковых зазоров за счет зазоров смежных пикетов, то для обеспечения нормальной эксплуатации звеньевому пути потребуется один или два рельса со стандартным укорочением. При этом в месте укладки укороченных рельсов необходимо обязательно отрегулировать стыковые зазоры.

Аналогичный анализ можно произвести по определению работы 25-метровых рельсов в кривых участках пути любого другого радиуса, по результатам которого планируется выполнение работ по разгонке и регулировке стыковых зазоров для предупреждения выброса пути летом.

2.6.4 Построение графика максимально возможных стыковых зазоров для заданного участка пути

Согласно формуле (2.9) дальнейшее раскрытие зазора при понижении температуры от температуры замера до минимальной расчетной составит

$$\lambda' = 0,295(t - t_{\text{min}}) = 0,295(5 - (-35)) = 12 \text{ мм.}$$

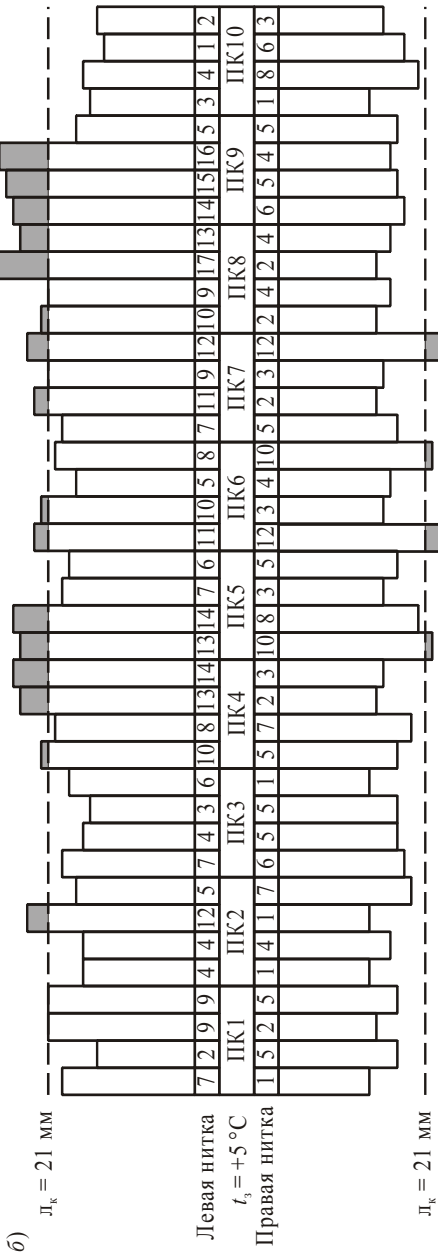
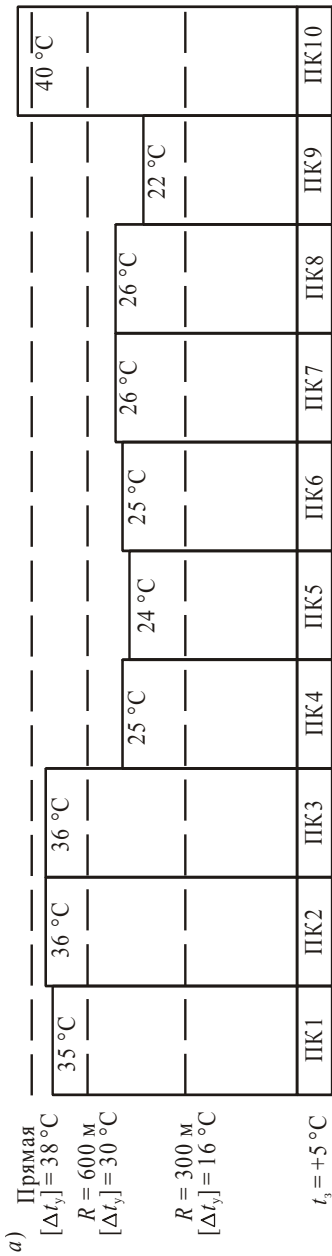


Рисунок 2.5 – Анализ надежности работы звеньев пути:
 а – по устойчивости пути в момент наступления максимальной расчетной температуры;
 б – на изгиб и срез болтов при наступлении минимальной расчетной температуры

Полученную величину нужно прибавить к каждому стыковому зазору на рассматриваемом километре. Для первого пикета получим:

по левой рельсовой нитке

$$\lambda_1 = 7 + 12 = 19 \text{ мм,}$$

$$\lambda_2 = 2 + 12 = 14 \text{ мм,}$$

$$\lambda_3 = 9 + 12 = 21 \text{ мм,}$$

$$\lambda_4 = 9 + 12 = 21 \text{ мм,}$$

по правой рельсовой нитке

$$\lambda_1 = 1 + 12 = 13 \text{ мм,}$$

$$\lambda_2 = 5 + 12 = 17 \text{ мм,}$$

$$\lambda_3 = 2 + 12 = 14 \text{ мм,}$$

$$\lambda_4 = 5 + 12 = 17 \text{ мм.}$$

Аналогично рассчитываем зазоры и для остальных пикетов. Результаты расчета максимально возможных стыковых зазоров при наступлении минимальной расчетной температуры приведены на рисунке 2.5, б.

