

## Лекция 5

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ УКЛАДКИ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ

*План лекции:*

- 5.1. Конструкция бесстыкового пути.*
- 5.2. Допускаемые продольные силы в рельсовых плетях.*
- 5.3. Расчет интервалов температур закрепления плетей на постоянный режим эксплуатации.*
- 5.4. Определение расчетных удлинений бесстыковых плетей и зазоров при разрядке температурных напряжений.*
- 5.5. Контроль за усилием затяжек гаек и шурупов в промежуточных скреплениях.*

#### **5.1. Конструкция бесстыкового пути**

**Рельсовые плети.** Новые рельсовые плети сваривают в стационарных условиях в рельсосварочных поездах (РСП) или непосредственно в пути передвижными рельсосварочными машинами (ПРСМ) электроконтактной сваркой. Плеты из старогодных рельсов могут свариваться и алюминотермитной сваркой. Бесстыковые плети должны быть одного типа, одной марки стали, одинакового термического упрочнения, изготовлены на одном металлургическом комбинате и одной категории качества [5].

В регионах Севера, Сибири и Дальнего Востока с годовыми амплитудами температур рельсов более 110 °С рельсовые плети должны свариваться преимущественно из рельсов низкотемпературной надежности.

Длины плетей устанавливаются проектом. В условиях РСП сваривают плети длиной 800 м и менее. Непосредственно в пути они свариваются длиной до блок-участка, перегона и большей.

На участках с S-образными, одиночными или несколькими кривыми радиусом менее 500 м, где наблюдается интенсивный боковой износ головки рельсов, разрешается по согласованию с управлением пути и сооружений центральной дирекции инфраструктуры ОАО «РЖД» укладывать короткие плети длиной не менее 350 м.

Более короткие плети, но длиной не менее 150 м, могут укладываться между стрелочными переводами, если стыки стягиваются обычными болтами. При использовании высокопрочных болтов длина плетей должна быть не менее 100 м.

Каждая эксплуатируемая плеть имеет маркировку. В проекте укладки бесстыкового пути каждой короткой плети присваивают порядковый номер, под которым она должна значиться в сварочной ведомости РСП и в Журнале учета службы и температурного режима короткой рельсовой плети. Правую и левую плети по счету километров отмечают буквами П и Л.

В условиях РСП в начале и конце каждой плети, сваренной из новых или старогодных рельсов, на расстоянии не менее 150 см от ее торцов на внутренней стороне шейки рельса (со стороны оси пути) белой масляной краской наносятся: номер РСП, номер плети по сварочной ведомости и длина плети.

При обрезке концов плети в процессе укладки длина ее корректируется.

После укладки плети в путь её маркировка, сделанная в условиях РСП, дополняется следующей информацией:

- номер плети по проекту с указанием ее сторонности;
- дата, год укладки (с указанием двух последних цифр);
- температура закрепления плети.

В результате маркировка коротких плетей принимает вид:

19 – 361 – 799,45 – 16Л – 03.06.12 +34,

где 19 – номер РСП; 361 – номер плети по сварочной ведомости; 799,45 – длина плети, м; 16Л – номер плети по проекту и ее сторонность; 03.06.12 – дата и год укладки плети (берутся две последние цифры); +34 – температура закрепления плети на постоянный режим работы.

**Соединение рельсовых плетей.** Рельсовые плети при отсутствии изолирующих стыков (ИС) соединяются между собой двумя или тремя парами уравнительных рельсов.

В регионах с годовыми амплитудами более  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  и максимальными суточными перепадами температуры рельсов  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  и более, по согласованию с начальником службы пути, можно укладывать по четыре пары уравнильных рельсов.

При устройстве в уравнильном пролете сборных изолирующих стыков укладываются четыре пары уравнильных рельсов с расположением изолирующих стыков в середине уравнильных пролетов.

Не допускается расположение стыков, в том числе сварных, в пределах переездного настила. Схема расположения уравнильных рельсов и изолирующих стыков в районе железнодорожного переезда показана на рис. 5.1.

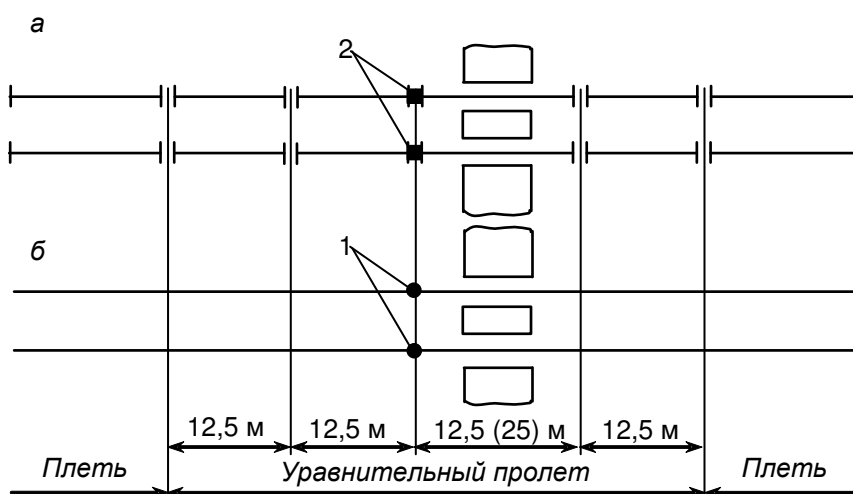


Рис. 5.1. Схемы расположения уравнильных рельсов и изолирующих стыков в районе железнодорожного переезда: а – со сборными изолирующими стыками 2; б – с высокопрочными изолирующими стыками 1

В местах примыкания рельсовых плетей бесстыкового пути с железобетонными шпалами к стрелочным переводам с деревянными брусьями, башмакосбрасывателям, уравнильным приборам, мостам с деревянными мостовыми брусьями железобетонные шпалы укладывают по схемам [5, рис. 2.1 и рис. 2.2]. В местах примыкания укладываются две пары уравнильных рельсов длиной 12,5 м. На конце первого звена уравнильного пролета, примыкающего к плетям бесстыкового пути, укладываются четыре деревянные шпалы.

**Скрепления.** Промежуточные рельсовые скрепления бесстыкового пути должны обеспечивать нормативное прижатие рельса к основанию не менее 20 кН с помощью упругих или жестких клемм с упругими элементами, монорегулятор скрепления АРС должен быть установлен на третью позицию. Данное скрепление должно обеспечивать нагрузки,

действующие на узел в обычных условиях: горизонтальных продольных сил – 14 кН; боковых сил в прямых и кривых радиусом 500 м и более – не менее 50 кН, в кривых радиусами менее 500 м – не менее 100 кН.

В сложных природно-климатических условиях с годовыми амплитудами температур рельсов более 110 °С и в сложных эксплуатационных условиях на участках с сочетанием кривых радиусами 650–250 м, затяжных спусков, подъемов, уклонов кратной тяги при обращении на них тяжеловесных и длинносоставных поездов применяются повышенные требования к узлам промежуточных скреплений: должны обеспечивать сопротивление сдвигу рельсов по шпале не менее 16,5 кН; воспринимать боковые силы в кривых радиусами 350–650 м не менее 100 кН, радиусами 349–250 м – не менее 140 кН. Кроме того, погонное сопротивление поперечному сдвигу рельсошпальной решетки в кривых радиусами менее 350 м должно быть более 12 кН/м [5].

