

БЕССТЫКОВОЙ ПУТЬ

*Под редакцией
профессора В. Г. Альбрехта,
профессора А. Я. Когана*



МОСКВА "ТРАНСПОРТ" 2000

ПРИНЦИПИАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО БЕССТЫКОВОГО ПУТИ. ТЕМПЕРАТУРНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА РЕЛЬСОВЫЕ ПЛЕТЫ

Бесстыковой путь / В. Г. Альбрехт, Н. П. Виногоров, Н. Б. Зверев и др.; Под ред. В. Г. Альбрехта, А. Я. Когана. — М.: Транспорт, 2000. 408 с.

Рассмотрена конструкция бесстыкового пути отечественных и зарубежных железных дорог. Обобщен опыт его сооружения и эксплуатации. Особое внимание уделено вопросу устойчивости бесстыкового пути при повышении температуры в летнее время.

Приведены материалы, характеризующие работу бесстыкового пути в условиях низких температур, а также особенности его конструкции и эксплуатации на станциях.

Отдельная глава посвящена проблеме вторичного использования старогодных материалов верхнего строения бесстыкового пути.

Книга предназначена для инженерно-технических работников путевого хозяйства. Ил. 185, табл. 89.

Книгу написали: В. Г. Альбрехт — пп. 1.1—1.4 совместно с Л. Г. Крысановым; пп. 2.3, 2.4; пп. 3.1—3.3 совместно с Г. С. Хвостик; пп. 4.1, 4.7; п. 4.6 совместно с Л. Г. Крысановым; пп. 9.1, 13.1, 13.2; приложения 1—3; А. Я. Коган — п. 2.6; Н. П. Виногоров — пп. 4.3, 5.4, 5.5, 8.2, 8.3; п. 8.1 совместно с Г. С. Хвостик; гл. 14; Н. Б. Зверев — пп. 1.5, 1.6, 2.1, 2.2, 2.5, 5.1, 7.1, 9.2; гл. 11 совместно с А. А. Шиладжан; В. Б. Каменский — гл. 10; Л. Г. Крысанов — пп. 1.1—1.4 совместно с В. Г. Альбрехтом; пп. 4.2—4.5; п. 4.6 совместно с В. Г. Альбрехтом; пп. 13.3, 13.4; Г. С. Хвостик — пп. 3.1—3.3 совместно с В. Г. Альбрехтом; пп. 5.2, 5.3, 5.6; п. 8.1 совместно с Н. П. Виногоровым; пп. 12.1, 12.2; А. А. Шиладжан — пп. 3.4, 3.5, 5.2; гл. 6; гл. 11 совместно с Н. Б. Зверевым; В. Я. Шульга — гл. 15.

Заведующий редакцией В. К. Тихонычева
Редактор А. С. Яновский

1.1. Общие положения. Параметры рельсов, применяемых для бесстыкового пути на отечественных и зарубежных дорогах

Бесстыковой путь — наиболее прогрессивная (в настоящее время) конструкция железнодорожного пути. Полное отсутствие стыков при хорошо отшлифованной поверхности головки рельса и отличном содержании пути позволяют практически не иметь каких-либо дополнительных динамических воздействий на пассажиров (полная комфортабельность), уменьшить сопротивление движению поезда на 8—12 %, сократить на 9—10 % расходы на ремонты подвижного состава и пути.

Такой путь уже существует как на отдельных направлениях железных дорог России (Московской, Октябрьской, Горьковской, Куйбышевской, Приволжской и др.), так и на всех скоростных линиях за рубежом.

К понятию “бесстыковой путь” на наших дорогах и в ряде случаев за рубежом относят также участки со сварными плетями, имеющими длину, равную блок-участку (обычно 2—4 км), где они (с использованием электроизолирующих накладок, а иногда еще двух—четырёх дополнительных рельсов) соединяются между собой, образуя так называемый уравнильный пролет. К сожалению, в настоящее время на большинстве отечественных дорог длина сварных плетей составляет, как правило, 550—800 м, между которыми уложены два—четыре уравнильных рельса. И хотя эти участки, по существующей у нас классификации, тоже относятся к “бесстыковому пути”, при таком решении мы имеем не “в чистом виде” бесстыковой путь, а чередование 550—800-метровых сварных плетей с короткими участками звеньев пути.

Неотложной задачей ближайших лет является: увеличение фактических длин сварных непрерывных плетей до длины блок-участков; замена уравнильных пролетов у светофоров на прямое соединение плетей высокопрочными изолирующими накладками; обеспечение непрерывной рельсовой нити (без изолирующих стыков) от станции до станции с использованием тональной блокировки.

Бесстыковой путь — температурно-напряженная конструкция. Помимо напряжений от действия колес подвижного состава на сварные

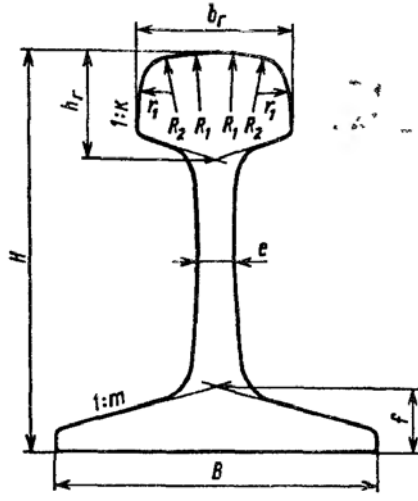


Рис. 1.1. Типовой поперечный профиль рельса

температурную работу рельсов. В этой связи рельсы сварных плетей бесстыкового пути на наших дорогах и за рубежом применяют, как правило, массой не менее 60 кг/м нитки (табл. 1.1, рис. 1.1), термообработанные, имеющие повышенные служебные свойства и прямолинейность.

Повышение температуры свободнолежащего рельса вызывает его удлинение. В условиях бесстыкового пути его средняя (большая) часть не имеет возможности изменять свою длину. При повышении температуры здесь возникают продольные силы сжатия N_t , которые при достижении своих критических значений N_k могут инициировать "выброс пути" — резкое его искривление в горизонтальной (чаще) и вертикальной (реже) плоскостях.

Экспериментами и расчетами установлена величина нагрева $[\Delta t_y]$ (сверх нейтральной температуры, когда продольные температурные силы равны нулю), при достижении которой $N_t = N_k$ и возможно нарушение устойчивости температурно-напряженного бесстыкового пути. Например, для плетей бесстыкового пути, сваренных из рельсов Р65, при зпюре железобетонных шпал 1840 шт./км в кривых радиусом 500 м при величине $\Delta t_y = 37^\circ\text{C}$ в обеих рельсовых нитях возникают продольные силы $N'' = 15290$ кН. В этот момент уже начинаются местные микродвижки отдельных участков (поперек оси) температурно-напряженных рельсов. В реальных условиях нагрев рельсовых плетей происходит от воздей-

плети действуют температурные силы N_t , достигающие в средней (основной) части плети 10 530—11 030 кН. После учета "избыточных" кромочных напряжений в подошве рельса от подвижного состава σ_k необходимо иметь запас прочности для восприятия температурных сил растяжения. Этот "запас" представляет собой разность между максимально допустимыми кромочными напряжениями $[\sigma]$ и уже "израсходованными" при восприятии поездной нагрузки σ_k . Эта разность $[\sigma] - \sigma_k$ — "запас" на температурную работу рельсов. Чем более мощными являются рельсы, тем меньше оказываются кромочные напряжения σ_k и тем больший "запас" остается на

Таблица 1.1

Страна	Тип рельса	Масса 1 м рельса, кг	Площадь, см ²	Высота рельса Н, мм	Ширина на подошвы В, мм	Высота головок, мм	Ширина на головки b_g , мм	Очертание поверхности головки рельса			Толщина шейки рельса e , мм	Толщина подошвы рельса f , мм	Наклон боковой грани головки 1: k	Наклон верхней грани подошвы 1: m
								r_1 , мм	R_1 , мм	R_2 , мм				
Германия, Италия, Франция, Англия	UIC 54	54,43	69,34	159,00	140,00	49,40	72,20	13,00	300	80,00	16,00	30,20	1:20	1:2,75; 1:18
	UIC 60	60,34	76,86	172,00	150,00	51,00	74,30	13,00	300	80,00	16,50	31,50	1:20	1:2,75; 1:14
Россия	Р50	51,67	65,99	152,00	132,00	42,00	72,00	15,00	500	80,00	16,00	27,00	1:20	1:4
	Р65	64,72	82,65	180,00	150,00	45,00	75,00	15,00	500	80,00	18,00	30,00	1:20	1:4
	Р75	74,414	95,037	192,00	150,00	55,30	75,00	15,00	500	80,00	20,00	32,30	1:20	1:4
	132RE	65,53	83,55	180,98	152,40	44,45	76,20	9,52	254	31,75	16,67	30,16	1:40	1:4
США	136RE	67,50	86,40	185,74	152,40	49,21	74,21	14,3	356	31,75	17,46	30,16	1:40	1:4
	140RE	69,40	89,03	185,74	152,40	52,30	76,20	9,52	254	31,75	19,05	30,16	1:14	1:3; 1:4
	155RE	76,90	98,00	203,20	171,45	52,39	76,20	9,52	254	31,75	19,05	32,54	1:14	1:3; 1:4
Канада	136CN	68,00	86,40	185,74	152,40	50,00	75,00	14,00	102	—	17,46	30,16	1:40	1:4
Япония	50kgN	50,40	64,20	153,00	127,00	49,00	65,00	13,00	300	80	15,00	30,00	1:40	1:40; 1:2,75
	60kgA	60,80	77,50	174,00	145,00	49,00	65,00	13,00	600	50	16,50	30,10	1:40	1:4

ствия солнечной энергии. Этот нагрев не должен превышать величину $[\Delta t_y]$. Величины Δt_y зависят от плана линии и конструкции пути: чем меньше радиус кривой R , тем меньше величина $[\Delta t_y]$.

1.2. ТЕМПЕРАТУРА РЕЛЬСОВ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА РАБОТУ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ

Бесстыковой путь — сложная инженерная конструкция, обеспечение безопасной эксплуатации которой требует выполнения комплекса расчетов на прочность и устойчивость, а также ряда специфических требований при укладке, ремонтах и текущем содержании.

При расчетах (и тем более при эксплуатации) необходимо знать температуру рельса t_p , которая не совпадает с температурой воздуха. Наблюдениями и экспериментами доказано, что за счет интенсивной солнечной радиации температура рельса t_p в летние жаркие дни (обычно в период от 14 до 15 ч) бывает на величину Δt выше температуры окружающей среды — воздуха t_b . Кроме этого, следует учесть, что в зависимости от угла падения солнечных лучей, плана и профиля пути температуры головки, шейки и подошвы могут отличаться на значительную величину. Наблюдались разницы температур до 12 °С. Однако, поскольку измерять температуру наиболее удобно и доступно в головке рельса, на практике принято считать эту температуру за общую температуру всего рельса.

В общем виде расчетная формула для определения наибольшей температуры рельсов имеет вид:

$$\max t_p = t_b + \Delta t. \quad (1.1)$$

Величина Δt колеблется от 15—16 °С в северных регионах до 23—24 °С в средней и южной полосе России.

Рассмотрим полученные с 13-ти дорог распределения положительных температур рельса при высокой температуре воздуха (рис. 1.2). Здесь для температур воздуха от плюс 24 до 40 °С с интервалом в 4 °С представлены в виде многоугольников соответствующие им процентные распределения наблюдаемых температур рельса. Жирные черные точки — среднearифметические значения температуры рельса; кружочки — максимальные вероятные значения $\max t_p = t_p + 2,5S$, где S — среднее квадратическое отклонение; I — спрямляющая по точкам $\max t_p$; 2 — линия расчетных температур рельса для дорог России ($t_p^{\text{расч}} = \max t_b + 20$ °С).

Минимум температуры рельса в зимний период обычно совпадает с температурой воздуха, поэтому расчетные минимальные температуры рельсов принимают равными температурам воздуха: $\min t_p \approx \min t_b$.

Большая часть железных дорог России расположена в холодных и очень холодных климатических зонах. Абсолютные минимумы в очень холодной зоне достигают минус 55—60 °С (Забайкальская, Восточно-Сибирская железные дороги и др.). Снижение температуры приводит к понижению пластичности и вязкости рельсовой стали. При этом при наличии различных дефектов (концентраторов напряжений) хрупкое разрушение рельсов произойдет практически без преодоления сопротивления, обусловленного пластичностью и вязкостью стали. Во ВНИИЖТе были выполнены комплексные исследования изменения служебных свойств рельсов при различных наработках тоннажа и температурах рельса. Результаты этих испытаний подтвердили значительное влияние низких температур на работоспособность рельсов (особенно, имеющих наработку тоннажа, близкую к нормативной). Эти материалы приводятся ниже, но до их анализа необходимо остановиться на процессе появления в головке рельсов внутренних продольных трещин (ВПТ), образующихся на участках пути, где не проводится профильная шлифовка рельсов.

Внутренние продольные трещины появляются в головке новых рельсов на глубине от 3 до 14 мм от поверхности катания (при осевых нагрузках вагонов 175—245 кН) в зоне строчек-дорожек неметаллических включений, где имеет место высокая концентрация знакопеременных контактных напряжений. Концентраторы напряжений — неметаллические включения, выгнанные при прокатке вдоль рельса, — представляют собой микрополости сечением (0,02—0,10) × (0,10—0,50) мм, частично заполненные конгломератами или отдельными частицами оксидов (нитридов). Вокруг конгломератов и частиц под действием колес подвижного состава образуются «ямки», которые, соединяясь, образуют «микроступеньку», от которой по краям в обе стороны может развиваться продольная трещина. Описанный выше механизм фазовых превращений в целом ряде случаев не имеет законченного цикла и не всегда завершается образованием ВПТ.

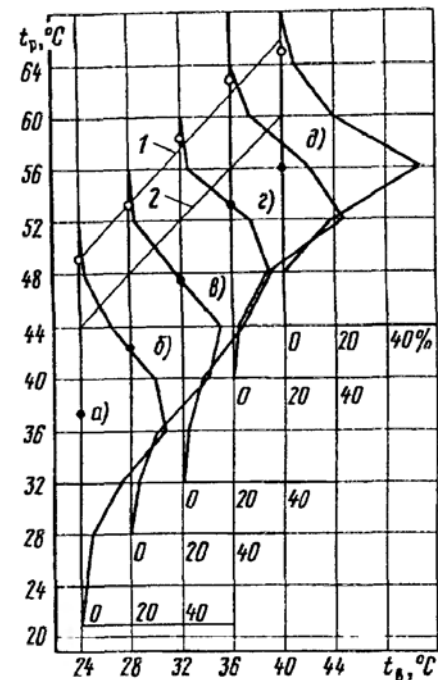


Рис. 1.2. Распределение температуры рельса в зависимости от температуры воздуха: а, б, в, г — при температуре воздуха соответственно 24, 28, 32, 36 и 40 °С

Изучение процесса образования и развития микротрещин, начиная с их длины 1,5—2,0 мм, проведенное на экспериментальном кольце ВНИИЖТа, показало следующее. На определенной стадии развития трещина, наряду с линейным удлинением, получает поперечное развитие сначала в виде поперечной изборозденности, а потом в виде расходящихся от фокуса колец, последовательно увеличивающих площадь внутренней трещины. ВПТ в своем развитии под действием поезда нагрузки и с учетом расположения неметаллических включений могут повернуть либо вверх, образуя выщербину на рабочей выкружке рельса и, в конечном виде, дефект 11, либо вниз к середине головки, инициируя развитие поперечной трещины усталости — дефект 21.