Анализируя результаты расчетов максимального раскрытия стыковых зазоров в зимнее время, отмечаем, что по правой нитке, за редким исключением, фактические зазоры не достигнут своего конструктивного значения. Для зимних условий эксплуатации 25-метровых рельсов такое состояние зазоров является благоприятным: снижается уровень динамического воздействия колес подвижного состава на рельсы в зоне стыка, снижаются расстройство пути и подвижного состава, а также выход рельсов и ходовых частей подвижного состава и т. д. Однако состояние зазоров для летних условий эксплуатации 25-метровых рельсов является неудовлетворительным. Почти на всем протяжении километра по правой нитке, за исключением 17, 18, 21, 24, 28 и 38-го зазоров, потребуется увеличить все стыковые зазоры на 5–8 мм. Эту работу следует перенести на весенний период и окончательное заключение о необходимости выполнения разгонки и регулировки стыковых зазоров, состояние которых изменится и произойдет перераспределение нулевых и растянутых зазоров под воздействием температурных сил и сил угона, сделать после сплошного весеннего промера стыковых зазоров.

По левой рельсовой нитке на 4, 5, 8 и 9-м пикетах все зазоры необходимо уменьшить, так как стыковые зазоры в зимнее время могут достигать 28–29 мм. Такое состояние стыковых зазоров, безусловно, может привести к срезу болтов и разрыву стыков, поэтому регулировку стыковых зазоров на указанных пикетах необходимо произвести до наступления зимних холодов. Сказанное справедливо для эксплуатации звеньевого пути без изгиба болтов. С учетом включения стыковых болтов на 7-градусный изгиб в выводы и рекомендации вводятся соответствующие коррективы. При эксплуатации 25-метровых рельсов с 7-градусным изгибом болтов облегчается температурная работа в летний период, а зимой приводит к увеличению стыкового зазора и динамического воздействия колес подвижного состава в зоне стыка.

3 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЕЙ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ

3.1 Общие сведения

Основное отличие бесстыкового пути от звеньевого состоит в том, что в рельсовых плетях действуют значительные продольные силы, вызываемые изменениями их температуры относительно температуры закрепления [5]. Величина температурных сил не зависит от длины плетей. Вместе с тем их увеличение до длины блок-участка, одного или нескольких перегонов позволяет резко уменьшить количество уравнительных пролетов и стыков, а соответственно и более слабых участков пути, наиболее подверженных интенсивному расстройству.

Температурная работа бесстыкового пути определяется погонным и стыковым сопротивлениями температурным деформациям рельсовых плетей. Указанные сопротивления в свою очередь зависят от натяжения стыковых, закладных и клеммных болтов. Несмотря на широкое внедрение путевых машин и механизмов, не всегда и не везде обеспечивается надежное закрепление клеммных и закладных болтов, что является одной из причин нестабильного положения железнодорожного пути и его неравномерного угона относительно смежных створов. До сего времени отсутствует простая и надежная аппаратура для замера температурных фактических продольных сжимающих и растягивающих сил. Поэтому наиболее приемлемым является организация наблюдений за продольными перемещениями рельсовых плетей относительно смежных створов. При сокращении длины 100-метрового участка рельсовой плети появляются дополнительные сжимающие продольные силы, а при увеличении его длины – дополнительные растягивающие температурные силы.

Наблюдения за работой бесстыкового пути начинаются с момента его устройства. Особой заботой работников дистанции пути должно быть предотвращение угона плетей бесстыкового пути, который вызывает нарушение установленного температурно-напряженного режима их работы и может привести к опасным концентрациям растягивающих или сжимающих напряжений в плетях.

3.2 Порядок разбивки створов

С момента закрепления плетей при укладке должен быть организован постоянный контроль за усилиями прижатия рельсов к основанию и за продольными подвижками плетей. На наличие угона плетей указывают следы клемм на подошве рельсов, смещение подкладок по шпалам. На наличие угона всей рельсошпальной решетки, а соответственно и плетей, указывает взбугривание или неплотное прилегание балласта к боковым граням шпал и их перекося.