Затяжка болтов и шурупов промежуточных скреплений крутящим моментом должна соответствовать требованиям табл. 5.1.

Таблица 5.1

**Нормы затяжки болтов и шурупов при укладке бесстыкового пути и допускаемое понижение ее в процессе эксплуатации**

Показатели	Крутящий момент, Н·м, при типах скреплений				
	КБ-65		ЖБР-65	ЖБР-65Ш, ЖБР-65ПШМ, ЖБР-65ПШ	W-30
	клемм- ный болт	заклад- ной болт			
Затяжка болтов и шурупов при укладке бесстыкового пути	$\frac{150}{200^*}$	$\frac{120}{150^*}$	200	250	350
Допускаемое понижение затяжки болтов и шурупов в процессе эксплуатации	$\frac{100}{120^{**}}$	$\frac{70}{90^{**}}$	120	150	$\frac{200}{250^{**}}$

\* Для обеспечения запаса усилия прижатия затяжку гаек болтов скреплений КБ-65 при укладке плетей и при подтягивании их в процессе эксплуатации необходимо производить крутящим моментом: 200 Н·м (20 кгс·м) – для клеммных болтов; 150 Н·м (15 кгс·м) – для закладных болтов.

\*\* Для сложных природно-климатических и эксплуатационных условий.  
В числителе – нормируемые величины.

За допускаемое понижение затяжки болтов и шурупов принимается средний крутящий момент.

Основной тип промежуточного скрепления бесстыкового пути в настоящее время принят ЖБР-65 и ЖБР-65Ш без подрельсовой подкладки. Для увеличения стабильности ширины колеи и срока службы элементов скрепления в кривых малого радиуса рекомендуется укладка подкладочного варианта ЖБР-65ПШ и ЖБР-65ПШМ.

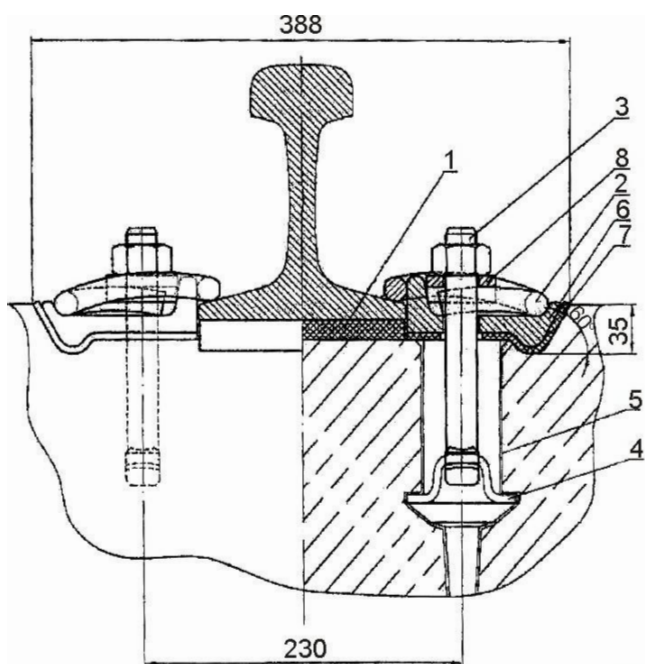


Рис. 5.2. Крепление типа ЖБР-65: 1 – прокладка-амортизатор; 2 – упругая прутковая клемма; 3 – закладной болт; 4 – закладная шайба; 5 – пустотообразователь; 6 – упорная скоба; 7 – прокладка; 8 – скоба

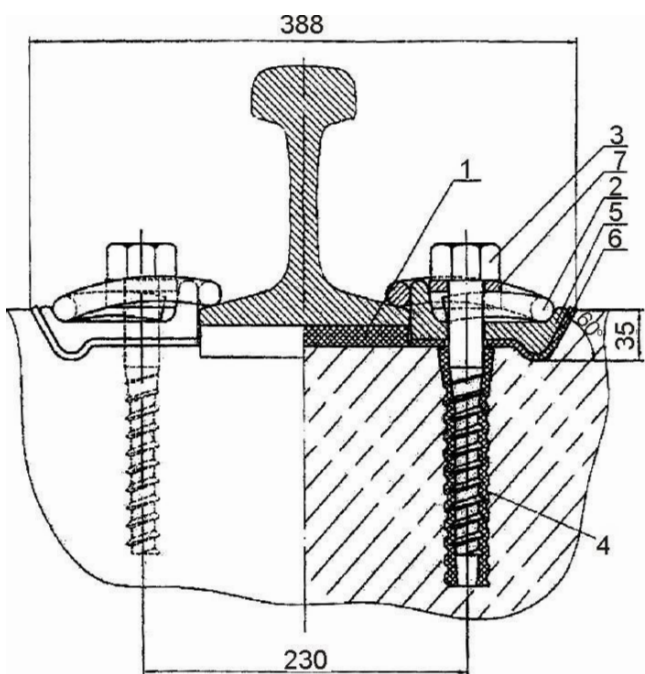


Рис. 5.3. Крепление ЖБР-65Ш: 1 – прокладка-амортизатор; 2 – упругая прутковая клемма; 3 – шуруп с шестигранной головкой; 4 – полимерный дюбель; 5 – упорная скоба; 6 – прокладка; 7 – скоба

В креплении ЖБР-65 (рис. 5.2) рельс устанавливается на изолирующую прокладку-амортизатор 1, расположенную на заглубленной в бетон подрельсовой площадке шпалы, и прикрепляется к шпале двумя упругими клеммами 2 и закладными болтами 3, которые Т-образными головками зацепляются за закладные шайбы 4, установленные в изолирующем их от бетона шпалы пустотообразователе 5. Опорные ветви клеммы установлены на упорной скобе 6, которая уложена на полимерную прокладку 7. Между гайкой и клеммой установлена скоба 8. Возможна выправка по уровню укладкой прокладок.

В креплении ЖБР-65Ш от закладного болта перешли к шурупно-дюбельному исполнению (рис. 5.3). В этом случае шуруп 3 вворачивается в полимерный дюбель 4, замоноличенный в бетон. Головка шурупа выполнена шестигранной, как у гаек закладных болтов, для обеспечения унификации гайковертов. Увеличена жесткость прокладок за счет уменьшения их толщины до 10 мм. Увеличен до 10 мм упругий ход клеммы. Все это позволило заметно повысить показатели крепления.

В анкерном креплении АРС (рис. 5.4) рельс устанавливается на изолирующую прокладку-амортизатор 1, на подрельсовой площадке шпалы, заглубленной в бетон, и прижимается двумя упругими клеммами 2. Клеммы в

выступающих головках анкера 3, замоноличенного в шпале, зажимаются с использованием дополнительного элемента – монорегулятора 4, выполненного в виде шестигранника с эксцентриковой осью. Для обеспечения электроизоляции между подошвой рельса, прижимной частью клеммы и анкером устанавливается изолирующий уголок 5. Между опорной частью клеммы и бетоном шпалы устанавливается металлический подклеммник 6.

На участках пути с автоблокировкой в рельсовые плети вваривают рельсовые вставки с высокопрочными изолирующими стыками (рис. 5.5) с сопротивлением на разрыв не менее 2,3 МН.