Требуется определенная наработка тоннажа от момента укладки новой плиты бесстыкового пути до образования ВПТ. Это — первый этап работы нового рельса. Нарботку тоннажа этого этапа для рельсов, у которых в процессе эксплуатации образуются ВПТ, обозначим $T_{ВПТ}$. По материалам полигонных и экспериментальных испытаний (рис. 1.3), величина $T_{ВПТ}$ для прямых и пологих кривых обычно колеблется в пределах 150—180 млн. т брутто. Второй этап работы — это период развития ВПТ до размеров $S_{обнар}^{мин}$, когда она при благоприятных обстоятельствах может быть обнаружена современными ультразвуковыми дефекто-

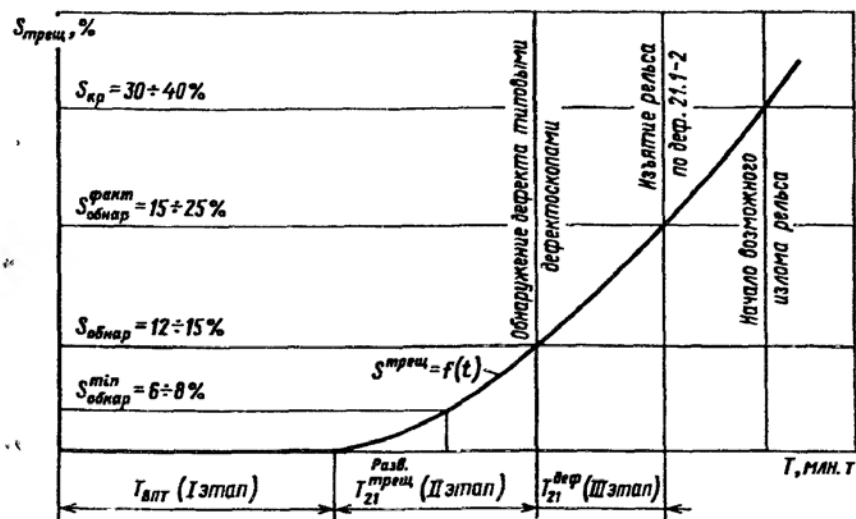


Рис. 1.3. Общая схема развития внутренней трещины (дефект 21) в головке рельса первой укладки (новый рельс):

$$S_{трещ} = \frac{\omega}{\Omega}, \text{ где } \omega — \text{ площадь дефекта; } \Omega — \text{ площадь головки рельса}$$

скопами. Обычно $S_{обнар}^{мин} \geq 6-8\%$

от площади всей головки. При достижении площади внутренней трещины 15—25 % от всей площади головки она обнаруживается типовыми дефектоскопами. Изломы рельсов при положительных температурах многократно фиксировались при достижении площади внутренней трещины $S_{кр} \leq 30-40\%$ от площади всей головки.

Изображенная на рис. 1.3 общая схема развития дефекта 21 при работе рельсов в холодной и очень холодной зонах в целом остается такой же. Однако для районов с холодным и очень холодным климатом за счет снижения трещиностойкости рельсовой стали изломы могут происходить при площади внутренней трещины меньшей, чем на участках, где имеют место положительные температуры или рельсы охлаждены не более чем до минус 20 °С.

До наработки 150 млн. т брутто служебные свойства термообработанных рельсов практически не меняются. Наличие в этот период только начинающих развиваться внутренних микротрещин не создает существенно опасных концентраторов напряжений. После наработки 250 млн. т брутто и образования первоначальных внутренних поперечных трещин влияние отрицательной температуры уже заметно сказывается при ее понижении до минус 20—40 °С. После наработки 400—500 млн. т брутто происходит резкое снижение разрушающей нагрузки (рис. 1.4). По причине снижения трещиностойкости при температуре минус 30—35 °С и ниже хрупкое разрушение рельсов происходит практически без преодоления сопротивления, обусловленного пластичностью и вязкостью рельсовой стали. На практике резкое увеличение одиночного выхода рельсов по дефекту 21 наблюдается при понижении температуры в пределах минус 25—40 °С.

Если размеры критической площади $S_{кр}$ дефекта 21, при которой может иметь место излом рельсовой плиты под поездом, при температурах минус 10—15 °С обычно не превышают 30 % от площади головки, то в условиях холодного и очень холодного климата были зафиксированы случаи излома рельса по дефекту 21 при $S_{кр} = 10-20\%$ от площади головки.

Помимо охрупчивания рельсовой стали в регионах с холодным и очень холодным климатом, серьезное влияние на путь оказывают ко-

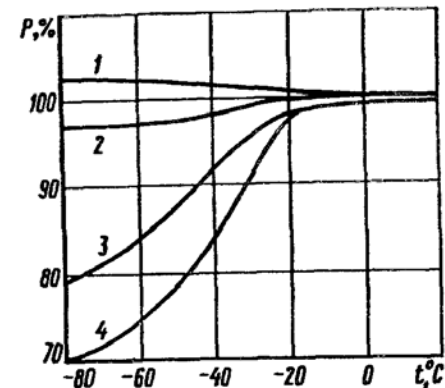


Рис. 1.4. Зависимость разрушающей нагрузки P от температуры при статических испытаниях объемнозакаленных рельсов Р65 (при различной наработке тоннажа): 1 — новые рельсы; 2, 3, 4 — рельсы, пропустившие соответственно 150, 250 и 500 млн. т брутто груза

лесные пары подвижного состава в части образования на них ползунков и наваров. При температуре минус 30 °С и ниже резко уменьшается сцепление колес локомотивов с рельсами из-за появления на поверхности катания рельсов ледяной пленки.

Анализ работы рельсов в пути за многолетний период показал, что при одинаковых эксплуатационных условиях интенсивность одиночного изъятия рельсов типа Р65 в районах с холодным климатом в 1,4—1,5 раза, а в районах с очень холодным климатом — в 1,75—1,90 раза больше, чем в районах с умеренным климатом. Проведенный анализ 438 случаев изломов рельсов Р65 показал, что в зимние месяцы их количество в холодной зоне в 5—8 раз больше, чем в летние.

Учитывая вышеизложенное, в настоящее время специалистами ВНИИЖТа, Департамента пути и сооружений МПС и Кузнецкого металлургического комбината созданы и прошли полигонные и эксплуатационные испытания рельсы низкотемпературной надежности, изготовленные по новой технологии нитридного упрочнения стали. Для разрушения этих рельсов, особенно при низких температурах, нужна энергия в 2—3 раза большая, чем для разрушения обычных рельсов. Кроме того, из-за особенностей структуры металла новые рельсы менее подвержены контактно-усталостным повреждениям.

На участках дорог, где температура в отдельные месяцы длительное время удерживается ниже минус 40 °С, должны укладываться рельсовые плети низкотемпературной надежности из электростали НЭ (шифр перед номером плавки). Экономические расчеты показывают, что некоторое увеличение стоимости новых рельсов (на 7—10 %) на участках бесстыкового пути дорог Сибири и Дальнего Востока полностью компенсируется их преимуществами.

1.3. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЖЕСТКОСТЬ ПОДРЕЛЬСОВОГО ОСНОВАНИЯ

Бесстыковой путь — инженерная конструкция, упруго перерабатывающая динамические воздействия колес подвижного состава. Повышение жесткости пути в зимнее время, особенно в холодной и очень холодной зонах, происходит за счет снижения упругих характеристик различных прокладок-амортизаторов, древесины деревянных шпал, замерзания загрязненного балласта, а также грунтов, прилегающих к зоне основной площадки земляного полотна.

Наиболее общим параметром, оценивающим жесткость бесстыкового пути в целом в вертикальной плоскости, является модуль упругости подрельсового основания u .

Теоретически представляется возможным получить в лабораторных условиях влияние понижения температуры на снижение упругости подрельсовых и нащпальных прокладок, образцов загрязненного балласта, а также соответствующих образцов грунта. Однако, помимо большой трудоемкости этих экспериментов, полученные материалы

Таблица 1.2

Тип шпал	Эпюра шпал. шт./км	Значения модуля упругости u_p , кПа	
		летом	зимой
Железобетонные	1840	100 000	170 000
	2000	110 000	185 000
Деревянные	1840	26 000	45 500
	2000	30 000	49 000

даже для одной и той же температуры были бы весьма разноречивыми в зависимости от степени износа прокладок, их влагоемкости, степени засорения балласта, а также физико-механических характеристик засорителей (руда, уголь, торф и др.). Кроме вышеизложенных трудностей, в методике пришлось бы учитывать, что в итоге мы получаем жесткости при статическом приложении нагрузок, в то время как все элементы пути работают в условиях динамических воздействий колес подвижного состава.

По рекомендации ВНИИЖТа специалистами НИИЖТа под руководством Н. И. Карпущенко расчетный модуль u_p был определен для зимних и летних условий с использованием современной тензотрической аппаратуры при массовых замерах напряжений в рельсах и деформаций пути под проходящими поездами. Эксперименты проводились на главных путях Забайкальской ж. д. в различное время года (рельсы типа Р65, шпалы деревянные и железобетонные, электротяга). Обработка большого числа экспериментов позволила получить параметры модуля упругости u_p (табл. 1.2).

Материалы табл. 1.2 позволяют заключить, что в зимнее время модуль упругости (при понижении температуры до минус 30 °С) возрастает в следующих пределах: железобетонные шпалы — в 1,68—1,70 раза, деревянные шпалы — 1,63—1,73 раза. Модули упругости, помещенные в табл. 1.2, были приняты как расчетные при разработке нормативных документов, в том числе Технических указаний по устройству, укладке и содержанию бесстыкового пути.

1.4. ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ

Российская Федерация. Железные дороги Российской Федерации расположены в северном полушарии в основном между 50° и 60° северной широты. Из 87 тыс. км эксплуатационной длины главного пути южнее 50° северной широты лежит часть дорог европейской части России — 5,3 тыс. км и участок Транссиба от Благовещенска до Владивостока и Посъета. Более 6,3 тыс. км эксплуатационной длины расположены между 60° и 70° северной широты, в том числе часть из

них — за северным полярным кругом: магистрали Печенга — Мурманск — Кандалакша — северные участки Воркутинской линии и др. Для сопоставления следует отметить, что северная граница между США и Канадой проходит южнее 48°—50° северной широты, что соответствует территории, расположенной между Харьковом и Днепрпетровском.

Расчеты и опыт эксплуатации показывают, что при годовых температурных амплитудах рельсов $T_A \geq 105 \div 110$ °С существующая на дорогах России конструкция бесстыкового пути по параметрам прочности и устойчивости длинных сварных плетей “не проходит” при радиусах кривых $R \leq 500 \div 600$ м. Это сдерживает расширение полигона сети пути этого типа на районы Сибири и Дальнего Востока, где многие участки железных дорог проложены в горной местности, в том числе на перевальных участках.

Еще в 1980-х годах для инженерных целей было выполнено районирование территории СССР по воздействию климата на технические материалы и изделия. Железные дороги России располагаются в пределах нескольких климатических районов (рис. 1.5). В районе П₅ с умеренным климатом находятся Октябрьская, Московская, Северная, части Юго-Восточной и Приволжской железных дорог, а также Куйбышевская и Горьковская железные дороги. Часть Приволжской железной дороги южнее Волгограда расположена в пределах района П₁₁ с жарким сухим климатом.

Железнодорожные станции Юго-Восточной и Северо-Кавказской железных дорог, находящиеся между двумя прямыми, соединяющими города Курск — Воронеж — Волгоград и Ростов-на-Дону — Махачкала, расположены в пределах района П₇ с умеренно теплым климатом.

Южнее прямой Ростов — Махачкала лежит район П₉ с умеренно теплым климатом с мягкой зимой.

Железнодорожные станции Калининградской железной дороги относятся к району П₈ с умеренно теплым влажным климатом.

Свердловская, Южно-Уральская, Западно-Сибирская, Красноярская, Восточно-Сибирская, большая часть Забайкальской, Дальневосточная железные дороги находятся в районе П₄ с умеренно холодным климатом, или на границе с районом I₂.

Южная часть Дальневосточной железной дороги в окрестностях Владивостока попадает в район П₆ с умеренно влажным климатом.

Весь БАМ, за исключением Верхнеангарска и участка Комсомольск—Березовка, а также участок Забайкальской железной дороги от Сковородино до Архары расположены в районе I₂ с холодным климатом (рис. 1.6).

Основные температурные характеристики климатических условий названных районов приведены в табл. 1.3. Они позволяют оценить изменение климатических показателей, влияющих на работу бесстыкового пути, в связи с его продвижением из европейской части России на Урал и в Сибирь.