Контроль за угоном плетей осуществляется по смещению контрольных сечений рельсовой плети относительно «маячных» шпал. Эти сечения отмечают поперечными полосами шириной 10 мм, наносимыми при помощи трафаретов несмываемой светлой (белой) краской: на подкладку, на верх подошвы и шейку рельсов внутри колеи в створе с боковой гранью подкладки подкладочных креплений (рисунок 3.1, *а*); на шпалу, на верх подошвы и шейку рельсов в створе с боковой гранью верхней площадки шпалы для бесподкладочных креплений (рисунок 3.1, *б*) [6]. На участках с загрязнением рельсовых плетей внутри колеи разрешается наносить риски с наружной стороны колеи.

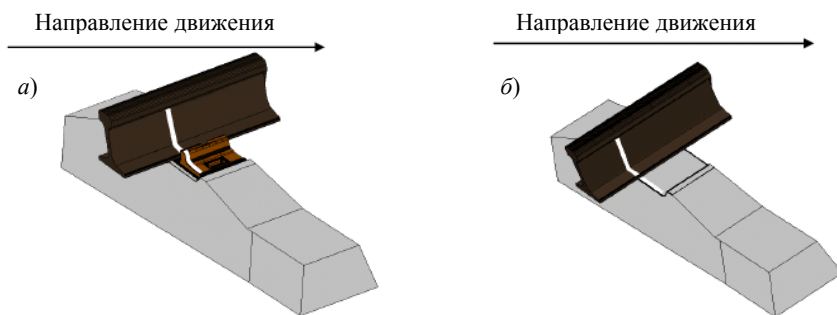


Рисунок 3.1 – «Маячная» шпала для контроля смещения рельсовой плети для подкладочных (*а*) и бесподкладочных (*б*) креплений

В качестве «маячной» шпалы выбирается шпала, расположенная напротив пикетного столбика. Расстояние от конца плети до первой «маячной» шпалы не должно превышать 60–95 м. «Маячная» шпала всегда должна быть хорошо подбита. При креплениях КБ-65 закладные болты на ней должны быть затянуты, а типовые клеммы заменены клеммами с уменьшенной высотой ножек. Независимо от конструкции креплений резиновые или резинокордовые подрельсовые прокладки на «маячных» шпалах заменяются полиэтиленовыми или другими с низким коэффициентом трения.

Оборудование «маячных» шпал производится до укладки плетей, а нанесение рисок на плетях – сразу же после ввода их в оптимальный интервал закрепления.

Основной обязанностью дорожного мастера и бригадира пути должно быть обеспечение достоверности контроля за подвижками плетей. Для этого, до производства работ, при которых может произойти смещение «маячной» шпалы, необходимо заменить на участках бесстыкового пути со креплениями КБ-65 полиэтиленовые прокладки и укороченные клеммы на типовые, обеспечить на всех «маячных» шпалах нормативное прижатие рельсов, и зафиксировать положение рисок на рельсах относительно «маячных» шпал до и после работ.

Контроль за продольными перемещениями плети по «маячным» шпалам может быть дополнен контролем по поперечным створам, закрепленным

постоянными реперами, в качестве которых могут быть использованы опоры контактной сети, искусственные сооружения, специально врытые в грунт столбики, отрезки рельсов и другие неподвижные сооружения около пути. Створ образуется леской, натягиваемой между двумя расположенными друг против друга реперами. Начальное положение плети относительно лески фиксируется на нерабочей грани головки рельса масляной краской.

Согласно техническим указаниям [6] при обнаружении на «маячных» шпалах смещений контрольных сечений рельсов до 15 мм необходимо проверить на участке состояние скреплений. При смещениях до 20 мм следует определить изменения расстояний между смежными контрольными сечениями, учитывая размер и направление смещения. Перемещение плети по ходу километров считается положительным, против хода – отрицательным. Изменение расстояний между смежными контрольными сечениями определяют следующим образом: от значений перемещений относительно последующего створа (a_n) отнимают с учетом знака значение перемещения относительно предыдущего створа (a_{n-1}) по формуле

$$\Delta l = a_n - a_{n-1}. \quad (3.1)$$

Если изменения (удлинения или укорочения) 100-метрового участка между «маячными» шпалами не превышают 26 мм, можно ограничиться выполнением вышеуказанных мер, но при этом необходимо произвести изменение температуры закрепления плети на угнанном участке. Если же расстояние между контрольными сечениями изменилось больше чем на 26 мм, то это свидетельствует о значительном отклонении фактической температуры закрепления плетей от первоначальной, наблюдаемой при закреплении плетей на постоянный режим работы. В этом случае необходимо выполнить регулировку напряжений, которая должна производиться при температуре плетей, равной или меньшей их температуры закрепления.