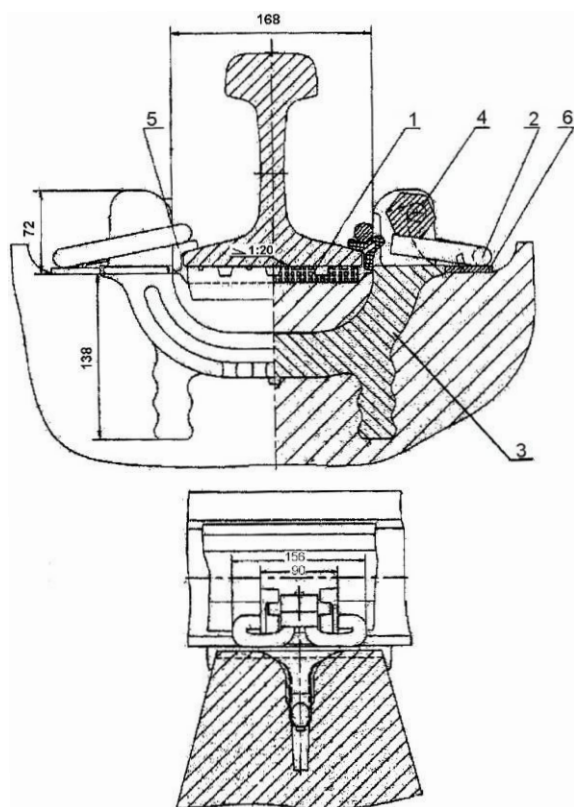


Рис. 5.4. Крепление типа APC-4:  
1 – прокладка; 2 – упругая прутковая клемма; 3 – анкер; 4 – монорегулятор; 5 – уголок изолирующий; 6 – подклеммник

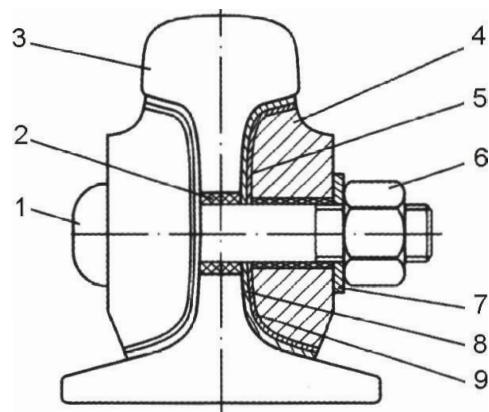


Рис. 5.5. Высокопрочный изолирующий стык АпАТэк-65М-К:  
1 – болт; 2 – изоляционная втулка; 3 – рельс; 4 – металлическая накладка; 5 – изоляционная прокладка; 6 – гайка; 7 – шайба; 8 – клеящая паста; 9 – металлическая обечайка

Широко распространены в конструкции бесстыкового пути клееболтовые изолирующие стыки повышенной прочности (рис. 5.6), в которых используются типовые шестидырные накладки с пристроганными верхней и нижней гранями, а также специальные накладки, облегающие пазуху рельсов с сопротивлением разрыву не менее 1,5 МН.

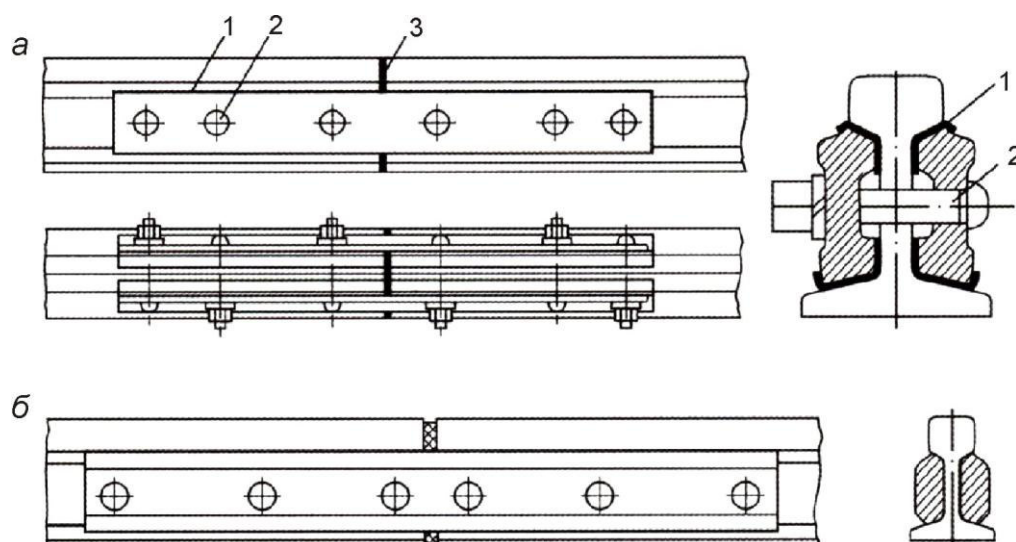


Рис. 5.6. Клееболтовые стыки: а – с подстроганными типовыми накладками; б – с накладками, облегающими пазуху рельсов; 1 – клеевое соединение с изоляцией из стеклоткани; 2 – изоляция болта, оклеенного стеклотканью; 3 – торцевая изоляция из фибры, пропитанной клеем

**Подрельсовое основание.** В качестве подрельсового основания для бесстыкового пути применяют железобетонные и деревянные шпалы, железобетонные малогабаритные рамы или плиты, а также монолитное железобетонное основание.

На отечественных железных дорогах наибольшее распространение получили железобетонные шпалы. В настоящее время серийно или в опытном порядке применяются конструкции цельнобрусковых железобетонных шпал, различающихся в основном типом применяемых промежуточных скреплений, а также видом и количеством напрягаемой арматуры. На железных дорогах России эксплуатируются железобетонные шпалы Ш1, Ш3, Ш3-Д и Ш-АРС со скреплениями соответственно КБ, ЖБР-65, ЖБР-65Ш и АРС-4.

Конструкция и основные размеры железобетонных шпал Ш1 и Ш2 приведены на рис. 5.7 и Ш3 – на рис. 5.8.

Согласно действующему стандарту отрасли ОСТ 32.152-2000 [13] железобетонные шпалы должны изготавливаться из тяжелого бетона класса В40 по прочности на сжатие, имеющего марку по морозостойкости не менее F200, передаточную и отпускную прочность не менее 34,2 МПа (349 кгс/см<sup>2</sup>). Шпалы должны быть армированы предварительно напряженной проволоочной или стержневой арматурой периодического профиля. Высокопрочная проволока имеет диаметр 3 или 5 мм (соответственно 48 или 38 штук при продольном армировании).