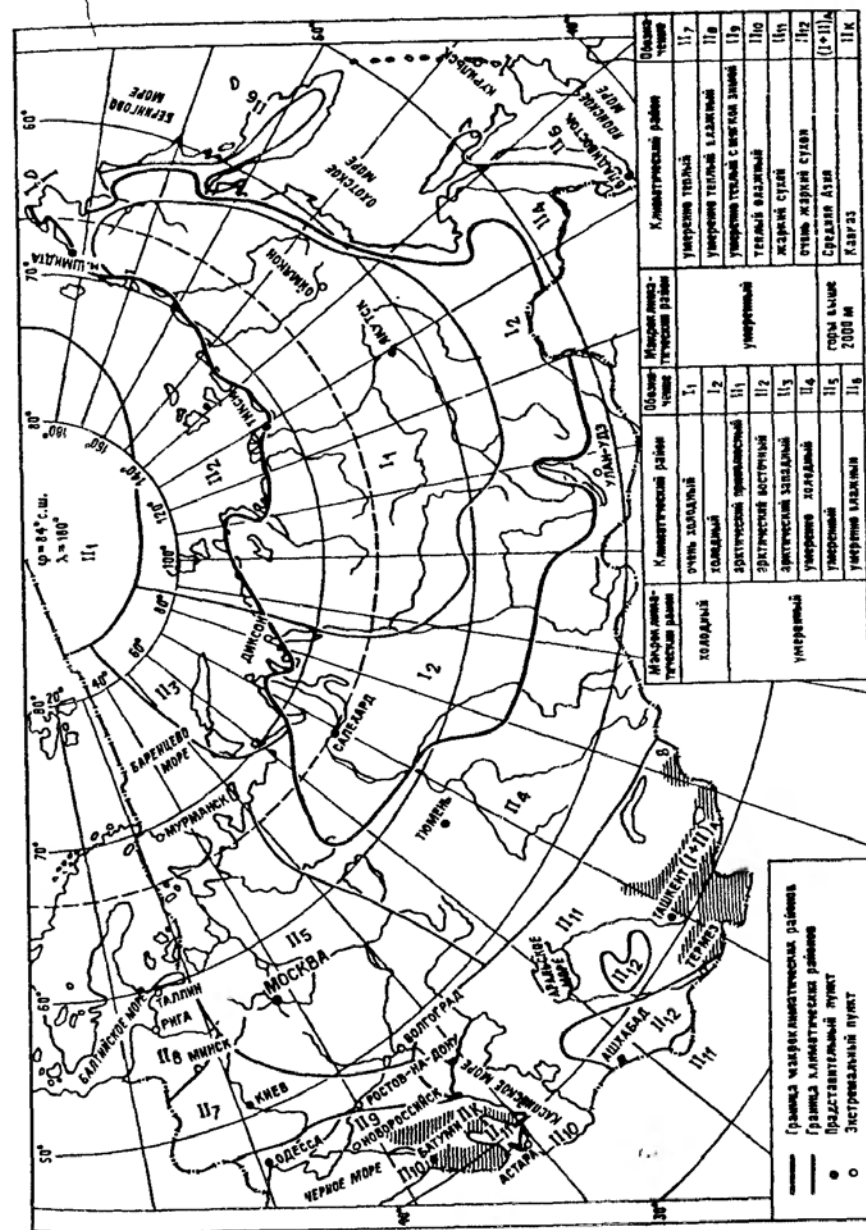


Рис. 1.5. Климатические зоны России

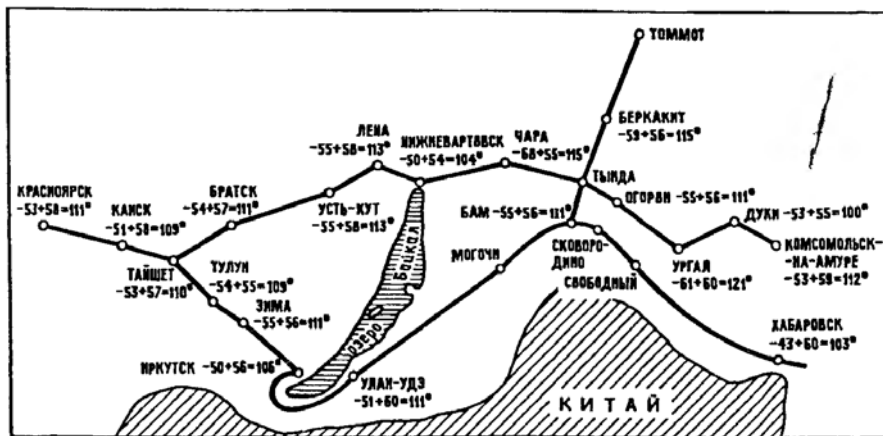


Рис. 1.6. Схема железных дорог Великого Сибирского пути и БАМа с нанесением на ней расчетных температур рельсов

Страны СНГ (кроме Российской Федерации). Они расположены, в основном, в умеренном климате. Анализ, проведенный с использованием климатических справочников, а также данных метеостанций, показывает следующее. В Белоруссии, Прибалтике, Молдове, республиках Средней Азии, Закавказья, а также на дорогах Украины годовые температурные амплитуды T_A везде меньше 100°C . Минимальные температуры в зимнее время нигде не опускаются ниже минус 40°C .

На дорогах Казахстана в условиях резко континентального климата минимальные температуры в зимнее время в ряде районов опускаются ниже минус 50°C (Петропавловск — минус 53°C , Акмала — минус 52°C , Кокчетав — минус 51°C и т. д.); годовые температурные амплитуды T_A колеблются от 101 до 114°C .

Однако в основном равнинный рельеф местности позволяет в Казахстане укладывать бесстыковой путь, используя кривые радиусов, как правило, более 600—800 м.

Зарубежные страны. Железные дороги Финляндии (6 тыс. км) расположены между 67° и 60° северной широты, Швеции (1,2 тыс. км) — между $68,5^\circ$ и 55° северной широты и Норвегии (4,3 тыс. км) между 68° и 58° северной широты. Хотя эти дороги можно отнести к самым северным на Европейской территории (часть из них пролегает за Северным полярным кругом), близость океана и теплое течение Гольфстрим существенно влияет на климатические условия.

Показатель	Значение показателя для климатических районов							
	I ₂	II ₄	III ₅	IV ₆	V ₇	VI ₈	VII ₉	VIII ₁₁
Средняя месячная температура воздуха, $^\circ\text{C}$:								
январь	от -30 до -15	от -30 до -15	от -15 до 8	от -15 до -10	от -8 до -4	от -8 до -4	от -4 до 0	от -15 до -4
июль	от 2 до 25	от 6 до 25	от 8 до 25	от 10 до 20	от 16 до 25	от 16 до 25	от 16 до 25	от 25 до 30
Число дней в году с минимальной температурой воздуха ниже 45°C , сут.	от 1,0 до 10	от 0,1 до 1,0	—	—	—	—	—	—
Число дней в году со среднесуточной температурой:								
ниже 0°C	222	164	137	127	109	112	56	44
выше 0°C	143	201	228	238	256	253	309	321
Средняя годовая температура, $^\circ\text{C}$	-5,7	1,7	4,6	4,5	7,7	5,5	10,3	13,5
Абсолютный минимум температуры воздуха, $^\circ\text{C}$	-54	-50	-41	-31	-32	-39	-28	-30
Абсолютный максимум температуры воздуха, $^\circ\text{C}$	31	39	37	36	39	35	39	44
Годовой минимум температуры воздуха, $^\circ\text{C}$, при повторяемости один раз в:								
20 лет	-51	-46	-39	-30	-31	-36	-26	-28
10 лет	-49	-44	-37	-29	-29	-33	-24	-26
4 года	-47	-42	-34	-28	-26	-30	-21	-22
2 года	-44	-39	-31	-26	-23	-27	-17	-16
Годовой максимум температуры воздуха, $^\circ\text{C}$, при повторяемости один раз в:								
20 лет	30	37	36	35	37	34	36	43
10 лет	29	36	35	34	36	33	35	42
4 года	28	35	34	33	34	32	34	41
Максимальный суточный перепад температуры воздуха, $^\circ\text{C}$	29,1	29,2	26,3	20,0	21,7	21,0	21,7	25,1

В зимнее время температуры в Норвегии не опускаются ниже минус 37,8 °С, в Швеции — минус 43 °С, в Финляндии — минус 45 °С.

Климатические зоны Канады сопоставимы с Российской Федерацией. Однако из 59 тыс. км железнодорожной сети основные магистрали расположены в ее южной части между 42° и 50° северной широты. Отдельные линии, идущие в северную часть Канады (Шаффервил — Сет-Иль, Черчилл — Тепас и др.), расположены в резко выраженном континентальном климате. Зимние температуры в населенных пунктах достигают минус 50—57 °С, в том числе Форт-Смит — минус 56,7 °С, Форт-Нельсон — минус 52 °С, Уайтхорс — минус 52,2 °С, Реожайна — минус 50 °С и т. д.

Железная дорога на Аляске длиной около 500 км расположена между 65° и 60° северной широты. В столице штата Фэрбанксе минимальные температуры достигают минус 52,2 °С.

На территории Западной Европы минимальные зимние температуры очень редко достигают минус 30 °С и поэтому укладка бесстыкового пути не сдерживается температурным фактором.

1.5. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЛЬСОВ

Фактическую температуру рельсов бесстыкового пути оперативным работникам путевого хозяйства необходимо знать (и уметь измерять) на всех этапах формирования сварных плетей, их укладки в путь, ремонтах, проведении работ по текущему содержанию. В этой связи, помимо знаний величин $\max t_p$, $\min t_p$, температурного интервала укладки и закрепления плетей в данном месте, нужны сведения о текущих температурах. Их определяют техническими средствами.

Все термометры, применяемые для измерения температуры рельсов, можно разделить по назначению на три группы: приборы для измерения непосредственно в пути на месте работ; стационарные приборы для измерений на температурных постах метеостанций и дистанций пути; стационарные или переносные приборы для измерений в цехах рельсосварочных поездов (РСП) в процессе изготовления плетей.

Более чем сорокалетний опыт эксплуатации бесстыкового пути на отечественных железных дорогах позволил сформулировать общие требования к таким термометрам: точность измерений (цена одного деления шкалы) ± 1 °С; время одного отсчета не более 10 мин; возможность получать информацию непосредственно на месте измерения без необходимости последующей расшифровки данных; для переносных приборов масса не более 1 кг (вместе с комплектом батарей в случае электрического питания); защищенность от ударов, тряски и воздействия влаги, холода и тепла; отсутствие в конструкции прибора дефицитных и дорогих деталей; отсутствие вредного воздействия на чело-

веческий организм (вибраций, облучения и др.); удобство и надежность установки теплочувствительного элемента на рельсе; доступность обращения без специальной подготовки и образования.

По принципу действия термометры могут быть: электрические — полупроводниковые, с датчиками в виде катушек сопротивления и др.; механические — с биметаллическими спиралями, металлическими стержнями, изменяющими длину при нагревании и охлаждении и др.; жидкостные колбовые — ртутные, спиртовые, толуоловые.

На железных дорогах бывшего СССР наибольшее распространение получили летом ртутный, зимой — спиртовой термометры. Используя лабораторные, технические, бытовые градусники в разные годы на дорогах кустарно изготавливали приборы для измерения температуры рельса. На рис. 1.7 приведены схемы и общий вид некоторых таких термометров. Все они имеют колбовые жидкостные рабочие органы. Для лучшего контакта шарика колбы с поверхностью рельса жидкостные градусники помещают в металлическую коробочку с медными или свинцовыми опилками. В крайнем случае можно присыпать шарик сухим песком. При установке градусников в высверленные в рельсах гнезда туда надо закладывать солидол или другую консистентную смазку.

В 1970-е годы ПКБ ВНИИЖТа разработало, а опытный завод изготовил партию приборов ТР-4 с толуоловым наполнителем для работы в вертикальном положении (рис. 1.8) и ТР-5 с ртутным наполнителем для работы в горизонтальном положении (рис. 1.9). На рельсе их закрепляют двумя пружинными лапками. Диапазон измерений температур рельсов от минус 55 °С до плюс 55 °С при толуоле и от минус 35 °С до плюс 75 °С при ртути. Цена деления шкалы ± 1 °С. Инерционность — 10—15 мин. Контакт рабочего органа с поверхностью рельса надежный.

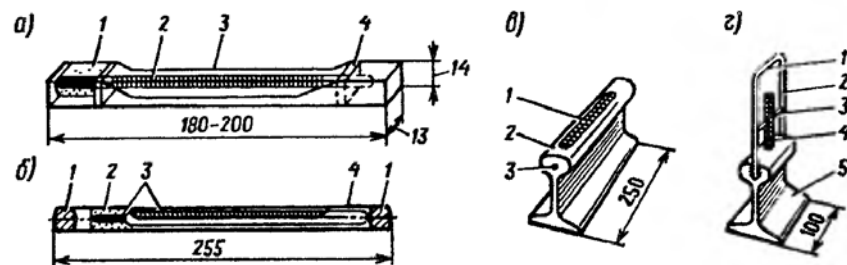


Рис. 1.7. Кустарные рельсовые термометры: а — Донецкой дороги; 1 — медные опилки; 2 — ртутный градусник ТМ-8; 3 — жестяной кожух; 4 — резиновый амортизатор; б — Среднеазиатской дороги; 1 — резиновый амортизатор; 2 — медные опилки; 3 — ртутный термометр ТЛ-2; 4 — корпус прибора; в — в куске рельса с горизонтальным расположением; 1 — ртутный градусник; 2 — кусок рельса; 3 — пробка; г — переносной с горизонтальным расположением; 1 — ручка; 2 — рама; 3 — держатель; 4 — градусник; 5 — кусок рельса

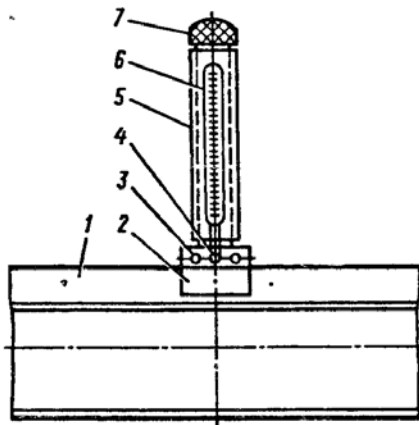


Рис. 1.8. Термометр ТР-4 (с толуоловым рабочим наполнителем):
1 — рельсовая плеть; 2 — пружинные зажимы; 3 — болты; 4 — контактная колодка с помещенной в ней головкой колбы; 5 — цилиндрическая штorka; 6 — корпус прибора; 7 — пробка

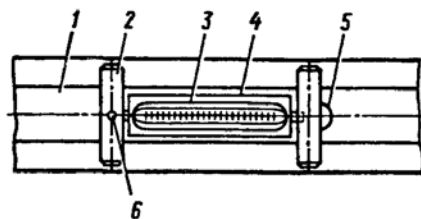


Рис. 1.9. Термометр ТР-5 (с ртутным рабочим наполнителем):
1 — плеть; 2 — пружинные зажимы; 3 — цилиндрическая штorka; 4 — корпус прибора; 5 — пробка; 6 — головка колбы

На железных дорогах Германии, Венгрии, Англии и других стран применяют удобные в обращении термометры часового типа с биметаллической пружиной. Принцип их действия основан на различном тепловом расширении металла двух частей биметаллической пружины, приводящем к изменению угла ее закручивания и повороту прикрепленной к ней стрелки относительно неподвижной шпалы.

Одним из первых отечественных переносных электрических приборов стал в 1956 г. прибор путепытательной лаборатории ЦНИИ МПС (авторы В. В. Богословский и Б. С. Косарев). Чувствительным элементом электротермометра является катушечка с несколькими витками медной проволоки диаметром 0,05 мм. При изменении температуры меняется сопротивление проволоки, а одновременно и сила пропускаемого тока, что фиксируется микроамперметром, шкала которого градуирована в градусах Цельсия. Точность измерения электротермометром ± 1 °С; время измерения 0,5 мин. Датчик электротермометра в стальной обойме кладется на головку рельса.

В 1970—1980-х годах был налажен выпуск рельсовых электротермометров типа ЭТП-М в производственных мастерских одного из институтов Свердловска. Этим прибором на полупроводниках можно измерять температуру рельсов с точностью 1 °С в трех диапазонах (с разными шкалами) от минус 50 °С до плюс 120 °С. Питание — от четырех батареек. Теплочувствительный датчик на длинной ручке просто приставляется к измеряемой поверхности. Прибор весит около 2 кг.