Плановое закрепление (подтягивание) клеммных и закладных болтов скрепления КБ-65 на участках с грузонапряженностью до 25 млн т·км брутто/км пути в год должно производиться с периодичностью осенью один раз в год, а при грузонапряженности более 25 млн т·км брутто/км пути в год – не реже 2 раз в год.

Дополнительный контроль затяжки гаек клеммных и закладных болтов производится на участках, где появляется угон плетей.

3.3 Определение дополнительных сил от угона пути

Локальный угон рельсовой плети относительно створов или угон всей плети приводит к появлению дополнительных растягивающих или сжи-

мающих температурных сил. Указанные дополнительные и расчетные температурные силы в момент наступления экстремальных или близких к ним температур способны нарушить устойчивость бесстыкового пути летом или вызвать разрыв рельсовой плети в зимнее время. Поэтому для обеспечения надежной эксплуатации бесстыкового пути и безопасности движения поездов с максимальными установленными скоростями необходимо знать характер и величину продольных перемещений рельсовых плетей относительно смежных створов. Фактические напряжения $\sigma_{\text{ф}}$, возникающие при этом, не должны превышать допускаемых $[\sigma]$:

$$\sigma_{\text{ф}} = \sigma_t + \sigma_{\text{доп}} \leq [\sigma], \quad (3.2)$$

где σ_t – температурные продольные напряжения, МПа,

$$\sigma_t = \alpha E \Delta t; \quad (3.3)$$

где Δt – разность между фактической температурой плети $t_{\text{ф}}$ и температурой ее закрепления t_3 , °С;

$\sigma_{\text{доп}}$ – дополнительные напряжения, вызванные внешними силовыми воздействиями, МПа.

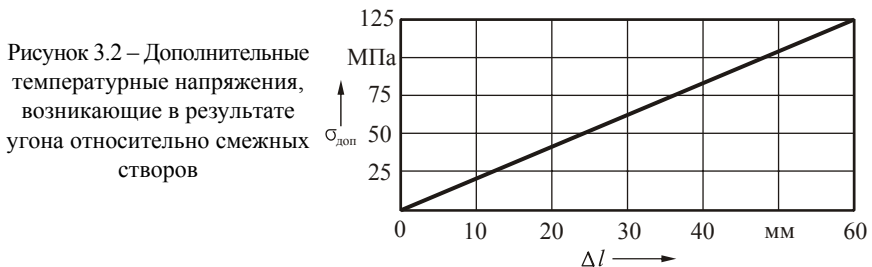
Дополнительные температурные напряжения от неравномерного угона рельсовых плетей относительно смежных створов прямо пропорциональны величине угона 100-метрового участка [7], и могут быть определены на основании закона Гука по следующей зависимости:

$$\sigma_{\text{доп}} = \pm \frac{\Delta l}{l} E, \quad (3.4)$$

где Δl – фактический угон рассматриваемого 100-метрового участка пути относительно смежных створов, мм;

l – расстояние между смежными створами, мм.

Зависимость дополнительных температурных напряжений от величины угона 100-метрового участка относительно смежных створов приведена на рисунке 3.2.



Из условия (3.2) можно определить допускаемые дополнительные напряжения:

$$[y_{\text{доп}}] = [y] - y_t = [y] - \beta E \Delta t . \quad (3.5)$$

В процессе эксплуатации бесстыкового пути на прямых или в кривых участках пути несложно определить фактические сжимающие или растягивающие температурные силы бесстыкового пути, состоящие на каждом конкретном 100-метровом участке рельсовой плети из расчетных и дополнительных, и сравнить их с допускаемыми. Расчетные значения температурных сил для конкретной температуры зависят от температуры закрепления рельсовой плети. Дополнительные сжимающие или растягивающие температурные напряжения зависят от величины угона 100-метрового участка рельсовой плети относительно смежных створов и могут быть с достаточной для практических целей точностью определены по графику (см. рисунок 3.2) или же рассчитаны по формуле (3.4).

3.4 Определение допускаемых величин угона

Наибольшую опасность представляют дополнительные сжимающие температурные силы, которые в сочетании с расчетными сжимающими температурными силами в момент наступления максимальных расчетных или близких к ним температур могут привести к выбросу железнодорожного пути.

Для типовых конструкций бесстыкового пути на прямых и в кривых участках пути различных радиусов в литературе [5, 6] даны допускаемые перепады температур по условию обеспечения устойчивости пути, а также по прочности рельсов при сжатии и растяжении. Используя эти данные, можно рекомендовать допуски перемещения от угона рельсовых плетей относительно смежных створов в зависимости от конструкции пути и плана линии.