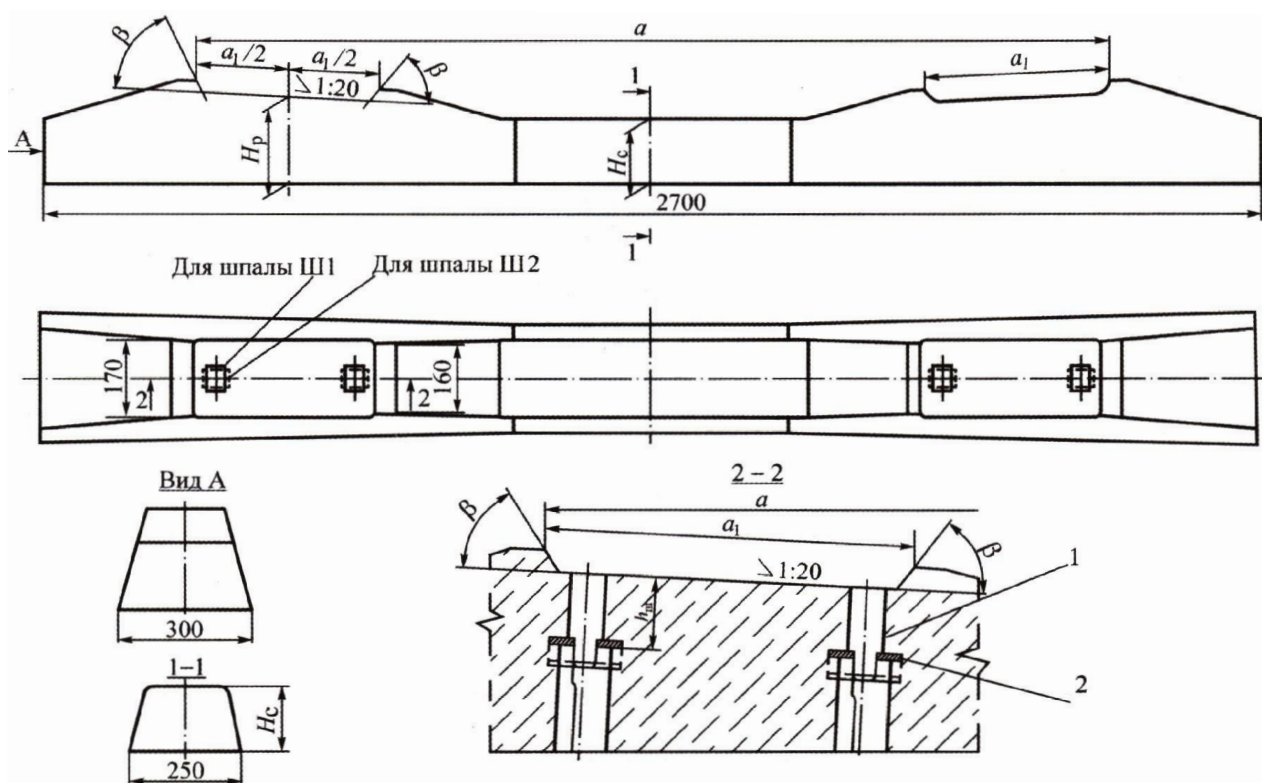


Рис. 5.7. Общий вид железобетонных шпал Ш1 и Ш2:  
1 – вкладыш; 2 – седловидная закладная шайба

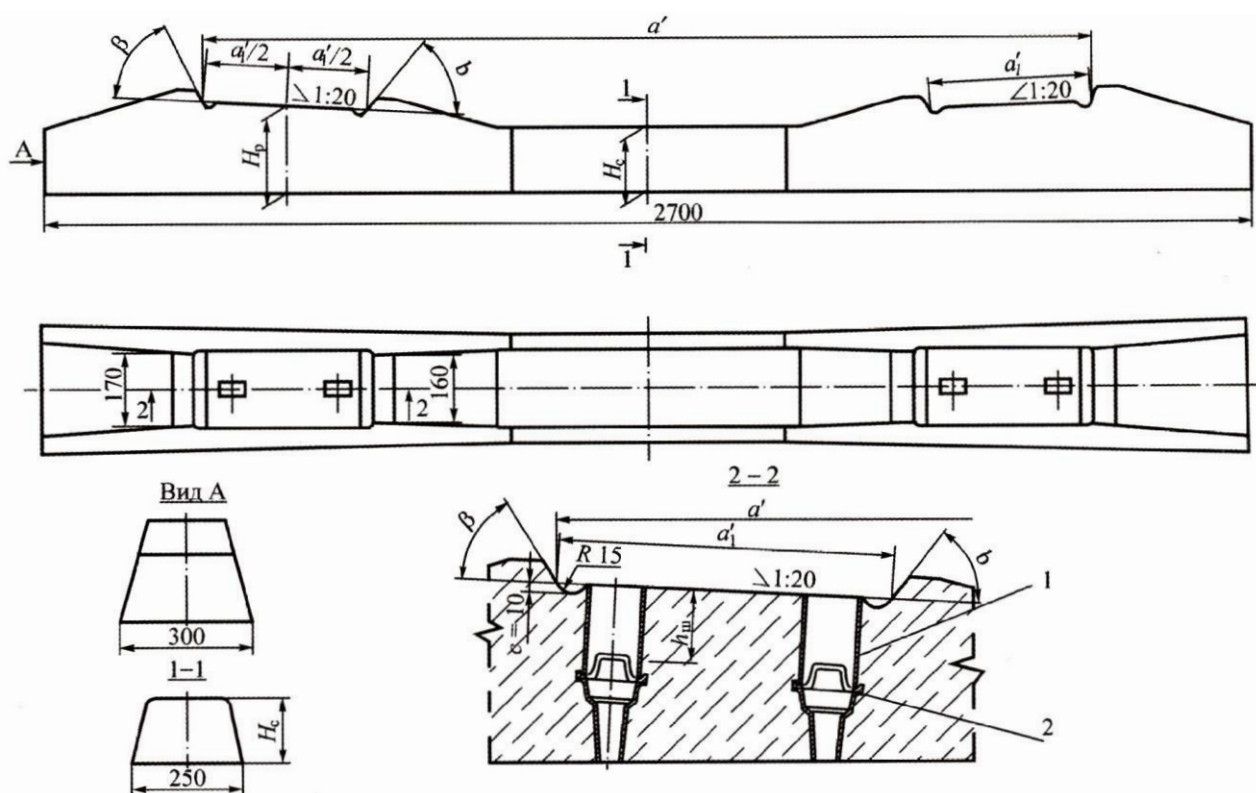


Рис. 5.8. Общий вид железобетонной шпалы Ш3:  
1 – вкладыш; 2 – седловидная закладная шайба



**Балластный слой.** В конструкции бесстыкового пути в качестве материала для балластной призмы рекомендуется применять щебень из горных пород по ГОСТ Р54768-2011. Асбестовый балласт по экологическим требованиям применять не рекомендуется.

Конструкция и размеры балластной призмы должны соответствовать типовым поперечным профилям согласно рис. 5.9. Размеры балластной призмы приведены в табл. 5.2.