В настоящее время на отечественных железных дорогах начали активно внедрять электронные приборы, основанные на применении

термопары. Вместе с тем еще достаточно широко применяются ртутные или спиртовые термометры, вмонтированные в рельсы.

В качестве стационарных приборов для измерения температуры рельсов на метеостанциях применяют термографы-самописцы, дающие непрерывные или периодические записи температуры в течение суток, недели и т. д. Самые старые модели — механические с рабочим органом в виде биметаллических спиралей или в виде куска рельса, свободно подвешенного или уложенного на катки с малым сопротивлением удлинению или укорочению.

Рельсовый термограф имеет в своей нижней части цилиндрический термоэлемент, который погружается в отверстие, просверленное в эталонном рельсовом коротышке. Этот коротыш укладывается рядом с путем на полушпалы, засыпанные щебнем, для создания тех же условий облучения и обдува, что и ходовых рельсов. Одновременно с записью температуры рельсов специальный воздушный термограф записывает температуру воздуха на высоте 2 м над землей. Он устроен аналогично рельсовому. Точность измерения термографами ± 1 °С.

На барабане термографа закреплена разграфленная лента бумаги. Барабан вращается со скоростью один оборот в сутки или в неделю. Привод барабанов малых термометров — от часового механизма, больших — электрический. Стрелка самописца связана с биметаллической спиралью или с измерительным рельсом.

На местных температурных постах (например, на охраняемых переездах) делают кустарные стенды. Периодичность измерений на постах дистанций пути и способ сообщения данных устанавливаются начальником дистанции. На метеостанциях, если нет непрерывных записей, измерения выполняют в 7, 13, 19 и 01 ч; в жаркое время — ежедневно с 7 до 19 ч.

1.6. ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЯ, ФИКСИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЛЬСОВ

Первые инструментальные измерения температуры рельсов начинаются в РСП, где длина свариваемой при какой-либо фактической температуре плети должна соответствовать температуре рельса при плюс 20 °С. После укладки плети в путь дату укладки и температуру плети при ее закреплении на подкладках наносят масляной краской в начале и конце каждой плети на внутренней стороне шейки рельса. При закреплении плетей на шпалах температуру измеряют перед началом и после окончания закрепления. Среднее ее значение записывают в Журнал учета службы и температурного режима рельсовых плетей. Если из нескольких коротких плетей сваривают длинные плети, то эти сведения по каждой из составляющих плетей записываются в Паспорт-каргу бесстыкового пути с плетями длиной более 950 м. Для

того чтобы среднее значение было более точным, работу стремятся выполнить как можно быстрее. При ручном выполнении работ целесообразно сначала закреплять плетель только на части шпал, например, согласно ТУ на каждой пятой. Если при закреплении плетей их температура выходит за пределы расчетного интервала, следует регулировать ее нагревом или охлаждением до требуемого значения. Специальные механизмы и машины для этого есть как у нас, так и за границей.

Со времени закрепления плетей на постоянный режим они начинают "жить" по правилам, отправной точкой для которых становится температура закрепления, в большинстве случаев ее называют *нейтральной* температурой. Всякое ее изменение должно быть зафиксировано в журнале. В журнал заносят работы, которые влияют на температурный режим плетей и на ее напряженное состояние: разрядка температурных напряжений, восстановление целостности рельсовых плетей, смена уравнильных рельсов, ликвидация угона.

Для технического исполнения названных требований, на каждом рабочем отделении дистанции пути, кроме механизмов, инструмента, инвентаря и оборудования для текущего содержания бесстыкового пути должны быть термометры для измерения температуры рельсов в количестве не менее двух штук.

Во время работ, временно снижающих устойчивость пути, температуру измеряют несколько раз, следя за тем, чтобы в период собственно ослабления сопротивляемости пути выбросу температура не превышала допускаемую для данного вида работ. Так, исправление просядок, толчков и перекосов, рихтовка пути, смена шпал могут проводиться при температурах, превышающих температуру закрепления не более чем на 5—20 °С (в зависимости от плана линии и вида работ). Единичную смену элементов скреплений можно выполнять одновременно не чаще, чем через 10 шпал, если температура рельсов во время выполнения работ превышает на 15 °С и более температуру закрепления. При температурах, отличающихся от температуры закрепления, не рекомендуются работы в рельсовых стыках уравнильных пролетов.

При работе щебнеочистительных, балластировочных, рихтовочных, выправочно-подбивочных машин допустимое отклонение температуры рельсовых плетей от температуры их закрепления в зависимости от плана пути и вида работ не должно превышать 0—20 °С в сторону повышения и 20—25 °С в сторону понижения. Восстановление целостности рельсовой плети сваркой необходимо производить при температуре рельсов не ниже температуры закрепления плети.

Если необходимо выполнять работы при больших отклонениях температуры рельсовых плетей, то до их начала нужно разрядить температурные напряжения, а после их завершения ввести плети в расчетный температурный интервал. О том и о другом обязательно делается запись в журнале.

Летом с наступлением температур, близких к наивысшей для данной местности, а зимой при понижении температур на 60 °С и более по сравнению с температурой закрепления или при температуре воздуха минус 30 °С и ниже на весь период действия таких температур должен быть усилен надзор за бесстыковым путем.

Особое внимание должно быть уделено информации о температуре рельсов при расследовании случаев, связанных с подозрением на выброс бесстыкового пути. Необходимо знать температуру в момент выброса. Целесообразно ее измерять по прибытии на место происшествия, если с момента выброса прошло непродолжительное время и не было резких изменений погоды. Оценить температуру можно используя данные специальных постов, как правило, на переездах или на железнодорожных метеостанциях, где они фиксируются каждый час, а также по данным температуры воздуха, полученным от других метеостанций. В этом случае при отсутствии облачности температура рельса, как правило, бывает на 15—20 °С выше температуры воздуха.

При расследовании случаев, связанных с выбросами бесстыкового пути, необходимо ознакомиться с записями в Журнале учета службы и температурного режима рельсовых плетей, обратив внимание на те работы, при которых были возможны изменения температурного режима плети.

Источником информации о температуре рельса в конкретный момент времени служат данные регулярных наблюдений, которые ведутся на метеорологических станциях. Метеорологическая служба России существует около 120 лет. Наблюдения за температурами воздуха ведутся на территории России широкой сетью метеостанций в течение многих десятилетий и являются достаточно надежными. Данные наблюдений систематически публикуются в климатических справочниках, предназначенных для различных географических районов. Последнее издание такого справочника вышло в свет в 1993 г. В нем приведены сведения об абсолютных температурах воздуха и почвы до 1985 г. включительно. Расчетные температуры $t_{\max \max}$ и $t_{\min \min}$ в конкретном пункте железной дороги определяют на основании абсолютных температур, указанных в климатическом справочнике для данного района. Кроме метеостанций федерального подчинения, существуют дорожные метеостанции, которые обслуживают нужды отдельной дороги. Они ведут наблюдения также за текущей температурой рельсов и выполняют прогноз их температуры, что необходимо при планировании путевых работ на ближайшие дни.

Для измерения температуры рельсов на метеостанции сооружается специальный стенд, схема которого показана на рис. 1.10. Рельсы типа Р65 и Р50 длиной 2,0 м ориентированы один в широтном, другой — в меридианальном направлении. Основанием для рельсов служит щебеночная балластная призма и деревянные полушпалы. Рельсы к полушпалам крепятся типовыми промежуточными скреплениями. В голов-

ПРОДОЛЬНЫЕ СИЛЫ,
ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА БЕССТЫКОВОЙ ПУТЬ,
И ЕГО УСТОЙЧИВОСТЬ

2.1. ИЗМЕНЕНИЕ ДЛИНЫ РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЕЙ
ПРИ КОЛЕБАНИЯХ ТЕМПЕРАТУР

Удлинение (укорочение) рельса как свободного стержня

$$\lambda_{св} = \alpha L \Delta t_p, \quad (2.1)$$

где α — коэффициент линейного расширения рельсовой стали; $\alpha = 0,000118$ град⁻¹; Δt_p — изменение температуры, °C; L — длина рельса (рельсовой плети).

Свободное удлинение рельса можно зафиксировать, если он положен на ролики или на специальные прокладки, имеющие очень небольшой коэффициент трения. В реальных условиях изменение длины сварной рельсовой плети бесстыкового пути происходит по более сложному закону, преодолевая стыковые и погонные сопротивления.

Концы плетей бесстыкового пути соединены стыковыми накладками и до преодоления стыкового сопротивления R_n перемещение концов плети отсутствует. Повышение температуры приводит к росту продольных температурных сил и напряжений σ_t , при этом

$$\sigma_t = E \frac{\lambda_{св}}{L}, \quad (2.2)$$

где E — модуль упругости рельсовой стали; $E = 21 \cdot 10^4$ МПа.

Подставляя в формулу (2.2) значение $\lambda_{св}$ из формулы (2.1) и переходя ко всей площади рельса F , получаем величину продольной силы N_t , которая будет действовать в рельсе к моменту преодоления стыкового сопротивления в накладках (R_n):

$$N_t = F \sigma_t = F E \alpha \Delta t. \quad (2.3)$$

Из этого выражения можно получить величину изменения температуры рельса Δt_n , при которой стыковое сопротивление будет преодолено:

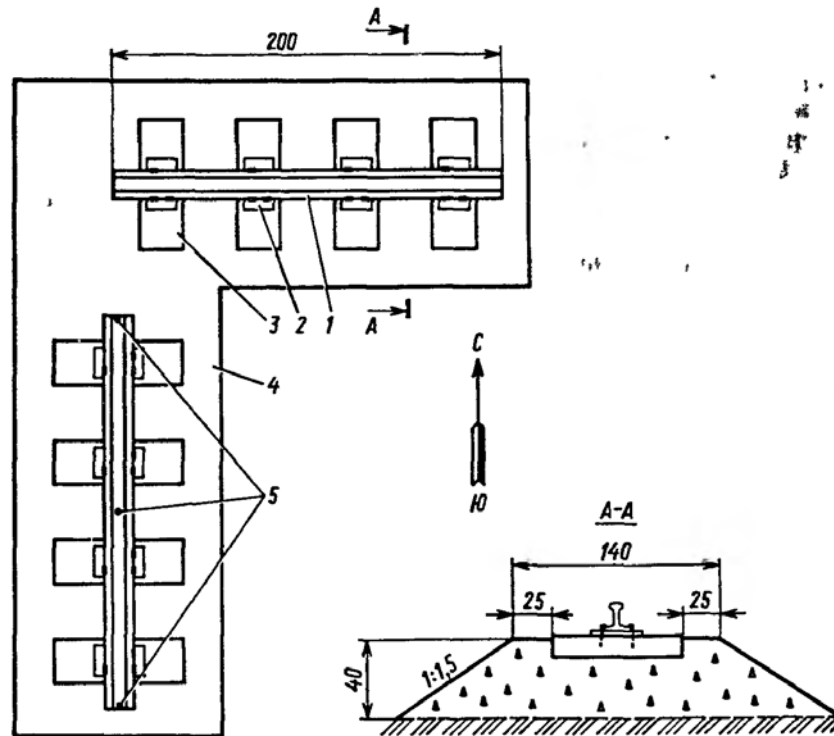


Рис. 1.10. Стенд для измерения температуры рельсов:

1 — рельсовая рубка; 2 — подкладка; 3 — деревянная полупала; 4 — балластная призма; 5 — места установки термометров

ке рельса в специальные отверстия устанавливаются максимальный, минимальный и срочный термометры. Отсчеты по срочному термометру проводятся в 3, 9, 15 и 21 ч по местному времени. Отсчеты по максимальному и минимальному термометрам производятся один раз в сутки. Температура воздуха измеряется по типовой методике, применяемой на метеостанциях. Место для стенда выбирается таким образом, чтобы на рельсы не падала тень от сооружений или неровностей местности. В зимнее время рельсы и балластная призма очищаются от снега. Для непрерывной записи температуры рельсов может быть использована инварная проволока, один конец которой неподвижно прикреплен к рельсовой рубке. Другой конец через пружину с натяжением 15—20 кг выведен на самопишущее устройство. Контроль записи температуры рельса осуществляется при помощи срочного термометра, установленного в отверстие головки рельса.

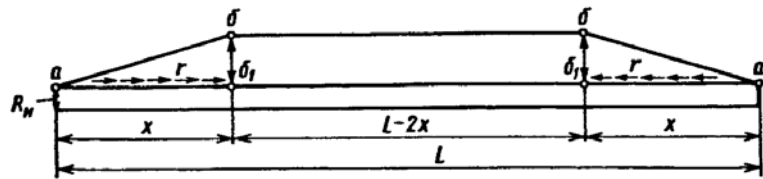


Рис. 2.1. Распределение продольных сил в плети бесстыкового пути:
 x — подвижные концы плетей, L — общая длина плиты; $L-2x$ — неподвижная часть плиты;
 R_n — сопротивление накладок

$$\Delta t_n = \frac{R_n}{\alpha E F} \quad (2.4)$$

После повышения температуры рельса на величину, большую Δt_n , начинается удлинение его концов с одновременным преодолением погонного сопротивления r . Эпюра продольных сил от погонного сопротивления определяется контуром abb_1 (рис. 2.1).

Величина удлинения λ_n стержня (рельса) с одновременным преодолением погонного сопротивления изменяется по закону квадратной параболы:

$$\lambda_n = \frac{rx^2}{2EF} \quad (2.5)$$

Рассматривая сечение $b-b_1$ на расстоянии x от конца плиты, можно написать равенство:

$$rx = FE\alpha\Delta t. \quad (2.6)$$

Отсюда длина подвижной части конца плиты при повышении температуры на Δt .

$$x = \frac{FE\alpha\Delta t}{r} \quad (2.7)$$

Например, если $\Delta t = 40^\circ\text{C}$; $\alpha E = 250 \text{ Н/см}^2$; $r = 100 \text{ Н/см}$ рельсовой нити, то величина x будет 6500 см, или 65 м. По многолетним наблюдениям на опытных участках длина "дышащих" участков колеблется от 45 до 70 м.

Для рельсов Р65 ($F = 82,7 \text{ см}^2$) при сопротивлении стыков $R_n = 100 \text{ кН}$ и погонном сопротивлении $r = 80 \text{ Н/см} = 0,08 \text{ кН/см}$ для преодоления сопротивления в стыке погребутся нагреть рельс на:

$$\Delta t_n = \frac{R_n}{\alpha E F} = \frac{100}{0,0000118 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot 82,7} \cong 5^\circ\text{C}$$

Длина участка продольной деформации при нагревании плиты на $\Delta t = 30^\circ\text{C}$ будет следующей:

$$x = \alpha E F \frac{(\Delta t - \Delta t_n)}{r} = \frac{0,0000118 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot 82,7(30 - 5)}{0,08} = 6403 \text{ см} = 64,03 \text{ м.}$$

Смещение конца плиты:

$$\Delta t_n = \frac{1}{2} \alpha x (\Delta t - \Delta t_n) = \frac{1}{2} \cdot 0,0000118 \cdot 6403 (30 - 5) = 0,94 \text{ см} = 9,4 \text{ мм.}$$

На рис. 2.1 представлена в общем виде эпюра продольных сил в плетях бесстыкового пути: концевые участки длиной x подвижны. От величины их перемещения зависят размеры стыковых зазоров.