Допускаемые значения перепада температур и сжимающих температурных напряжений по условию устойчивости бесстыкового пути при различных конструкциях верхнего строения пути приведены в таблице 3.1. Предполагается, что угон рельсовых плетей на пикете проявляется равномерно.

Оптимальный интервал закрепления рельсовых плетей для условий Белорусской железной дороги составляет 25–35 °С. Разрядку или регулировку температурных напряжений для исключения непроизводительных затрат и повышения эффективности бесстыкового пути, следует производить только при угрозе выброса пути. Поэтому целесообразно назначать допуски перемещений рельсовых плетей относительно створов для нижней и верхней границ оптимального интервала закрепления рельсовых плетей.

Таблица 3.1 – Допускаемые значения перепадов температур и сжимающих температурных напряжений по условию устойчивости пути

Тип рельсов	Этора шпал	Допускаемые значения перепадов температур $[\Delta t_y]$, °С, и сжимающих температурных напряжений $[\sigma]$, МПа, по условию устойчивости пути									
		в прямом участке	в кривых радиусом, м								
			2000	1200	1000	800	600	500	400	350	
Со щебнем из скальных пород											
Р65	2000	$\frac{58}{145,0}$	$\frac{53}{132,5}$	$\frac{51}{127,5}$	$\frac{49}{122,5}$	$\frac{47}{117,5}$	$\frac{43}{107,5}$	$\frac{41}{102,5}$	$\frac{38}{95,0}$	$\frac{35}{87,5}$	
	1840	$\frac{54}{135,0}$	$\frac{50}{125,0}$	$\frac{47}{117,5}$	$\frac{46}{115,0}$	$\frac{44}{110,0}$	$\frac{41}{102,5}$	$\frac{39}{97,5}$	$\frac{36}{90,0}$	$\frac{33}{82,5}$	
	1600	$\frac{47}{117,5}$	$\frac{43}{107,5}$	$\frac{41}{102,5}$	$\frac{40}{100,0}$	$\frac{38}{95,0}$	$\frac{36}{90,0}$	$\frac{33}{82,5}$	–	–	
Р50	2000	$\frac{63}{157,5}$	$\frac{58}{145,0}$	$\frac{55}{137,5}$	$\frac{54}{135,0}$	$\frac{51}{127,5}$	$\frac{48}{120,0}$	$\frac{46}{115,0}$	$\frac{43}{107,5}$	$\frac{39}{97,5}$	
	1840	$\frac{57}{142,5}$	$\frac{52}{130,0}$	$\frac{49}{122,5}$	$\frac{48}{120,0}$	$\frac{46}{115,0}$	$\frac{43}{107,5}$	$\frac{41}{102,5}$	$\frac{38}{95,0}$	$\frac{35}{87,5}$	
	1600	$\frac{50}{125,0}$	$\frac{46}{115,0}$	$\frac{43}{107,5}$	$\frac{42}{105,0}$	$\frac{40}{100,0}$	$\frac{37}{92,5}$	$\frac{36}{90,0}$	–	–	
С гравийным и песчано-гравийным балластом											
Р65	1840	$\frac{42}{105,0}$	$\frac{37}{92,5}$	$\frac{33}{82,5}$	$\frac{32}{80,0}$	$\frac{29}{72,5}$	$\frac{25}{62,5}$	–	–	–	
	1600	$\frac{36}{90,0}$	$\frac{32}{80,0}$	$\frac{29}{72,5}$	$\frac{28}{70,0}$	$\frac{25}{62,5}$	$\frac{22}{55,0}$	–	–	–	
Р50	2000	$\frac{49}{122,5}$	$\frac{44}{110,0}$	$\frac{40}{100,0}$	$\frac{38}{95,0}$	$\frac{35}{87,5}$	$\frac{30}{75,0}$	–	–	–	
	1840	$\frac{46}{115,0}$	$\frac{40}{100,0}$	$\frac{36}{90,0}$	$\frac{35}{87,5}$	$\frac{32}{80,0}$	$\frac{27}{67,5}$	–	–	–	
	1600	$\frac{39}{97,5}$	$\frac{35}{87,5}$	$\frac{32}{80,0}$	$\frac{30}{75,0}$	$\frac{28}{70,0}$	$\frac{24}{60,0}$	–	–	–	

По формуле (3.5) можно определить допускаемые напряжения от угона 100-метровых участков рельсовых плетей при различных условиях эксплуатации для нижней и верхней границ оптимального интервала закрепления. Затем по формуле (3.4) необходимо определить допускаемое значение укорочения 100-метрового участка плети по условию его устойчивости при наступлении максимальных или близких к ним температур.