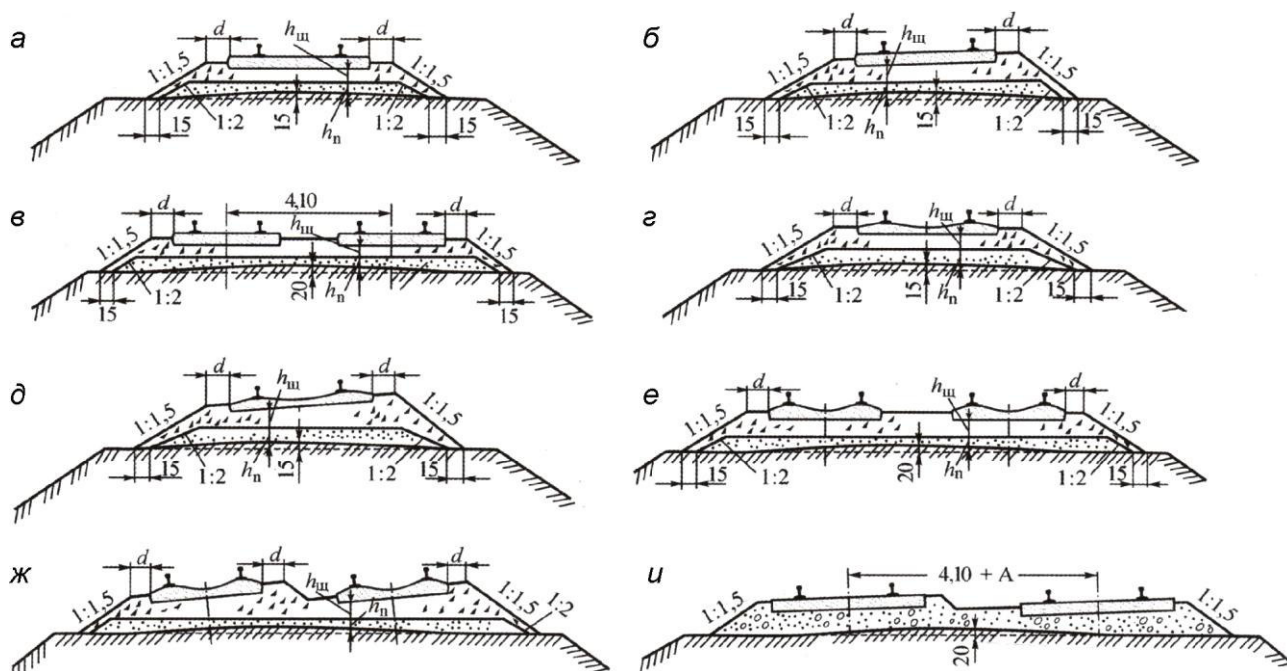


Рис. 5.9. Поперечные профили балластной призмы: а, б, в – из щебня для пути на деревянных шпалах (а – на прямом однопутном участке, б – в кривой, в – на прямом двухпутном участке); г, д, е, ж – из щебня для пути на железобетонных шпалах (г – на прямом однопутном участке, д – в кривой, е – на прямом двухпутном участке, ж – в кривой двухпутного участка); и – из щебня для пути на деревянных шпалах двухпутного участка;  $h_{ш}$  – толщина слоя щебня под шпалой;  $h_{п}$  – толщина слоя песчаной подушки;  $d$  – плечо балластной призмы;  $A$  – уширение междупутья в кривой

Таблица 5.2

**Типовые поперечные профили балластной призмы, см**

Класс пути	Толщина слоя балласта в подрельсовой зоне (в кривых по внутренней нити) без учета балластной подушки	Ширина плеча призмы	Минимальная ширина обочины земляного полотна
1, 2	35/40	40/45	50/40
3	35/40	35/40	50/40
4	25/30	25/40	40
5	20/20	20/40	40

## 5.2. Допускаемые продольные силы в рельсовых плетях

Часто для анализа работы средней части плети, правильного назначения расчетного интервала укладки и закрепления рельсовых плетей строят диаграмму температурной работы бесстыкового пути (рис. 5.10). Для этого по оси абсцисс откладывают годовой перепад температур рельсов  $T_A$ , по оси ординат – температурные силы (вверх – растягивающие, вниз – сжимающие).

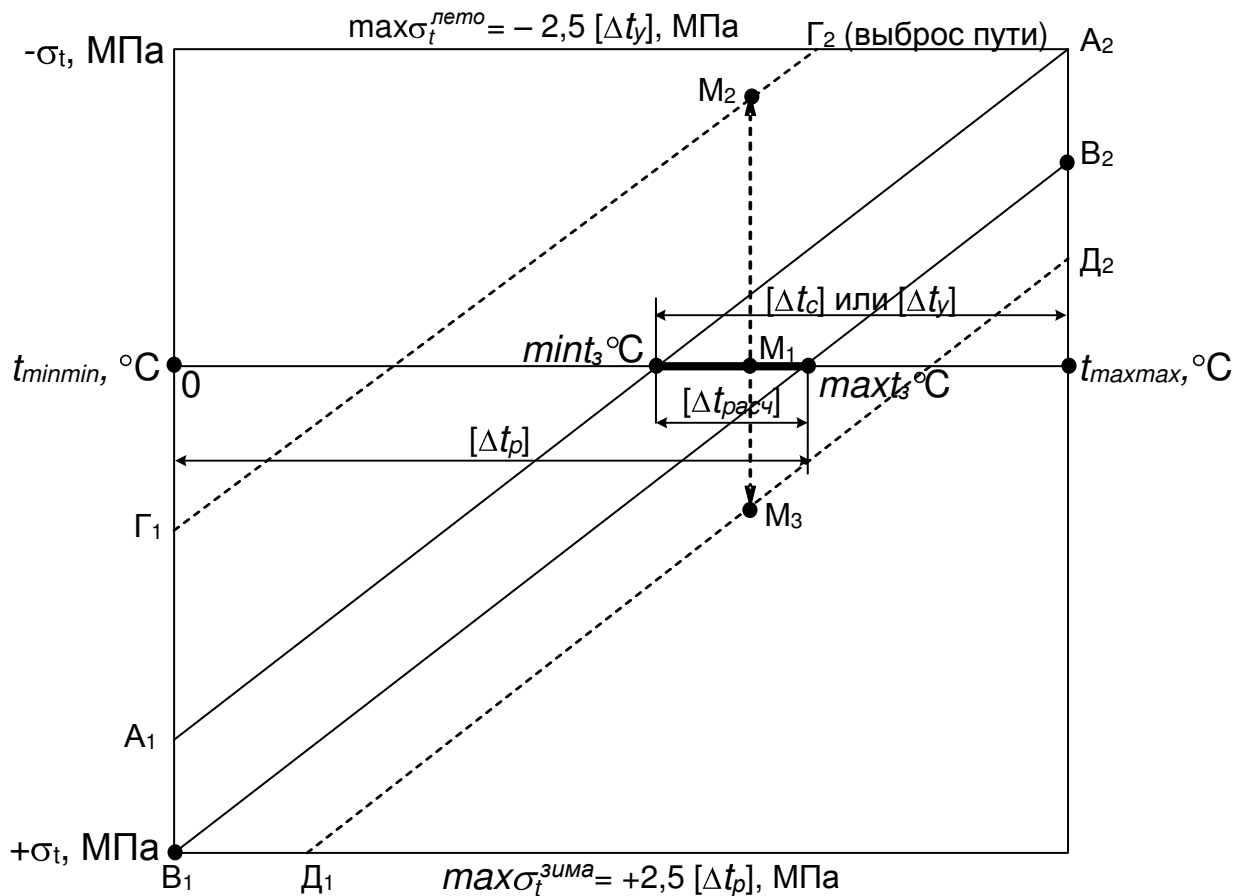


Рис. 5.10. Диаграмма температурных напряжений в средней части бесстыковой плети

Допускаемые величины температурных сил сжатия и растяжения можно определить по формулам:

$$|P_{сж}| = \alpha \cdot E \cdot F \cdot [\Delta t_y]; \quad |P_{раст}| = \alpha \cdot E \cdot F \cdot [\Delta t_p]. \quad (5.1)$$

На диаграмме показывают допускаемые силы растяжения и силы сжатия в виде горизонтальных прямых.