Средняя часть плиты $L - 2x$ при изменениях температуры остается неподвижной.

Величина продольных сил на этом протяжении определяется выражением (2.3). Длина подвижных концевых участков x не зависит от длины сварной плиты и определяется погонным сопротивлением и величинами перепада температур.

2.2. ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЕЙ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ

Рельсовые плиты длиной от 440 до 800 м изготавливают сваркой (обычно электроконтактной) на рельсосварочных предприятиях. После термообработки сварных стыков, которая обеспечивает их прочность, равную прочности цельного рельса, на специальных складах плиты доставляют к месту укладки. Длина привезенных плит на перегонах может быть увеличена до проектных размеров при помощи передвижных рельсосварочных агрегатов.

В настоящее время длины плит бесстыкового пути в эксплуатации обычно устраивают следующими:

от станции до станции (длина перегона) с устройством на границах блок-участков тональной блокировки, при которой смежные участки непрерывной рельсовой плиты имеют различную частоту сигнального тока;

при отсутствии тональной блокировки длины сварных плит делают равными длинам блок-участков, соединяя их между собой стыками повышенной прочности, которые одновременно должны быть электроизолирующими. Однако чаще на границах блок-участков укладывают четыре пары уравнильных рельсов по 12,5 м каждый. Между вторым и третьим уравнильными рельсами устраивают изолирующие стыки; непрерывная длина плит при этом обычно 2—4 км. И, наконец, нередко длины плит бывают 500—800 м и между ними укладывают два-три уравнильных рельса.

Таким образом, исключая участки тональной блокировки, под понятием "бесстыковой путь" следует понимать чередование сварных плетей длиной 500—2000 м и уравнительных пролетов, представляющих собой короткие отрезки звеньев пути. В нашей стране минимальная длина плетей установлена 350 м.

Для компенсации удлинений или укорочений "дышащих" концов сварной плети уравнительные рельсы имеют стандартные укорочения 40, 80 и 120 мм.

Для нормальной эксплуатации плетей и уравнительного пролета рельсы соединяются между собой болтовыми стыками с шестидырными накладками. Сопротивление сдвигу в накладках — это приблизительно четырехкратная сила трения на контакте накладки с пазухой рельса:

$$R_{\text{н}} = 8,24 \psi A M_{\text{кс}}, \quad (2.8)$$

где n — число болтов на одном конце рельса; ψ — коэффициент трения накладки по рельсу; A — коэффициент, зависящий от формы, размеров и других характеристик резьбы болтов; $M_{\text{кс}}$ — крутящий момент, приложенный к гайке стыкового болта.

Расчетная схема сопротивления сдвигу рельса в накладках представлена на рис. 2.2.

На основании опытов приняты следующие значения для рельсов Р65: $A = 1,4$; $\psi = 0,2$; $n = 3$, при этом получаем простую расчетную формулу:

$$R_{\text{н}} = 7 M_{\text{кс}}, \text{ кН.}$$

Согласно техническим указаниям на укладку и содержание бесстыкового пути гайки стыковых болтов следует затягивать с крутящим моментом не менее 600 Н·м. В этом случае стыковое сопротивление $R_{\text{н}} = 7 \cdot 600 = 420$ кН.

На границах блок-участков устраивают изолирующие стыки. Типовой изолирующий стык (рис. 2.3) имеет вместо двухголовых объемлющие накладки. Они изолируются от пазух и болтовых отверстий рельсов листовыми прокладками и втулками из фибры, текстолита или полиэтилена. На сети дорог находят все большее распространение клееболтовые изолирующие стыки повышенной прочности (рис. 2.4), в которых используются типовые шестидырные накладки с простроганными верхней и нижней гранями, а также специальные накладки, облегчающие пазуху рельсов.

Сопротивление продольным деформациям клееболтовых стыков, вваренных в середину плети, должно быть не менее наибольших продольных сил, фактически реализуемых в длинных сварных плетях при температурах, близких к $t_{\text{min min}}$.

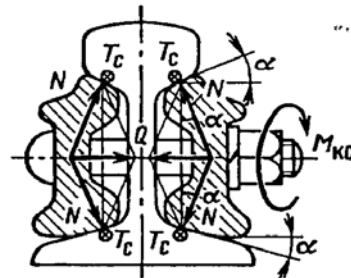


Рис. 2.2. Расчетная схема сопротивления сдвигу рельса в накладках:

Q — осевая сила натяжения болта; N — нормальное давление от одного болта; T_c — сила трения (перпендикулярна плоскости чертежа и обозначена кружочком с крестиком)

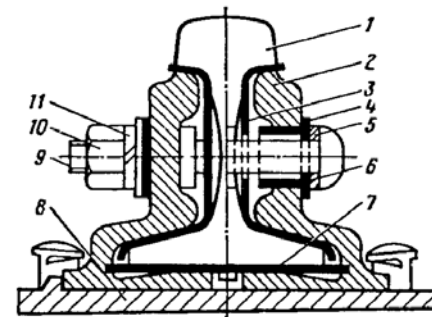


Рис. 2.3. Изолирующий стык с объемлющими металлическими накладками:

1 — рельс; 2 — накладка; 3 — прокладка боковая; 4 — планка из фибры или полиэтилена под болты; 5 — планка стопорная металлическая; 6 — втулка; 7 — изолирующая прокладка нижняя; 8 — подкладка; 9 — болт стыковой; 10 — гайка; 11 — шайба пружинная

Как было показано (см. рис. 2.1) среднюю (большую) часть плети можно рассматривать как стержень, заделанный по концам. Реакции заделок соответствуют сумме погонных сопротивлений r на подвижных ("дышащих") частях x . По формуле (2.3) изменения температуры на Δt увеличивают продольные силы на $N_t = FE\alpha\Delta t$. В дальнейших расчетах будем учитывать силы, возникающие в обеих рельсовых нитях (N''_t). Это необходимо, так как боковым перемещениям пути препятствуют все элементы рельсошпальной решетки, в том числе балласт в ящиках и за концами шпал. Так, если плети типа Р65 закреплены утром при температуре 20°C, а к 14 часам нагреты солнечными лучами до 45°C, то продольные силы в двух нитях $N''_t = 0,0000118 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot 82,7 \cdot 2(45 - 20) = 1033,75$ кН.

Такие силы уже могут нарушить устойчивость пути против выброса в кривых $R = 300$ м. Специальными испытаниями, проведенными ВНИИЖТом в натуральных условиях, определены продольные силы $N''_{\text{кр}}$, при которых начинаются заметные поперечные подвижки рельсошпальной решетки, следом за которыми происходит резкое изменение кривизны колеи — выброс пути (рис. 2.5).

Процесс начала потери устойчивости рельсошпальной решетки сопровождается (по мере роста продольных сил в рельсах) местными небольшими искривлениями колеи в поперечном направлении, которые, как правило, происходят в зоне упругих деформаций. Если в этот момент уменьшить температуру рельса, продольные силы $N''_{\text{кр}}$ снизятся и далее происходит ликвидация этих местных микроискривлений. Если, наоборот, продолжать нагрев плетей, то, увеличив еще на не-

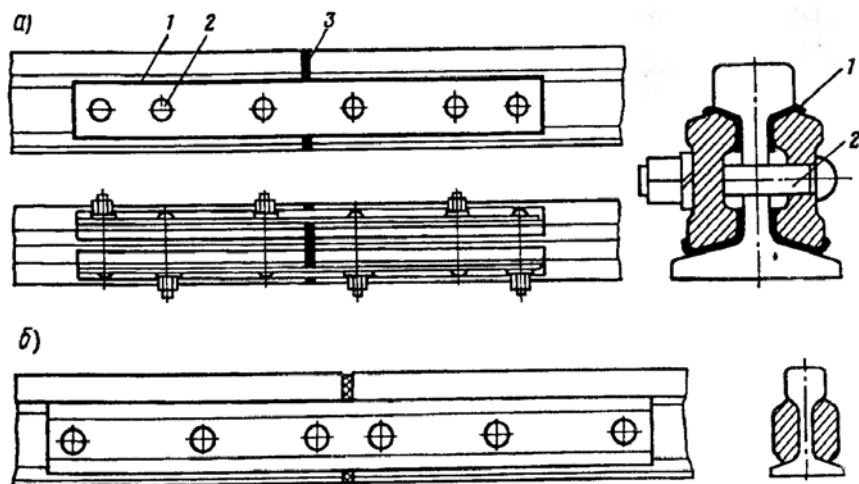


Рис. 2.4. Клеяболтовые стыки:

а — с подстроганными типовыми накладками; б — с накладками, облегающими пазуху рельсов; 1 — клеевое соединение с изоляцией из стеклоткани; 2 — изоляция болта, оклеенного стеклотканью; 3 — торцовая изоляция из фибры, пропитанной клеем

сколько градусов температуру рельсов, мы будем свидетелями резкого, почти мгновенного искривления рельсового пути. Эту максимальную продольную силу, при которой происходит “выброс” пути, обозначим ее N''_3 (закрытая), разумеется нельзя принимать как расчетную. Путь устойчив, если

$$N''_1 \leq \frac{N_3}{k_y} \quad (2.9)$$

где k_y — коэффициент запаса устойчивости рельсошпальной решетки.

Многие специалисты, используя современные аналитические методы, а также анализируя результаты проведенных ими экспериментов,

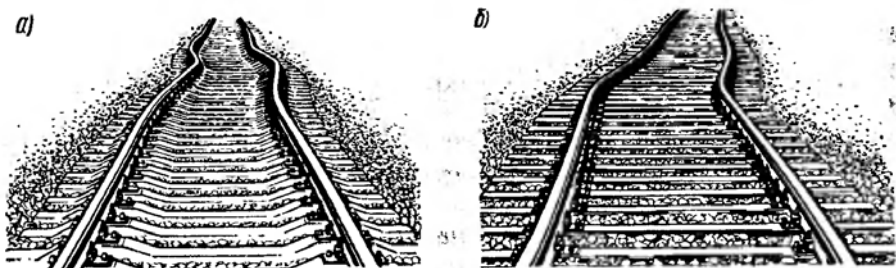


Рис. 2.5. Выброс пути в прямом (а) и кривом (б) участках пути

с той или иной степенью точности определяли величины N_3 — критической силы, при которой происходит выброс пути. Несмотря на это все специалисты соглашались на необходимости иметь в качестве расчетной не критическую (N_3), а другую, существенно меньшую, продольную силу $N_{кр} = N_3/k_y$. Однако единого мнения по вопросу о численном значении коэффициента запаса устойчивости k_y пока не существует. Иногда его принимают равным 1,5. Коэффициент запаса “покрывает”: неточность исходных данных, принятых для расчета; ослабление отдельных участков бесстыкового пути при его текущем содержании; отклонения оси пути от проектного положения и др.

Экспериментами, проведенными во ВНИИЖТе и за рубежом, установлены допустимые значения $N_{кр}$ для разных конструкций пути и кривых различных радиусов.

Поскольку измерить эти силы в действующем пути трудно, в сводных таблицах (табл. 2.1) приводятся не величины $N''_{кр}$, а эквивалентные им температурные изменения:

$$\Delta t_y = \frac{N''_{кр}}{\alpha E F''} \quad [\text{см. формулу (2.3)}] \quad (2.10)$$

Из данных табл. 2.1 видно, что по мере уменьшения радиуса кривых допустимые значения $[\Delta t_y]$ снижаются. Это объясняется двумя причинами. В кривых сжимающие температурные силы N''_1 создают горизонтальную составляющую, направленную наружу кривой в сторону возможного выброса. Другая причина ограничений укладки бесстыкового пути в кривых — увеличенное динамическое воздействие проходящего подвижного состава, в том числе действие горизонтальных поперечных сил от колес на рельсы.

Пример. Бесстыковой путь на железобетонных шпалах и щебне уложен в кривой $R = 500$ м и максимальная температура рельсов в данном районе летом $t_{\max \max} = 60$ °С (ст. Мичуринск). В соответствии с табл. 2.1 при $R = 500$ м, рельсах Р65, 2000 шпал/км превышение нейтральной температуры (укладки) может быть допущено $[\Delta t_y] = 41$ °С. Следовательно, наибольшая температура рельсовых плетей, при которой они могут быть закреплены (по условию устойчивости) будет $60 - 41 = 19$ °С. Если закрепление плети клеммами промежуточных скреплений произойдет, например, при $t_{\text{укл}} = 12$ °С, то критическое состояние плети (по уровню продольных сил) будет иметь место уже при температуре 12 °С + 41 °С = 53 °С. А так как в данной местности нагрев рельса может достигать 60 °С, то нарушение устойчивости колеи может произойти в интервале температур рельсов $54 - 60$ °С.