3.5 Анализ надежности работы рельсовых плетей

Анализ перемещений 100-метровых участков бесстыкового пути выполняется следующим образом. По формуле (3.1) определяют изменения длин 100-метровых участков. Знак «минус» указывает на укорочение рассматриваемого участка плети (при этом в плетях возникают дополнительные сжи-

мающие напряжения), а знак «плюс» – на его удлинение (в плетях возникают дополнительные растягивающие напряжения).

Полученное значение изменения длины 100-метрового участка сравнивается с допускаемым значением с учетом плана линии и температуры закрепления плетей. Выброс пути при наступлении максимальной расчетной или близкой к ней температуры может произойти на 100-метровых участках плети, на которых относительные укорочения превышают допускаемые значения.

3.6 Пример прогнозирования надежности работы рельсовых плетей для Гомельской дистанции пути

3.6.1 Исходные данные

Участок бесстыкового пути (рельсы Р65 на железобетонных шпалах) длиной 1 км находится на Гомельской дистанции пути Белорусской железной дороги ($t_{\max} = +57\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\min} = -35\text{ }^{\circ}\text{C}$). Даны перемещения сечений плетей бесстыкового пути относительно створов (рисунок 3.3), замеренные при температуре рельсов $t_{\text{зам}} = +10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура закрепления рельсовых плетей $t_3 = +25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

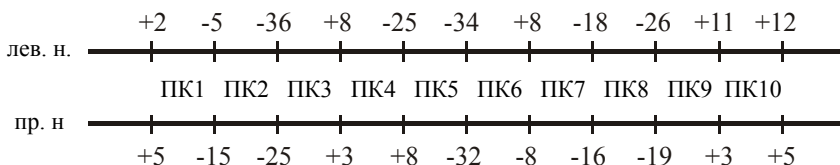


Рисунок 3.3 – Результаты замера перемещений сечений рельсовых плетей относительно створов

3.6.2 Определение допускаемых величин угона по устойчивости для Гомельской дистанции пути

Для того, чтобы определить допускаемые величины угона 100-метровых участков рельсовых плетей по условию устойчивости $[\Delta l]$, необходимо сначала определить по формуле (3.5) допускаемые дополнительные напряжения $[\sigma_{\text{доп}}]$, вызываемые этим угоном. Их определяем соответственно для нижней и верхней границ оптимального интервала закрепления, соответственно 25 и 35 $^{\circ}\text{C}$. Значения допускаемых сжимающих температурных напряжений $[\sigma]$ для различных конструкций пути принимаем по таблице 3.1.

Из формулы (3.4) получаем формулу для определения допускаемого угона:

$$[\Delta l] = \frac{[\sigma_{\text{доп}}] l}{E} = 0,476 [\sigma_{\text{доп}}]. \quad (3.6)$$

Тогда, например, для прямого участка получим:

- при $t_3 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ –

$$[\sigma_{\text{доп}}] = 135 - 0,0000118 \cdot 2,1 \cdot 10^6 (57 - 25) = 55 \text{ МПа,}$$

$$[\Delta l] = 0,476 \cdot 55 \approx 26 \text{ мм;}$$

- при $t_3 = 35 \text{ }^\circ\text{C}$ –

$$[\sigma_{\text{доп}}] = 135 - 0,0000118 \cdot 2,1 \cdot 10^6 (57 - 35) = 80 \text{ МПа,}$$

$$[\Delta l] = 0,476 \cdot 80 \approx 38 \text{ мм.}$$

Результаты расчета сводим в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Допускаемые значения дополнительных сжимающих температурных напряжений от угона и величины угона 100-метрового участка рельсовой плети типа Р65

Температура закрепления, $^\circ\text{C}$	Допускаемые значения дополнительных сжимающих температурных напряжений от угона, МПа, и величины угона 100-метрового участка рельсовой плети типа Р65 в зависимости от плана линии, мм								
	прямая	кривая радиусом, м							
		2000	1200	1000	800	600	500	400	350
+25	55,0/26	45,0/21	47,5/23	42,5/20	37,5/18	27,5/13	22,5/11	15,0/7	7,5/4
+35	80,0/38	70,0/33	72,5/35	67,5/32	62,5/30	52,5/25	47,5/23	40,0/19	32,5/16
<i>Примечание – Эпюра шпал для прямого участка и кривых радиусом более 1200 м составляет 1840 шт./км, для кривых радиусом 1200 м и менее – 2000 шт./км.</i>									

Увеличение $[\sigma_{\text{доп}}]$ и $[\Delta l]$ при значении радиуса 1200 м показывает, что изменение эпюры до 2000 шт./км в кривых радиусом 1200 м и менее повышает устойчивость пути к выбросу по сравнению с меньшей эпюрой.