Как видно из формулы (5.1), температурные продольные силы изменяются по закону прямой при перепаде температур, поэтому выполним

построения  $P_{\text{сж(раст)}} = f(t)$ . Отложим величину  $[\Delta t_y]$  и  $[\Delta t_p]$ , получим интервал  $[\Delta t_{\text{расч}}]$ .

Если закрепить рельсовую плетъ за этим интервалом, то не будет обеспечена либо устойчивость пути летом, либо прочность рельсов по подошве зимой. Например, если закрепили рельсовую плетъ при  $t < \min t_3$ , то летом при достижении продольных сил допускаемой величины (точка  $\Gamma_2$ ) может произойти выброс пути. Если  $t > \max t_3$ , то зимой могут быть порваны болты в стыках (точка  $D_1$ ). Поэтому необходимо выбрать такой интервал  $t$  закрепления рельсовой плети, при котором будет обеспечена устойчивая работа бесстыкового пути в течение всего года в расчетном интервале температур.

Допускаемые продольные силы в рельсовых плетях устанавливаются по двум признакам.

*1. Условия устойчивости пути.*

Летом при  $N_t > N_{\text{кр}}$  может произойти выброс пути.

Это быстрый, практически мгновенный процесс искривления рельсов (длится всего 0,2 с) в горизонтальной плоскости с одновременным или предварительным подъемом путевой решетки до 15 мм. При этом контакт нижней постели шпал со щебнем теряется частично или полностью и уменьшаются силы сопротивления на поперечный сдвиг рельсошпальной решетки. На прямых участках пути выброс протекает с резким звуком, на кривых – более плавно и тихо. При этом образуется резкое искривление рельсов до 0,3–0,5 м на длине 20–40 м с несколькими волнами в горизонтальной плоскости [1] (рис. 5.11).

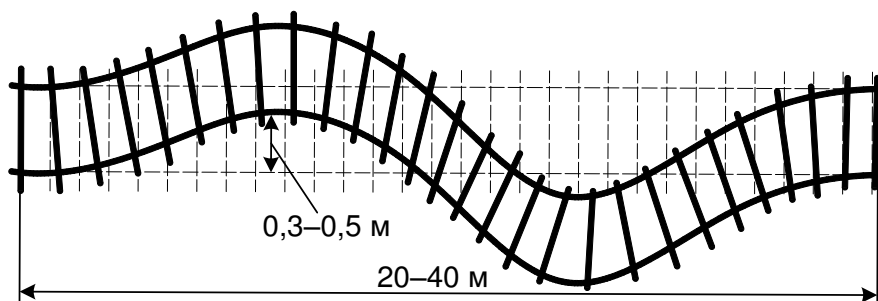


Рис. 5.11. Схема температурного выброса пути

Исследование устойчивости бесстыкового пути происходит по двум направлениям: расчетно-теоретическому и экспериментальному. Задача сводится к определению допускаемого повышения температуры по сравнению с температурой закрепления  $[\Delta t_y]$  рельсовых плетей [1]

$$\Delta t_y = \frac{N_t}{2\alpha E F}, \quad (5.2)$$

где  $N_t$  – допускаемое по устойчивости значение горизонтальной продольной силы,

$$N_t = \frac{N_k}{K_y}; \quad (5.3)$$

$N_k$  – критическая сила, при которой путь теряет устойчивость, кН;  
 $K_y$  – допускаемый коэффициент устойчивости, зависит от плана линии,  
 $K_y = 1,5 \div 2,0$ .

Нормативные значения  $\Delta t_y$  получены в результате прямых экспериментов на специальном стенде ВНИИЖТа. Сделано более 300 опытов по определению устойчивости плетей путем нагрева их электрическим током при различных конструкциях и состояниях пути.

Допускаемые повышения температур рельсовых плетей при железобетонных шпалах на щебеночном балласте и рельсах типа Р65 [5] приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3

**Допускаемое повышение температуры  
рельсовых плетей  $[\Delta t_y]$ , °С**

Эпюра шпал	На прямой	В кривых радиусом, м									
		2000	1200	1000	800	600	500	400	350	300	250
2000	58	53	51	49	47	43	41	38	34	29	28
1840	54	50	47	46	44	41	39	36	32	-	-
1600	47	43	41	40	38	36	33	-	-	-	-

**2. Условия прочности рельсов.**

Прочность рельсов будет обеспечена, если суммарные нормальные напряжения не превысят допускаемых величин, т. е.

$$\sigma_t + K_n \cdot \sigma_k \leq [\sigma], \quad (5.4)$$

где  $\sigma_t$  – температурные напряжения, возникающие в рельсе в связи с несостоявшимся изменением его длины при изменении температуры, определяются по формуле (4.3);  $K_n$  – коэффициент запаса прочности;  $K_n = 1,3$  для новых рельсов;  $K_n = 1,4$  для рельсов, пропустивших нормативный тоннаж или переложенных без шлифования [5];  $\sigma_k$  – напряжения в кромках подошвы рельса от изгиба и кручения под нагрузкой от колес подвижного состава [2];  $[\sigma]$  – допускаемое напряжение,  $[\sigma] = 400$  МПа для термоупроченных рельсов.

Допускаемое охлаждение рельса по условиям прочности подошвы определяется из уравнения (5.4)

$$\Delta t_p = \frac{[\sigma] - K_n \cdot \sigma_k}{25}. \quad (5.5)$$

Расчетные напряжения  $\sigma_k$  для зимних условий определяются при модуле упругости подрельсового основания с железобетонными шпалами с резиновыми и резинокордовыми прокладками 120 и 130 МПа соответственно при 1840 и 2000 шпал на 1 км [5].

### 5.3. Расчет интервалов температур закрепления плетей на постоянный режим эксплуатации

Возможность укладки бесстыкового пути и способ его эксплуатации в конкретных условиях устанавливаются путем сравнения допускаемой температурной амплитуды  $[T]$  с фактически наблюдавшейся в данной местности амплитудой колебания температур  $T_A$  (рис. 5.12)

$$[T] = [\Delta t_y] + [\Delta t_p] - [\Delta t_3]; \quad T_A = t_{\max \max} - t_{\min \min}, \quad (5.6)$$

где  $[\Delta t_3]$  – минимальный интервал температур для закрепления плетей,  $[\Delta t_3] = 10^\circ\text{C}$  в обычных условиях,  $[\Delta t_3] = 5^\circ\text{C}$  при закреплении в осенний период, в пасмурную погоду, в утренние и вечерние часы;  $t_{\max \max}$ ,  $t_{\min \min}$  – соответственно наивысшая, наинизшая температуры рельса в данной местности (при этом учитывается, что наибольшая температура рельса на открытых участках пути превышает на  $20^\circ\text{C}$  наибольшую температуру воздуха) [5].

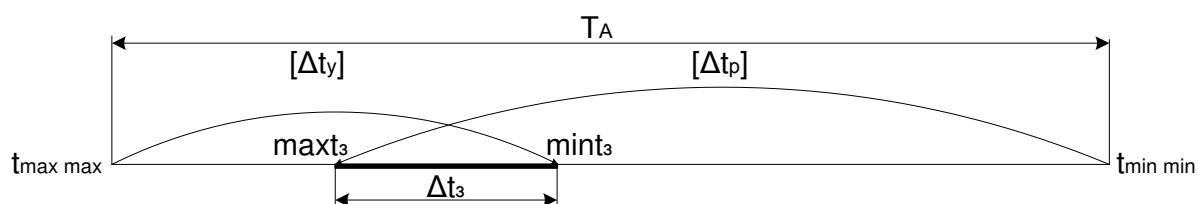


Рис. 5.12. Температурные интервалы закрепления рельсовых плетей

Границы расчетного интервала закрепления рельсовых плетей определяют по формулам

$$\min t_3 = t_{\max \max} - [\Delta t_y]; \quad \max t_3 = t_{\min \min} - [\Delta t_p]. \quad (5.7)$$

Закрепление плетей любой длины в расчетном интервале температур гарантирует надежность их работы при условии полного соблюдения технических требований Инструкции [5], касающихся конструкции и условий содержания бесстыкового пути.