Таблица 2.1

Окончание табл. 2.1

Тип рельсов	Эпюра шпал	Повышение температуры рельсовой плети $[\Delta t_r]$, °С, допускаемое по условию устойчивости пути против выброса								
		в прямом участке	в кривых радиусом, м							
			2000	1200	1000	800	600	500	400	350

1. Со щебнем из скальных пород
При деревянных шпалах

P75	2000	51	47	44	43	41	38	35	32	29
	1840	47	43	41	40	38	35	32	28	25
	1600	41	38	36	35	34	30	28	—	—
P65	2000	51	46	44	43	41	37	34	31	27
	1840	49	43	41	40	38	35	32	28	25
	1600	41	38	36	35	33	31	28	—	—
P50	2000	57	52	49	48	46	42	39	34	31
	1840	52	49	45	44	42	38	36	32	28
	1600	45	41	33	38	36	38	31	—	—

При железобетонных шпалах

P75	2000	58	53	51	49	47	45	42	39	36
	1840	54	50	47	46	44	44	39	36	33
	1600	47	43	41	40	38	36	34	—	—
P65	2000	58	53	50	49	47	43	41	38	35
	1840	54	50	47	46	44	41	39	36	33
	1600	47	43	41	40	38	36	33	—	—
P50	2000	63	58	55	54	51	47	48	43	39
	1840	57	52	49	48	46	42	43	38	35
	1600	50	46	43	42	40	36	37	—	—

2. С асбестовым балластом
При деревянных шпалах

P75	2000	48	45	42	41	39	36	33	30	37
	1840	45	41	39	38	36	33	30	28	25
	1600	40	36	34	33	31	28	26	—	—
P65	2000	50	46	43	42	40	36	33	29	27
	1840	46	42	40	38	36	33	30	27	24
	1600	40	36	34	33	31	28	26	—	—
P50	2000	54	50	47	46	44	40	37	32	30
	1840	50	46	43	41	40	36	33	29	24
	1600	43	40	37	36	34	31	29	—	—

При железобетонных шпалах

P75	2000	55	50	48	47	45	43	40	37	34
	1840	51	48	45	44	42	40	36	35	32
	1600	46	42	39	39	36	34	31	—	—

Тип рельсов	Эпюра шпал	в прямом участке	Повышение температуры рельсовой плети $[\Delta t_r]$, °С, допускаемое по условию устойчивости пути против выброса							
			в кривых радиусом, м							
			2000	1200	1000	800	600	500	400	350

3. Со щебнем из валунов и гальки
При деревянных и железобетонных шпалах

P75, P65	2000	46	41	38	36	34	30	—	—	—
	1840	42	38	35	33	31	27	—	—	—
	1600	36	33	30	29	27	24	—	—	—
P50	2000	52	46	43	41	38	34	—	—	—
	1840	47	42	39	38	35	31	—	—	—
	1600	41	37	34	33	30	27	—	—	—

4. С гравийным и гравийно-песчаным балластом
При деревянных шпалах

P75, P65	2000	40	35	32	30	28	24	—	—	—
	1840	37	32	29	28	26	22	—	—	—
	1600	32	28	25	24	22	19	—	—	—
P50	2000	44	38	35	33	30	26	—	—	—
	1840	40	35	32	30	28	24	—	—	—
	1600	35	31	28	26	24	21	—	—	—

При железобетонных шпалах

P75, P65	2000	45	40	36	34	32	27	—	—	—
	1840	42	37	33	32	29	25	—	—	—
	1600	36	32	29	28	25	22	—	—	—
P50	2000	49	44	40	38	35	30	—	—	—
	1840	46	40	36	35	32	27	—	—	—
	1600	39	35	32	30	28	24	—	—	—

Весь расчет бесстыкового пути на устойчивость проводится с учетом действия в сварных плетях продольных температурных сил. Однако при неправильно запроектированной конструкции бесстыкового пути или неудовлетворительном ее текущем содержании в дополнение к температурным силам могут появиться еще и так называемые “угонающие силы”, формирование которых происходит за счет особых условий взаимодействия пути и колес проходящих поездов.

2.3. СИЛЫ УГОНА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОЛЕС ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Продольные силы в рельсах от воздействия колес подвижного состава формируются за счет двух факторов: несимметричности эпюры продольных сил в зонах контакта подошвы рельса с основанием, образованной при недостаточном клеммном нажатии промежуточных скреплений; воздействия на головку рельса сил трения от торможения, направленных в сторону движения поездов.

Рассмотрим формирование продольных сил для случая, когда клеммы промежуточных скреплений в зоне прогибов под тележкой вагона ослаблены, а впереди лежащий по направлению движения отрезок рельсовой плети надежно закреплен. Несимметричность эпюры продольных сил — следствие проскальзывания подошвы нагруженного рельса по основанию впереди первого колеса тележки (рис. 2.6, а — интервал OD), которое возникает при условии, что в отдельных сечениях силы трения по контакту подошвы

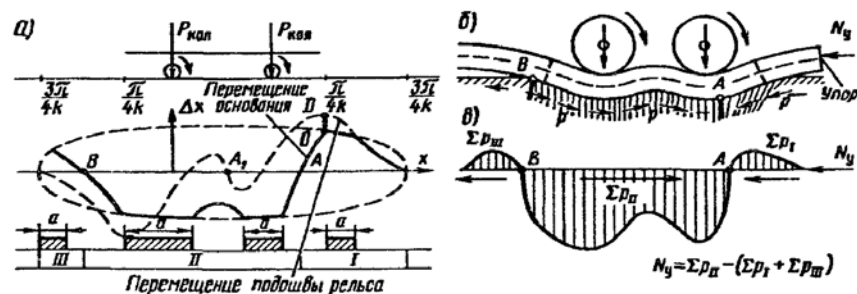


Рис. 2.6. Схема формирования продольных сил угона пути при проходе двухосной тележки вагона (жесткий упор надежно закреплен впереди рельса, препятствуя продольному “проползанию” его): а — эпюра перемещения подошвы рельса и основания; б — схема упругого отклонения сечения основания в I, II и III зонах с указанием отклонения продольных сил p ; в — эпюра продольных сил в основании рельса, результирующая которых реализуется как давление на жесткий упор N_y ; а — участки проскальзывания

рельса с основанием $P_{тр}$ меньше сил реактивного отпора упругого отклонения основания $P_{упр}$.

Точка А, характеризующая нейтральное положение основания, оказывается смещенной вперед (рис. 2.6, б) и практически все сечения основания в зоне под тележкой будут упруго сдвинуты в сторону, обратную движению. В этом случае (рис. 2.6, в) давление в упор — сила угона пути $N_y'' = \Sigma p_{II} - (\Sigma p_I + \Sigma p_{III})$. Если бы впереди не было неподвижного рельса, то при движении колес тележки рельс смещался бы (угонялся) в сторону движения, а нейтральная точка А — в зону между колесами (см. точку A_1 на рис. 2.6, а), вследствие чего эпюры продольных сил выравнивались бы (см. рис. 2.6, в). В случае когда клеммы промежуточных скреплений не обеспечивают достаточную связь подошвы с основанием (болты не закреплены), в процессе экспериментов были многократно зафиксированы силы угона, достигающие по двум рельсовым плетям 5—10 кН/м (табл. 2.2). На длине поезда эти силы суммируются, в результате чего впереди поезда и под ним могут возникать продольные силы, достигающие по двум ниткам 1500—2000 кН.

Весь вышеизложенный процесс формирования продольных угонающих сил будет происходить, если имеет место ослабление связи рельсов с основанием. Если промежуточные клеммные скрепления обеспечивают надежную связь рельса с основанием (при надлежащей затяжке болтов), то подошва при поворотах сечений рельса всегда перемещается вместе с подкладками и шпалами, не проскальзывая по основанию. В этом случае эпюра перемещений подошвы рельса (см. рис. 2.6, а — штриховая линия) отображает такие же перемещения упругого основания, а сумма горизонтальных сил, направленных в сторону движения, равна сумме сил обратного направления.

Рассмотрим другой фактор, влияющий на угон железнодорожного пути. На гормозных участках продольного профиля возникают добавочные силы от трения торможения, направленные в сторону движения поезда. Величины этих добавочных сил можно получить, имея

Таблица 2.2

Число осей в тележке	Угонающая сила по двум рельсовым ниткам, кН		
	от одной тележки	на одну ось	на 1 м пути
2 (база 1800 мм)	30,0—35,0	15,0—17,5	4,2—5,0
3 (база 3100 мм)	50,0—55,0	16,5—18,2	6,8—7,5
4 (1800 мм + 1400 мм + 1800 мм)	85,0—94,0	21,5—23,4	9,0—10,0

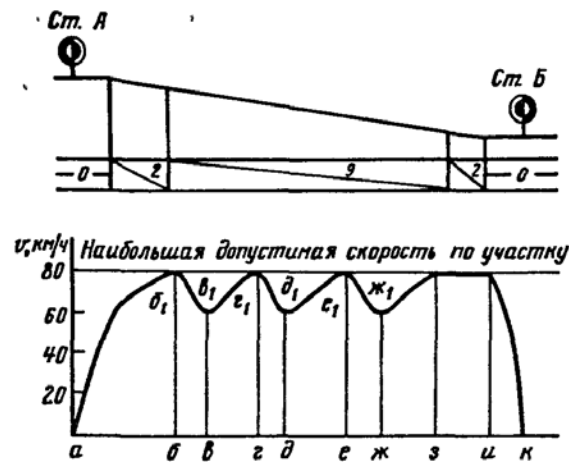


Рис. 2.7. Образец записи на ленте скорости движения состава на затяжном спуске между станциями А и Б

записанную на ленте скоростемера кривую движения поезда. Обычно наибольшее значение этих сил имеет место на затяжных спусках, где, как правило, интенсивное тормозное нажатие чередуется с отпусканием тормозных колодок. Разберем этот случай на примере (рис. 2.7). На участке *a* — *б* скорость поезда возрастает до 80 км/ч, которая в данном примере является предельно допустимой. Далее, при движении по затяжному уклону 9 ‰ машинист вынужден периодически тормозить, снижая на участках *б* — *в*, *г* — *д* и *е* — *ж* скорость на 15—20 км/ч. После каждого такого уменьшения скорости в результате прекращения нажатия колодок на колеса получается новое нарастание скорости (участки *в* — *г*, *д* — *е*, *ж* — *з*). Для разбираемого случая добавочная угоняющая сила от трения торможения будет действовать на участки *б* — *в*, *г* — *д*, *е* — *ж*, *и* — *к*, а также к ним прилегающие.

Таблица 2.3

Масса вагона брутто, т	Доля тормозных осей в составе, %	Добавочная угоняющая сила от трения торможения на длине звена 25 м, кН, при уклонах продольного профиля, ‰				
		6	7	8	9	10
110	85	75,6	77,7	80,1	82,5	84,7
	100	66,3	68,4	70,4	72,6	74,6
82	85	56,7	68,3	60,1	61,9	63,6
	100	49,9	51,3	52,9	54,5	56,0

Проход второго, третьего и т. д. поездов будет сопровождаться торможением на других участках и в результате все протяжении затяжного спуска будет подвергаться воздействию добавочных продольных сил от трения торможения.

В табл. 2.3 приводятся расчетные значения продольной угоняющей силы от трения торможения на затяжных спусках, приходящиеся на одно звено длиной 25 м на подходах к разным пунктам, а также при экстренном торможении. Как показали материалы обработки скоростемерных лент, могут возникнуть угоняющие силы, на 10—15 % большие, чем приведенные в табл. 2.3.

2.4. СУММИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ И УГОНЯЮЩИХ СИЛ НА УЧАСТКАХ УКЛАДКИ СВАРНЫХ ПЛЕТЕЙ

На всех дорогах мира применяется бесстыковой путь температурно-напряженного типа, конструкция которого предусматривает достаточно высокую связь рельса с основанием. При наличии такой надежной связи рельса с основанием обеспечивается неподвижность средней (наибольшей по протяжению) части сварной плети $l_{II} = L - 2l$ (рис. 2.8). На протяжении этой неподвижной части плети l_{II} изменение температуры вызывает в рельсах продольные силы N_T .

Концевые участки $l \leq 60-80$ мм при колебаниях температуры изменяют свою длину. В случае когда плеть в целом не имеет подвижек, но внутри ее имеются участки с незакрепленными клеммами, при проходе поезда на этих участках начинаются местные подвижки плетей с образованием по их концам значительных добавочных сил сжатия и растяжения — это и есть те силы угона N , которые, суммируясь с температурными силами N_T , могут нарушить устойчивость пути. Обозначим эти угоняющие силы сжатия $N_{ус}$, растяжения $N_{ур}$. На рис. 2.8 приводится схема формирования продольных сил в рельсах бесстыкового пути при совместном действии температурных и угоняющих сил. В верхней части рисунка длина сварной плети L разделена на участки: в средней ее части на длине l_{II} клеммы промежуточных скреплений ослаблены и при проходе поезда здесь действуют погонные угоняющие силы p . Участки l_I и l_{III} , прилегающие к средней части плети, достаточно надежно закреплены от продольных подвижек. За счет местных подвижек плети на участке l_{II} возникают добавочные силы сжатия, максимумы которых находятся на границах участков $l_I - l_{II}$ и $l_{II} - l_{III}$ (см. рис. 2.8, *в* — пунктирная линия). Погашение этих добавочных сил происходит на первых “отрезках” участков l_I и l_{III} (см. рис. 2.8, *в* — отрезки $1-3$ и $1'-3'$). Так как на участках l_I и l_{III} рельсы имеют надежное клеммное соеди-

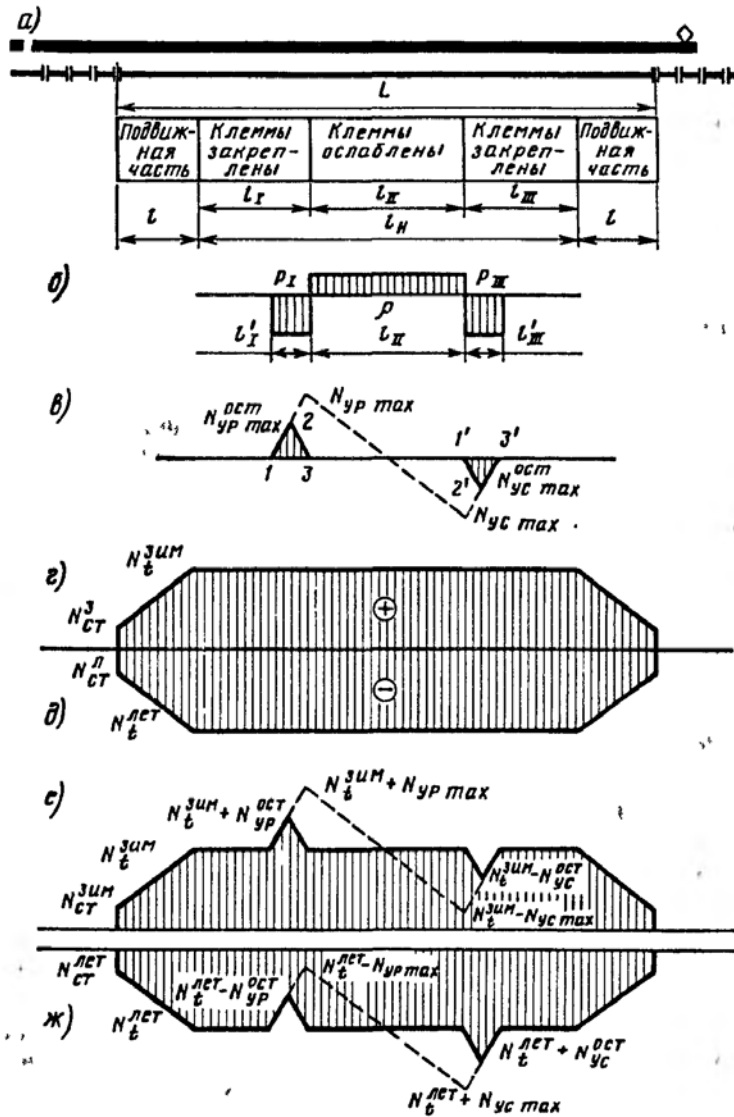


Рис. 2.8. Схема формирования продольных сил в рельсах бесстыкового пути при совместных действиях температурных и угоняющих сил:
 а — схема плети и ее участки с различной степенью закрепления клемм промежуточных скреплений;
 б — распределение продольных погонных сил: угоняющих сил p на участке l_{II} с ослабленными клеммами и погонных сопротивлений p_I и p_{III} на участках l_I и l_{III} погашения угоняющих сил;
 в — эпюра сил сжатия и растяжения рельса от действия угоняющих сил при проходе поезда (штриховая линия) и остаточных сил (сплошная линия) после его ухода; г, д — эпюра продольных температурных сил в рельсовых плетях бесстыкового пути при отсутствии угоняющих сил: $N_{зим}^{тем}$ — в зимнее время; $N_{лет}^{тем}$ — в летнее время; $N_{ст}^{тем}$ и $N_{лет}^{тем}$ — из-за стыкового сопротивления накладок на концах плети; е — эпюры продольных сил в рельсовых плетях бесстыкового пути при совместном действии температурных и угоняющих сил в зимнее время; ж — то же в летнее время

Режим ведения поезда из четырехосных грузовых вагонов	Расчетная погонная угоняющая сила, кН/м	Длина участка ослабления клемм l_{II} , м	Остаточная сила сжатия рельса $N_{ус}^{ост}$ после ухода поезда, кН	Минимальная длина плети L , м, при погонных сопротивлениях на участках l_I и l_{III} , кН/м	
				4,5	6,0
Торможение отсутствует	2	200	125	410	390
		300	188	550	520
		400	250	700	650
Тормозной режим	3	200	175	450	420
		300	262	620	570
		400	350	790	720

нение с основанием, то после прохода поезда эти погонные силы не позволяют средней части плети полностью вернуться в исходное положение и в зоне границ $l_I - l_{II}$ и $l_{II} - l_{III}$ оказываются два отрезка $1-2-3$ и $1'-2'-3'$, где действуют остаточные продольные силы. Если бы этих остаточных продольных сил не было, то эпюры продольных температурных сил сжатия и растяжения имели бы вид, изображенный на рис. 2.8 г и д. В действительности на эпюру температурных продольных сил накладываются местные силы, образованные подвижной средней частью плети, и при проходе длинносоставных поездов наибольшие продольные силы летом будут $N_{лет}^{лет} + N_{ус тах}$, зимой, соответственно $N_{зим}^{зим} + N_{ус тах}$ (см. рис. 2.8, е и ж). Чем больше протяжение ослабленного участка (в данном случае участка l_{II}), тем значительнее остаточная сила сжатия или растяжения рельса $N_{ус}^{ост}$ после ухода поезда. В табл. 2.4 приводятся значения остаточных сил сжатия рельса для случая, когда погонное сопротивление на втором участке l_{II} составляет 0,5 кН/м. Это значение было неоднократно получено при измерениях неудовлетворительно содержащихся участков пути.