3.6.3 Прогнозирование надежности работы бесстыкового пути

Рассчитаем величину угона 100-метровых участков рельсовых плетей, исходя из полученных перемещений контрольных сечений:

Левая нить

$$a_1 = -5 - 2 = -7 \text{ мм;}$$

$$a_2 = -36 - (-5) = -31 \text{ мм;}$$

$$a_3 = 8 - (-36) = 44 \text{ мм;}$$

$$a_4 = -25 - 8 = -33 \text{ мм;}$$

$$a_5 = -34 - (-25) = -9 \text{ мм;}$$

$$a_6 = 8 - (-34) = 42 \text{ мм;}$$

$$a_7 = -18 - 8 = -26 \text{ мм;}$$

$$a_8 = -26 - (-18) = -8 \text{ мм;}$$

$$a_9 = 11 - (-26) = 37 \text{ мм;}$$

$$a_{10} = 12 - 11 = 1 \text{ мм;}$$

Правая нить

$$a_1 = -15 - 5 = -20 \text{ мм;}$$

$$a_2 = -25 - (-15) = -10 \text{ мм;}$$

$$a_3 = 3 - (-25) = 28 \text{ мм;}$$

$$a_4 = 8 - 3 = 5 \text{ мм;}$$

$$a_5 = -32 - 8 = -40 \text{ мм;}$$

$$a_6 = -8 - (-32) = 24 \text{ мм;}$$

$$a_7 = -16 - (-8) = -8 \text{ мм;}$$

$$a_8 = -19 - (-16) = -3 \text{ мм;}$$

$$a_9 = 3 - (-19) = 22 \text{ мм;}$$

$$a_{10} = 5 - 3 = 2 \text{ мм.}$$

Полученные значения угона 100-метровых участков рельсовых плетей необходимо сравнить с допускаемыми значениями, рассчитанными ранее и приведенными в таблице 3.2.

На исследуемом участке бесстыкового пути допускаемые значения величины угона 100-метровых участков, создающие опасность выброса пути при наступлении максимальной или близких к ней температур, превышены:

1) на прямом участке:

- по правой рельсовой нитке рассчитанные значения не превышают допускаемых;

- по левой рельсовой нитке на ПК2 и ПК4;

2) на кривой $R = 600$ м:

- по правой рельсовой нитке на ПК2, ПК4 и ПК7;

- по левой рельсовой нитке на ПК1 и ПК5.

Если в процессе эксплуатации бесстыкового пути ожидается повышение температур (как обычно в первую половину лета), то необходимо выполнить работы по локальной разрядке температурных напряжений на указанных пикетах.

Если же ожидается дальнейшее понижение температуры (обычно во второй половине лета, когда не ожидается наступление высоких температур), то работы по локальной разрядке температурных напряжений можно не производить. В последствии, на основании весенних замеров в зависимости от величины угона 100-метровых участков рельсовых плетей, решается вопрос о необходимости выполнения указанной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Матвеев, В. И.** Температурная работа железнодорожного пути : учеб.-метод. пособие. Ч. I / В. И. Матвеев; Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2007. – 166 с.

2 **СТП 09150.56.010-2005.** Текущее содержание железнодорожного пути. Технические требования и организация работ : [утв. приказом начальника Белорусской ж. д. от 29.06.2006 № 221Н]. – Мн., 2006. – 283 с.

3 **ГОСТ 19128-73** Накладки двухголовые к рельсам типа Р50. Конструкция и размеры. – Взамен части ГОСТ 4133-54 ; введ. 1975-01-01. – Мн. : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации; М. : Изд-во стандартов, 1973. – 8 с.

4 **ГОСТ 8193-73** Накладки двухголовые к рельсам типов Р65 и Р75. Конструкция и размеры. – Взамен ГОСТ 8193-56 ; введ. 1975-01-01. – Мн. : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации; М. : Изд-во стандартов, 1973. – 8 с.

5 Бесстыковой путь / В. Г. Альбрехт [и др.] ; под ред. В. Г. Альбрехта, А. Я. Когана. – М. : Транспорт, 2000. – 408 с.

6 **СТП БЧ 56.269-2013.** Бесстыковой путь. Устройство, укладка, содержание и ремонт : [утв. приказом начальника Белорусской ж. д. от 19.08.2013 № 1028Н]. – Мн., 2013. – 115 с.