С уменьшением радиуса кривой уменьшается допускаемая амплитуда  $[T]$ . Для определения критического радиуса, до величины которого возможна укладка бесстыкового пути температурно-напряженного типа, для существующих или перспективных условий эксплуатации строят график (рис. 5.13).

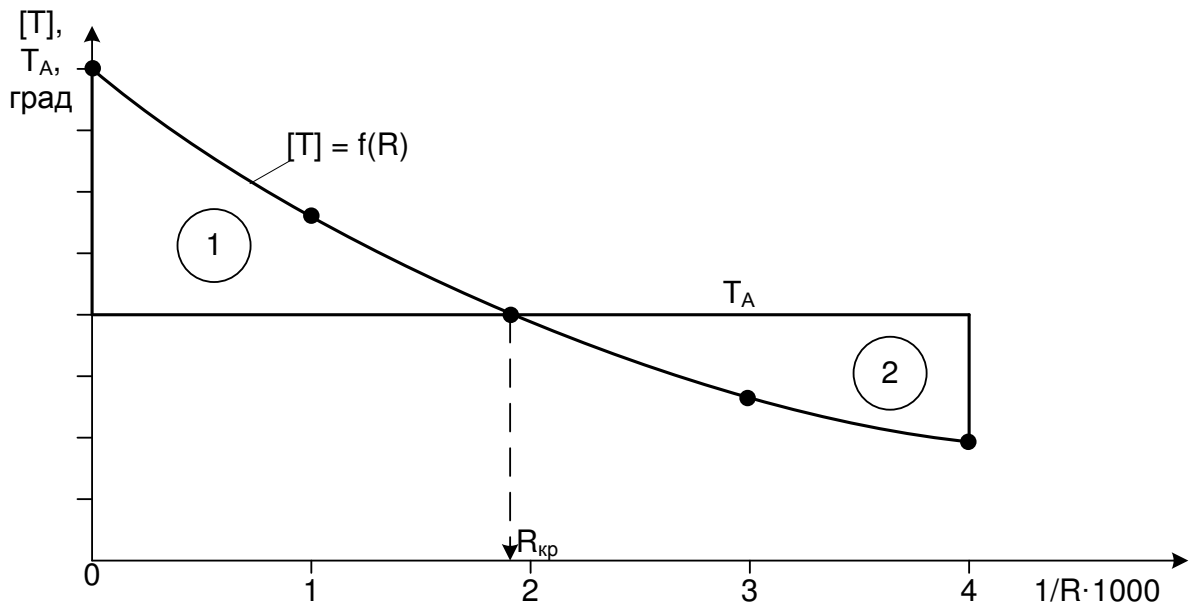


Рис. 5.13. Сопоставление допускаемой и фактической амплитуды температур рельсов

В соответствии с рис. 5.13 возможны следующие варианты укладки бесстыкового пути температурно-напряженного типа.

1. На прямых и кривых радиусом  $R \geq R_{кр}$  (зона ①) укладка конструкции пути по вышерассмотренному варианту.

2. На кривых радиусом  $R < R_{кр}$  (зона ②) укладка конструкции пути:

а) увеличение  $[\Delta t_y]$  при радиусах 350, 300 и 200 м (а значит, и  $[T]$ ) на 4–7 °С за счет укладки железобетонных шпал с повышенным сопротивлением сдвигу поперек оси пути, омоноличивания плеча и откоса балластной призмы со стороны наружного рельса, увеличения эпюры типовых шпал с 2000 до 2100 шт./км и сочетания этих технических решений;

б) с ограничением скоростей движения поездов при температурах ниже критических (рис. 5.14).

В соответствии с рис. 5.14 расчет ведется в следующем порядке. Определяются минимальная и максимальная температуры закрепления бесстыковых плетей по формулам:

$$\min t_3 = t_{\max \max} - [\Delta t_y]; \quad \max t_3 = \min t_3 + [\Delta t_3]. \quad (5.8)$$





$$\Delta t_p' = \max t_3 - t_{\min \min} \cdot \quad (5.10)$$

Точка пересечения на рис. 5.15 дает допускаемую скорость движения поездов  $V_{\text{доп}}$  при самой низкой температуре рельсов. Имея две точки по скоростям движения  $V_{\text{об}}$  и  $V_{\text{доп}}$  (рис. 5.14), можно построить линейную зависимость  $V = f(t)$ . Используя эту зависимость, устанавливают допускаемую скорость движения поездов  $V_{\text{огр}}$  при ожидаемой температуре рельсов  $t_{\text{ож}}$  в течение зимнего периода;

в) с сезонной разрядкой температурных напряжений весной и осенью. Такой вариант рекомендуется применять при соответствующем технико-экономическом обосновании в связи с большими трудозатратами на производство работ и предоставление «окна» в графике движения поездов. К сожалению, существующая на сети железных дорог практика временного восстановления целостности бесстыковой плети с укладкой одной рубки при эксплуатации этих мест в течение года приводит к такой технологии в содержании бесстыкового пути.

Расчетная схема приведена на рис. 5.16.

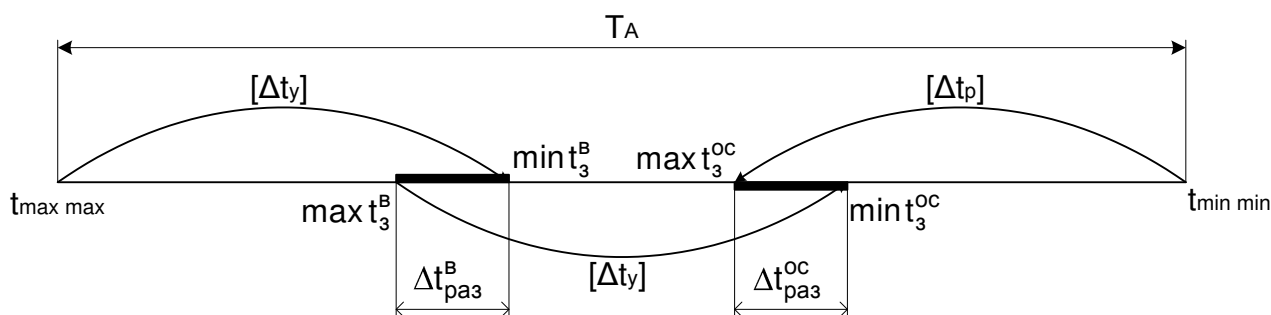


Рис. 5.16. Расчетная схема для определения температур закрепления плетей с сезонными разрядками напряжений

Расчетный годовой интервал температур рельсов, при котором возможна укладка бесстыкового пути по данному варианту, определяется по формуле

$$T_{\text{сез}} = 2[\Delta t_y] + [\Delta t_p] - 25 \geq T_A, \quad (5.11)$$

где 25 — суммарный минимальный интервал закрепления бесстыковых плетей в весенний и осенний периоды, °C,  $\Delta t_{\text{раз}}^B \geq 15$  °C,  $\Delta t_{\text{зак}}^{\text{OC}} \geq 10$  °C. При суммарном интервале более 25 °C рекомендуется назначить интервал закрепления таким, чтобы весной он был в 1,5 раза больше, чем осенью.