Если общая длина плети L окажется короче, чем это приводится в табл. 2.4 (при тех же исходных данных), то произойдет общая подвижка плети в сторону движения поезда, т. е. начнется угон плети в целом.

2.5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ

Если конструкция пути не допускает угона и содержится в соответствии с техническими требованиями, то основной фактор, определяющий устойчивость пути, — это действие температурных сил. Потеря устойчивости рельсошпальной решетки, конечная стадия которой — выброс, в зависимости от конструкции пути может произойти в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Например, при легких рельсах и редко расположенных шпалах, особенно при сильно разработанных костыльных отверстиях, в частности, на дорогах узкой колеи, происходят выбросы в вертикальной плоскости. На ширококолейных путях (1435 и 1520 мм) современной конструкции во всех известных случаях в нашей стране и за рубежом выбросы в эксплуатационных условиях происходили в горизонтальной плоскости (рис. 2.9).

Экспериментальные исследования, направленные на решение задачи отыскания значений критических и закритических продольных сил в рельсовых плетях, вызывающих выброс пути, можно разделить на две части.

Первая часть — это комплекс экспериментальных исследований по: установлению сопротивления шпал смещению вдоль и поперек пути при различных балластах и степени его уплотнения; определению сопротивления горизонтальному повороту рельсов относительно шпал в узле скрепления при различной затяжке болтов; установлению приведенного момента инерции всей решетки в целом ее подвешиванием и др. Цель этих исследований — дать исходный материал для получения значений закритических сил, используя аналитические решения, а также оценить снижение устойчивости бесстыкового пути при ремонтах и текущем содержании.

Ко *второй части* экспериментов относятся инженерные приемы, позволяющие на станциях, которые представляют собой отрезки натурального железнодорожного пути длиной более 100 м, создавать продольные силы N , доводя их до величины, когда начнется потеря устойчивости рельсошпальной решетки против выброса.

Продольное сжатие рельсов в опытах осуществлялось гидравлическими и винтовыми домкратами, нагреванием паром, электронагревателями, укладываемыми на головку рельса, газоплазменными горелками и т. д.

Нагрев рельсов паром был применен еще в 1935 г. на ст. Подмосковная “бригадой” исследователей из инженеров НИИП НКПС и МИИТа под общим научным руководством Н. Т. Митюшина.

Путь из рельсов типа П-А на деревянных шпалах с костыльными скреплениями имел длину около 400 м; плети были сварены термитом. Пар от паровоза подавался к рельсам по перфорированным трубам, закрепленным под головками рельсов. Этот способ нагрева использо-

вался для первых одиночных опытов (поисковых). Примерно в те же годы проводились опыты с нагревом рельсов паром в Карлсруэ (Германия, К. Грюневальт, Ф. Рааб).

В послевоенные годы подобные же испытания проводились в Японии (М. Нумата). Опыты японских ученых не получили широкого использования. Кроме этого, “метровая” ширина колеи (1067 мм) давала большую разницу с советской (1524 мм), что не могло не влиять на показания и выводы.

В Венгрии с 1958 г. под руководством Й. Надь было проведено много испытаний по нагреву рельсовых плетей электрическим током. Опытный полигон (ст. Хатван) имел основной испытываемый путь с “входом” и “выходом”, параллельно ему — вспомогательный, где во время испытаний стоял тепловоз-электростанция, и тупик для трехвагонной лаборатории в дизель-поезде. От электростанции к опытному пути подвели на временных столбах силовую кабель, от которого через

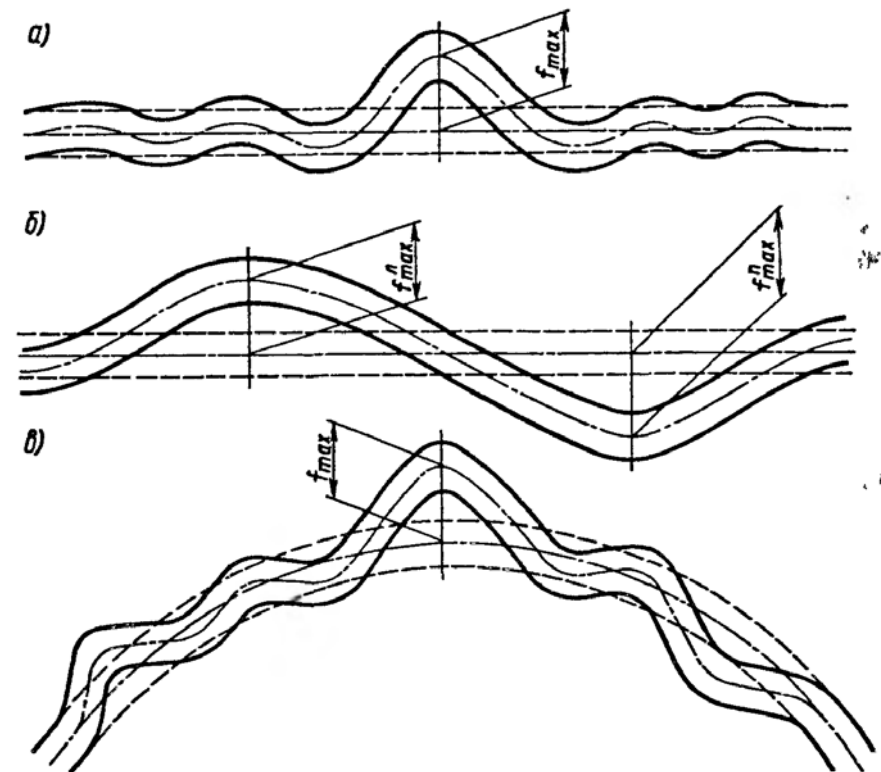


Рис. 2.9. Возможные формы горизонтального изгиба путевой решетки при выбросе бесстыкового пути:
а и б — в прямом участке; в — в кривой

каждые 10—15 м строили отводы к электронагревательным накладным элементам (аналогичны нашим ТЭНам), закрепленным под головками рельсов. От пути в вагон-лабораторию шли сигнальные линии от приборов (термометров, прогибомеров, силомеров и пр.). Для теплоизоляции плетей использовался рулонный материал типа фольги, но очень прочный (ширина полосы 1 м).

Все это позволило венгерским специалистам (Э. Немедши, Й. Надь и др.) установить жизненно верные нормы устойчивости бесстыкового пути, что во многом способствовало успешному внедрению его в ВНР.

В Англии в 1960-х гг. (Д. Бартлет и Й. Тоура) применили в опытах нагрев пути облучением (подобно солнечному) при помощи мощных электрических рефлекторов в тоннеле.

Нормативы устойчивости бесстыкового пути, полученные нагревом в Англии, Германии, ВНР, используются и в других странах. Многолетние и разносторонние исследования устойчивости бесстыкового пути привели к выводу о необходимости детального прослеживания всего процесса — от первых микроподвижек колеи и выброса рельсошпальной решетки до достижения устойчивого равновесия. Поэтому, проанализировав известные отечественные и зарубежные разработки, руководитель лаборатории бесстыкового пути ЦНИИ в СССР Е. М. Бромберг принял методику прямых экспериментов по изучению устойчивости бесстыкового пути на стенде, которая действительно полностью прослеживает процесс выброса. Но начинать, конечно, пришлось с создания техники, позволяющей реализовать эту методику, и на каком-то количестве экспериментов отшлифовать ее. Были подробно изучены зарубежные методики, которые описаны выше.

Испытательный стенд в 1959 г. было решено расположить “за Яузой”, на одном из бывших военных тупиков. Здесь были готовые неиспользуемые пути, связанные с главным путем (перегон Институт Пути — Бескудниково). Это создавало многие удобства и выгоды в процессе строительства и последующей научной эксплуатации.

Проект, по техническому заданию лаборатории бесстыкового пути, разрабатывало ПКБ ЦНИИ (электрическая часть) (Л. Л. Славуцкий, И. В. Хацкелевич и др.), КБ экспериментального полигона ЦНИИ (строительная часть) и другие организации. Общее руководство осуществлял заведующий лабораторией Е. М. Бромберг (некоторое время — В. В. Басилов).

Стенд представлял собой 100-метровый участок пути между двумя бетонными упорами; позднее был достроен 300-метровый криволинейный участок для испытания устойчивости пути при различных радиусах кривых. Нагрев плетей в первые годы производился током от тепловозов-электростанций, располагавшихся на параллельном пути; позже было устроено стационарное питание от сетей МОГЭСа с применением собственной понизительной подстанции.

Лабораторией бесстыкового пути ВНИИЖТа на специальном стенде и трех железных дорогах было проведено более 320 опытов по исследованию “поведения” рельсошпальной решетки температурно-напряженного бесстыкового пути. Была исследована устойчивость бесстыкового пути на прямых участках и в кривых радиусами от 800 до 250 м с рельсами Р50, Р65, Р75 на железобетонных и деревянных шпалах, щебеночном (нормальной фракции, а также 7—25 мм), асбестовом и гравийном балластах, скреплениях КБ и ЖБР при железобетонных шпалах и Д2, Д4 и костыльных — при деревянных.

Состояние балласта было сухим, мокрым, сильно, средне и слабо уплотненным. В ряде опытов, кроме продольной температурной силы, на путь действовала поперечная вибрационная нагрузка: на прямых участках — от виброската,двигающегося по участку ожидаемого выброса пути, на кривых — от неподвижной вибрационной машины. При нагревании рельсов наблюдения за поперечными перемещениями пути велись по всей длине стенда в точках, расположенных через 2,5 м. Нагрев рельсов проводился на различную величину. Наблюдения велись при нагреве и при постепенном уменьшении температуры. Моменты выброса фиксировались высокочастотной киносъемкой. В итоге обработки материалов была получена полная картина процесса потери устойчивости бесстыкового пути на прямых и кривых участках. Учитывая, что выбросы пути в настоящее время случаются и на наших, и на зарубежных дорогах, авторы считают необходимым дать не только конечные результаты, но и динамику изменения геометрического очертания температурно-напряженного рельса, которое всегда имеет место при выбросе.

Начало поперечных деформаций путевой решетки при нагреве принципиально отличается в прямых участках пути и в кривых. В первом случае поперечные сдвиги рельсов δ по всей длине плети начинаются относительно поздно (после повышения температуры на 50—60 °С), после чего интенсивно растут (до полного выброса) в одном месте (на протяжении 15—20 м) при нагреве на 90—100 °С (рис. 2.10, а). В кривой же подвижки начинаются сразу по всей длине плети после нагрева на 40—50 °С, а после 80—90 °С — концентрируются в одном месте и растут уже здесь до момента выброса (рис. 2.10, б).

Множественные наблюдения за изменением плана путевой решетки в процессе нагрева позволили сформулировать такую осредненную (обобщенную) схему работы пути под сжимающими продольными нагрузками (рис. 2.11). Если нагрев идет непрерывно, то после некоторого значения повышения Δt_i до Δt_k продольная сила N_i достигает величины N_k . Назовем эти значения Δt_k и N_k первыми критическими, так как при них поперечных сдвигов путевой решетки δ еще не происходит. При дальнейшем нагреве добавляющая часть силы N_i расходуется уже на перемещения путевой решетки. Зависимость их от N_i

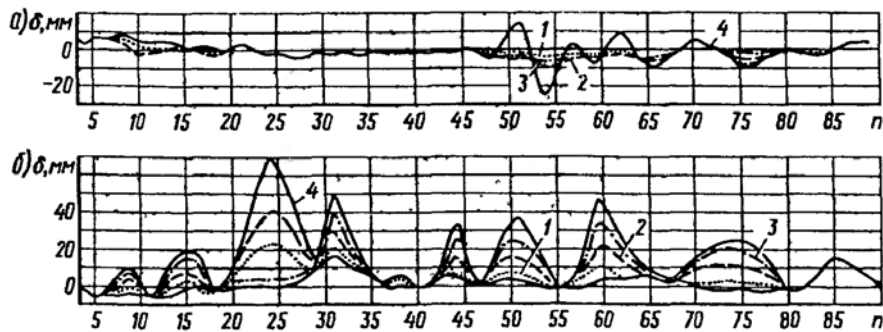


Рис. 2.10. Последовательность накопления поперечных сдвижек рельсовых плетей δ по мере непрерывного нагрева:
 а — в прямом участке; б — в кривой радиусом 800 м; 1 — нагрев соответственно на $\Delta t = 50$ и 60 °С; 2 — на 60 и 70 °С; 3 — 70 и 80 °С; 4 — 98 и 86 °С; n — номера точек измерения (метры от начала плети)

или от Δt — нелинейная. Так продолжается, пока сумма всех сопротивлений сдвигу не сравняется с закритической силой N_3 , пропорциональной перепаду температур Δt_3 . После этих значений деформация путевой решетки продолжается при постоянной температуре (и силе).