7 **Коган, А. Я.** Оценка безопасности эксплуатации пути по условию выброса с учетом его фактического состояния / А. Я. Коган [и др.] // Вестник ВНИИЖТа. – 2003. – № 2. – С. 15-19.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(справочное)

Содержание учебного материала дисциплины
«Правила технической эксплуатации и безопасность движения поездов»

Тема 1. Общие сведения

Структура управления транспортом и путевым хозяйством. Сокращенное наименование служб и должностей. Основные руководящие документы и нормативы личного участия руководства и предприятий Белорусской железной дороги в обеспечении безопасности движения. Положение о дисциплине работников железнодорожного транспорта Республики Беларусь.

Тема 2. Правила технической эксплуатации и нормативные документы

Правила технической эксплуатации – основной закон железнодорожного транспорта. Порядок изучения и периодичность проверки знаний Правил технической эксплуатации в комиссиях. Общие обязанности железнодорожников. Габариты. негабаритные грузы и порядок их перевозки. Правила размещения грузов и путевых материалов около пути.

Сооружения и устройства пути. Требования, предъявляемые к ним Правилами технической эксплуатации. Допустимые износы рельсов и стрелочных переводов, нормы и допуски их содержания. Критерии и методика оценки состояния рельсов в процессе эксплуатации. Неисправности стрелочных переводов. Особенности содержания пути на участках, пропустивших сверхнормативный тоннаж. Роль работников путевого хозяйства в обеспечении безопасного движения поездов.

Основные элементы рельсовых цепей автоблокировки. Сборные и клееболтовые, композитные и металлокомпозитные изолирующие стыки с высокопрочными болтами и тарельчатыми шайбами. Повышение надежности работы путевых устройств. Зазоры изолирующих стыков.

Сооружения и устройства других служб. Их осмотр и ремонт. Раздельные пункты. Организация их работы. Подвижной состав. Нормативы содержания колес и автосцепки. График движения поездов.

СТП 09150.56.010-2005. Текущее содержание железнодорожного пути. Технические требования и организация работ.

Инструкция по движению поездов и маневровой работе на Белорусской железной дороге. Инструкция по сигнализации на Белорусской железной дороге. Сигналы, их классификация и размещение на пути.

Тема 3. Температурная надежность звеньевого пути

Основы температурной работы 25-метровых рельсов. Влияние погонного и стыкового сопротивлений на температурную работу звеньевого пути.

Оптимальное стыковое сопротивление. Влияние фактических стыковых зазоров на температурные силы, действующие в пути.

Определение условий эксплуатации и режима работы 25-метровых рельсов на прямых и кривых. Анализ состояния зазоров и прогнозирование надежности работы звеньевого пути.

Тема 4. Температурная надежность бесстыкового пути

Технические указания по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути на Белорусской железной дороге.

Особенности работы сверхдлинных плетей бесстыкового пути. Расчетный и оптимальный интервал закрепления рельсовых плетей.

Организация наблюдений за перемещениями рельсовых плетей относительно створов и прогнозирование надежности работы бесстыкового пути.

Тема 5. Система управления безопасностью движения поездов

Анализ надежности работы пути и безопасности движения поездов в путевом хозяйстве. Улучшение работы транспорта и повышение уровня безопасности движения поездов. Приказ Начальника Белорусской железной дороги «О комплексной системе управления безопасностью движения на Белорусской железной дороге».

Порядок формирования рабочих и хозяйственных поездов при путевых и восстановительных работах. Порядок выдачи предупреждений и ограждения мест производства работ на перегонах и станциях.

Классификация нарушений безопасности движения. Организация расследования браков. Организация восстановительных работ. Обеспечение безопасности при перевозке опасных грузов.

Организационные меры профилактики нарушений безопасности движения поездов при эксплуатации и ремонтах пути. Критерии прочности и устойчивости пути по условиям взаимодействия пути и отдельных элементов его верхнего строения в процессе эксплуатации по мере наработки тоннажа.

Учебное издание

МАТВЕЦОВ Виктор Иванович
КЕБИКОВ Александр Анатольевич
МИРОШНИКОВ Николай Евгеньевич

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Учебно-методическое пособие

Редактор *И. И. Эвентов*
Технический редактор *В. Н. Кучерова*
Компьютерный набор, рисунки и верстка *Н. Е. Мирошников*

Подписано в печать 11.12.2013 г. Формат 60x84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 3,26. Уч.-изд. л. 3,46. Тираж 300 экз.
Зак. № . Изд. № 1.

Издатель и полиграфическое исполнение
Белорусский государственный университет транспорта:
ЛИ № 02330/0552508 от 09.07.2009 г.
ЛП № 02330/0494150 от 03.04.2009 г.
246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34.