Согласно расчетной схеме (рис. 5.16) граничные точки интервалов закрепления определяются по формулам:

$$\begin{aligned} \min t_3^B &= t_{\max\max} - [\Delta t_y] + 4; & \max t_3^B &= \min t_3^B + \Delta t_{\text{раз}}^B - 8; \\ \max t_3^{\text{OC}} &= t_{\min\min} + [\Delta t_p] - 4; & \min t_3^{\text{OC}} &= \max t_3^{\text{OC}} - \Delta t_{\text{раз}}^{\text{OC}}, \end{aligned} \quad (5.12)$$

где 4, 8 – запас температур, учитывающий возможные остаточные напряжения в рельсах.

#### 5.4. Определение расчетных удлинений бесстыковых плетей и зазоров при разрядке температурных напряжений

Построим эпюру продольных сил в рельсовой плети длиной  $L$  до разрядки температурных напряжений (рис. 5.17).

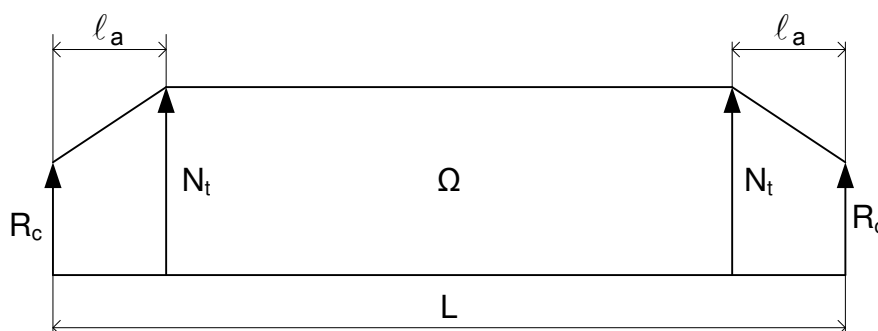


Рис. 5.17. Эпюра продольных сил в бесстыковой плети

На конце плети действуют силы стыкового сопротивления  $R_c$ , в средней части –  $N_t$ . Длина активной зоны («дышащий конец») определяется по формуле

$$\ell_a = \frac{N_t - R_c}{r}. \quad (5.13)$$

Несостоявшееся изменение длины плети можно определить из следующей зависимости

$$\Delta L_H = \frac{\Omega}{E \cdot F} = \frac{N_t - (N_t - R_c) \ell_a}{E \cdot F}, \quad (5.14)$$

где  $\Omega$  – площадь эпюры продольных сил в плети;  $E \cdot F$  – жесткость рельса (произведение модуля упругости рельсовой стали  $E$  и площади поперечного сечения  $F$ ).

Для приближенной оценки изменения длины плиты в сжатые сроки по времени можно посчитать как

$$\Delta L_{\text{н}} = \alpha \cdot L (t_{\text{раз}} - t_0), \quad (5.15)$$

где  $t_{\text{раз}}$  – температура рельса при разрядке напряжений;  $t_0$  – температура закрепления бесстыковой плиты.

Иногда возникает необходимость определения величины зазора при изломе плиты (рис. 5.18).

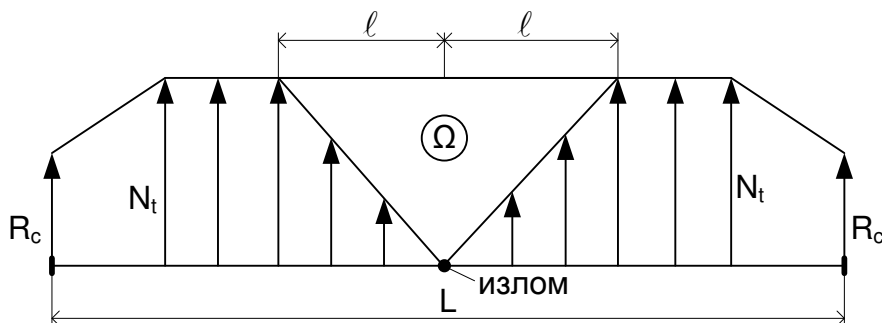


Рис. 5.18. Эпюра продольных сил в бесстыковой плите при изломе

Величину зазора можно посчитать по следующей формуле

$$\lambda = \frac{\Omega}{E \cdot F} = \frac{N_t^2}{r \cdot E \cdot F}, \quad (5.16)$$

где  $\Omega$  – площадь эпюры разрядки напряжений при изломе плиты,

$$\Omega = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot N_t \cdot \frac{N_t}{r} = \frac{N_t^2}{r}. \quad (5.17)$$

Из этой зависимости можно определить среднее погонное сопротивление  $r$  при образовавшемся известном зазоре  $\lambda$  и сравнить его с нормативной или допускаемой величиной.

Согласно Инструкции [5] зазор, мм, при изломе рельсовой плиты Р65 определяется по формуле

$$\lambda = 0,24 \frac{\Delta t_p^2}{r} \leq 50, \quad (5.18)$$

при  $r = 25 \text{ Н/мм}$ ,  $\lambda = 0,01 \Delta t_p^2$ .

Увеличение зазоров в зоне уравнильных рельсов при  $r = 25 \text{ Н/мм}$  приблизительно можно оценить по соотношению [5]

$$\Delta \lambda = 0,005 (\Delta t_p - 7)^2. \quad (5.19)$$

### **5.5. Контроль за усилием затяжек гаек и шурупов в промежуточных скреплениях**

Особое внимание при эксплуатации бесстыкового пути должно уделяться предотвращению угона плетей. Угон плетей приводит к концентрациям по их длине растягивающих или сжимающих усилий. Это может привести к температурному выбросу пути или к разрыву плетей или стыковых болтов.

Средний крутящий момент затяжки гаек болтов и шурупов промежуточных рельсовых скреплений не должен быть менее значений, приведенных в табл. 5.1. Монорегулятор скреплений APC-4 при укладке бесстыкового пути должен быть установлен в третью позицию.

Контроль за величиной крутящего момента осуществляется динамометрическими ключами, анкерных скреплений – специальными приборами типа АпАТЭК-ИПК-1. Данный контроль должен производиться по обоим рельсовым нитям с внешней и внутренней стороны не менее чем на 10 шпалах подряд. На коротких плетях длиной до 800 м выбираются три зоны: на концевых участках на расстоянии 15–20 м от концов плетей и в средней части плети. На длинных плетях – на концевых участках и через каждые 500 м по длине плети.

При падении уровня затяжки болтов и шурупов ниже допускаемых значений назначается сплошное их подтягивание. При снижении усилий прижатия рельса к основанию скрепления APC-4 до 15 кН монорегуляторы должны переводиться в четвертую позицию.

Контроль за усилием затяжки дополняется простукиванием молоточком. При обнаружении более 10 % ослабших болтов, шурупов, клемм назначается инструментальная проверка.

Рекомендуемая литература [5, 10, 12].