Устойчивым равновесием путевой решетки следует считать такое ее состояние, при котором еще не начались остаточные деформации. Если же нагрев прекращается в интервале температур от Δt_k до Δt_3 , а дальше происходит охлаждение рельсов, то путь, как правило, не возвращается в исходное положение, сохраняя некоторые остаточные деформации (рис. 2.11, б). Это происходит из-за остаточной упругости рельсов, а также от трения в балласте и в узлах путевой решетки. При последующем новом повышении температур, а такое летом бывает каждый день, процесс искривления начнется при уже частично деформированной путевой решетке с уменьшенным запасом устойчивости. Возвращению упруго изогнутых рельсов в исходное положение (а при таких микроскопических поперечных смещениях металл рельсов рабо-

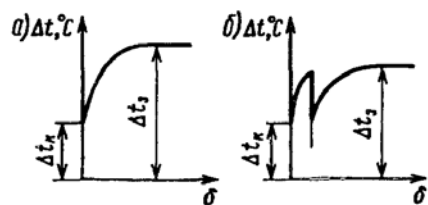


Рис. 2.11. Критическое и закритическое повышение температуры рельсов:
 а и б — непрерывный и прерывистый нагрев

тает в упругой стадии) препятствуют силы трения шпал по балласту и в узлах рельсошпальной решетки. В действующем пути от сотрясения поездами силы трения уменьшаются, и при небольших деформациях решетка возвращается в исходное положение.

При решении задачи о расчетном значении критической продольной силы было решено остановиться на величине N_k , которая имеет место при следующих начальных сдвигах: на прямых участках — 0,2 мм, в кривых любого радиуса — 0,4 мм.

На рис. 2.12 приводятся графики повышения температуры рельса по условию устойчивости пути против выброса по сравнению с температурой закрепления при железобетонных и деревянных шпалах.

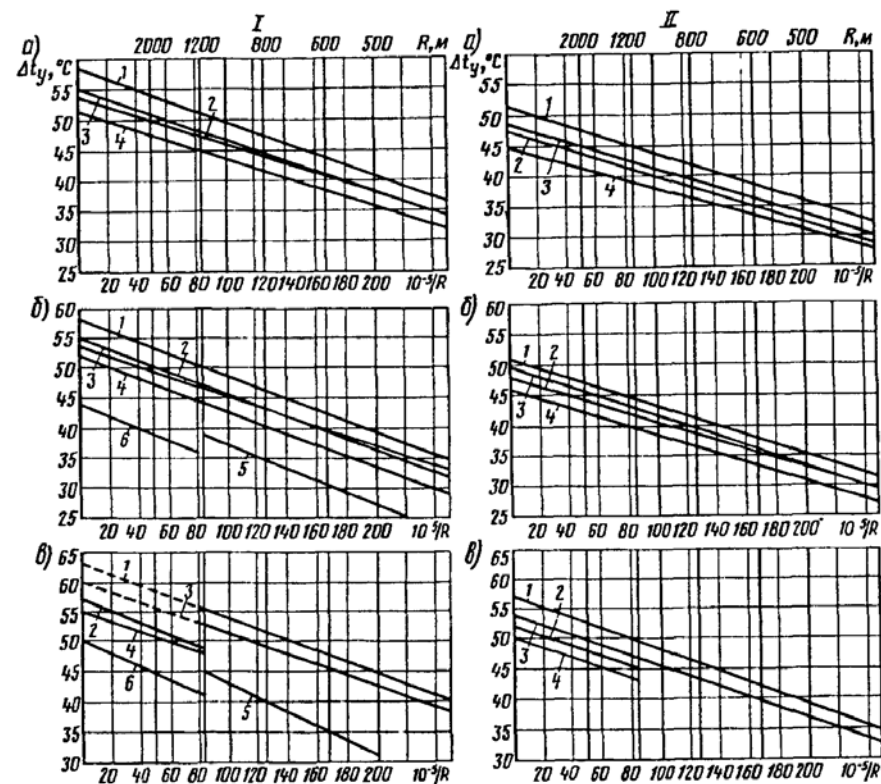


Рис. 2.12. Графики допустимых повышений температуры рельсов по условию устойчивости пути против выброса по сравнению с температурой закрепления при железобетонных (I) и деревянных (II) шпалах:
 а, б, в — рельсы Р75, Р65 и Р50; 1, 2 — путь на щебеночном балласте при числе шпал 2000 и 1840 шт./км; 3, 4 — то же на асбестовом балласте; 5, 6 — то же на балласте из сортированного гравия;
 R — радиусы кривых

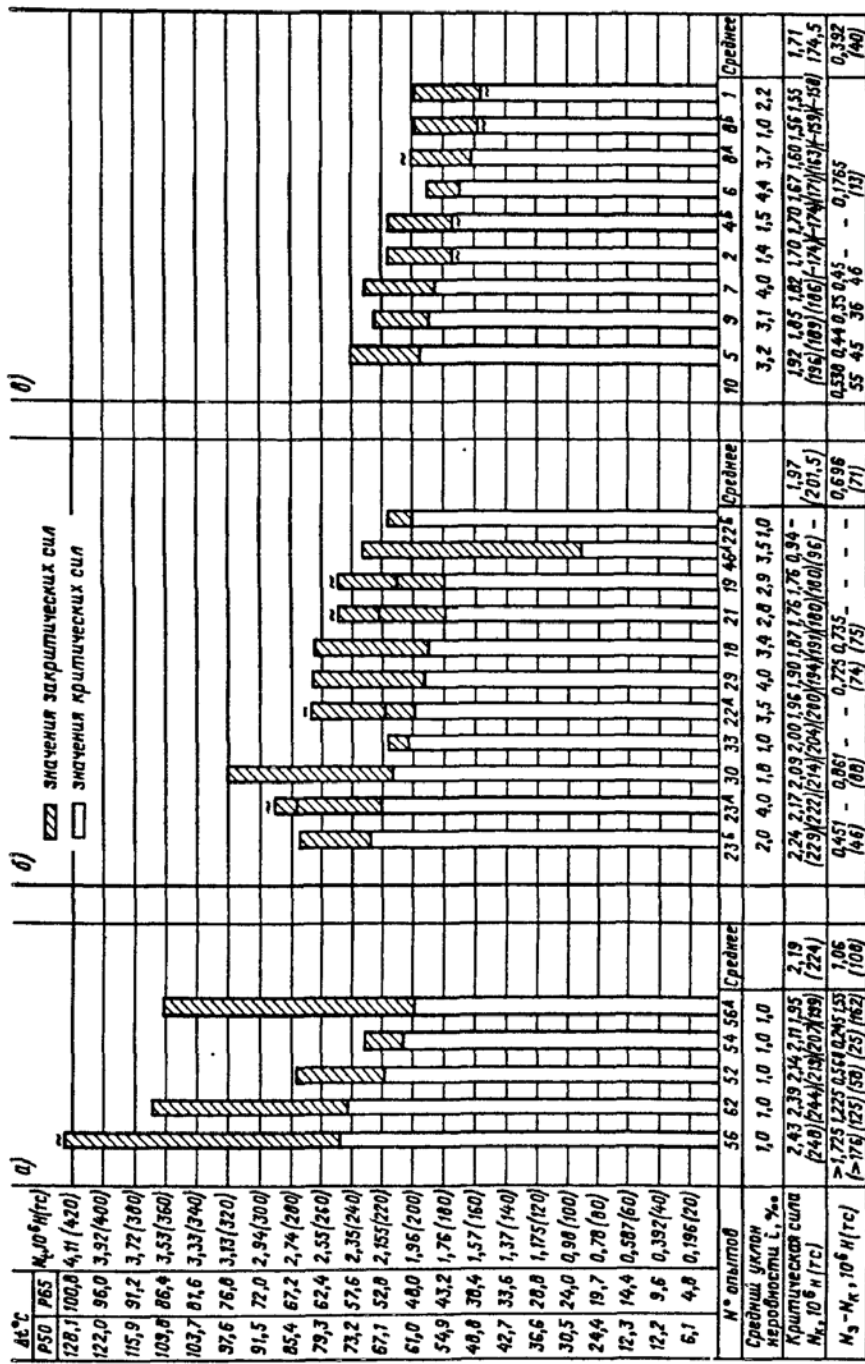


Рис. 2.13. Диаграммы критических и закритических приращений температур (и продольных сил) в зависимости от конструкции пути на прямом участке:

а — рельсы Р65, шпалы железобетонные; б — рельсы Р50, шпалы железобетонные; в — рельсы Р50, шпалы деревянные

На рис. 2.13 приводятся соотношения величин критических $N_{к}$ и закритических $N_{з}$ сил (и соответствующих им значений $\Delta t_{к}$ и $\Delta t_{з}$).

Влияние поезда на устойчивость пути, конечно, имеет место, и знать ее нужно. В частности, напомним, что бывали случаи, когда при служебных расследованиях причин крушений поездов на бесстыковом пути основной причиной “назначали” выброс, не имея для этого оснований (были даже ссылки на выброс в морозную погоду!). Поэтому лаборатория бесстыкового пути ВНИИЖТа по аналогии со статической устойчивостью исследовала динамическую, организовав эксперименты в действующих путях.

Первая серия опытов проводилась на специальном прямом испытательном пути (перегон Бескудниково — Институт Пути), где “челноком” обращался состав из четырех груженных полувагонов с тепловозом ЧМЭ-3. Были испытаны рельсовые плети типа Р65 длиной по 400—500 м на старогодных деревянных шпалах (1840 шт./км) со скреплениями Д2 на щебеночном балласте.

Вторая серия опытов проводилась в кривых радиусами 400 и 600 м на экспериментальном кольце ВНИИЖТа. Здесь были рельсы Р65 на железобетонных шпалах (2000 шт./км), со скреплениями КБ на щебеночном балласте.

В обоих случаях путь был не новый, что приближало условия опыта к расчетным в пределах норм.

Перед началом опытов остаточные напряжения сводились к минимуму вывешиванием плетей на ролики. Закреплялись плети при температуре плюс 10—14 °С. Далее 100-метровые средние части плетей нагревались от электрической установки, с которой они были соединены последовательно. В процессе нагрева рельсов температуру их измеряли на обоих нитях электротермометрами, датчики которых лежали на головках рельсов и снимались при проходе поездов. Поперечные перемещения решетки измеряли по сдвигам шпал, связанных проволоками с неподвижными столбиками на обочинах; в проволоку включались натяжные пружины и жестяные флажки, в которые упирались ножки мессур. Последние крепились на столбиках неподвижно, но с возможностью перестановок по мере сдвига пути. Расстояния между мессурами были 2,6 м в прямых участках (35 сечений) и 5,0 м — в кривых (21 сечение).

Результаты испытаний показали, что устойчивость бесстыкового пути, нагретого до максимально разрешенных температур, при пропуске по нему грузовых поездов не снижается.

2.6. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ

Известны различные теоретические методы определения критической силы, при которой происходит выброс пути, — энергетический, интегральных уравнений, дифференциальных уравнений и др. В разных странах создано много различных вариантов этих методов: в России — расчеты К. Н. Мищенко, А. А. Кривободрова, С. П. Першина, А. Я. Когана, С. И. Морозова, В. И. Новаковича, В. А. Грищенко, за рубежом — Й. Немешди-Немчека, Э. Немешди, А. Блоха, Г. Зандена, Г. Мейера, Г. Рубина, Р. Леви, М. Мартине, Л. Сакмауера, М. Нумата, Э. Энгеля, Д. Бартлета и Й. Тоура, А. Керра, Д. Игнятича, Л. А. Ван Хенструма.

За последнее время в связи с возросшими компьютерными возможностями возникли новые методы оценки устойчивости бесстыкового пути — вычислительный комплекс Космос/М фирмы S.R.A.C, метод имитационного моделирования, разработанный в России М. Ф. Вериго, позволяющий исследовать процессы устойчивости бесстыкового пути.

Каждый из изложенных методов имеет свои недостатки и преимущества. Один прост, но неточен, другой дает более точный ответ при большом количестве исходных данных, характеризующих конкретный участок пути. Но в практике большое количество исходных данных учитывать нецелесообразно. Если расчет ведется для каждого конкретного участка (для выявления условий его выброса), не надо забывать, что количество таких участков неограниченно. Если же выброс уже произошел, невозможно восстановить все характеристики этого участка до выброса.

Исходя из этого, расчет должен содержать только главные исходные данные, такие как радиус кривой, в которой лежит бесстыковой путь, тип верхнего строения пути, осредненные по длине пути характеристики, определяющие сопротивление выбросу при данном типе балласта и при данном типе (и состоянии) креплений. Расчет должен давать ответ не только о том, какова величина критической сжимающей продольной силы в рельсе, но и о том, какая неровность (по длине и амплитуде) является наихудшей для данного расчетного случая.

Ниже приводится методика расчета устойчивости бесстыкового пути, учитывающая взаимосвязь критической температурной силы в рельсе с размерами неблагоприятной неровности в кривых (в частном случае — в прямой).

Поставленную задачу будем решать при следующих допущениях:

1) продольные силы в обоих нитях одинаковы и постоянны $N = \text{const}$. Величина продольной силы N при этом равна полусумме фактически действующих в обоих рельсовых нитях сил;

2) радиус кривизны обеих нитей один и тот же — ρ , при этом кривизна $\frac{1}{\rho}$ равна полусумме кривизн наружной и внутренней нитей;

3) при деформации пути шпалы перемещаются параллельно самим себе.

Как следует из второго предположения, изгибающие моменты M и поперечные силы Q в обоих нитях одни и те же.

Вырежем элемент пути Δx размером, равным расстоянию между соседними шпалами, и рассмотрим его равновесие (рис. 2.14).

Составляя сумму моментов относительно точки O , получим:

$$\Sigma M = 2\Delta M - 2m - 2Q \cdot 2\rho \operatorname{tg} \frac{\Delta\varphi}{2} + 2N\Delta y = 0, \quad (2.11)$$

где ΔM — приращения изгибающего момента в рельсе на длине Δx ; m — момент, прикладываемый к рельсу со стороны крепления; $\Delta\varphi$ — угол, стягивающий дугу Δx ; Δy — приращение поперечного перемещения рельса на длине Δx .

Деля полученное равенство на величину $2\Delta x$ и учитывая соотношение

$$\frac{2\rho \operatorname{tg} \frac{\Delta\varphi}{2}}{\Delta x} \approx \frac{\operatorname{tg} \Delta\varphi}{\Delta\varphi} \approx 1,$$

приходим к равенству

$$\frac{\Delta M}{\Delta x} - \frac{m}{\Delta x} - Q + N \frac{\Delta y}{\Delta x} = 0.$$

Учитывая приближенные равенства отношений приращений и отношений дифференциалов и вводя обозначение

$$\frac{m}{\Delta x} = f_2(y'),$$

которое выражает тот факт, что момент m , приложенный от крепления к рельсу, зависит от угла скручивания рельса относительно шпалы, получим

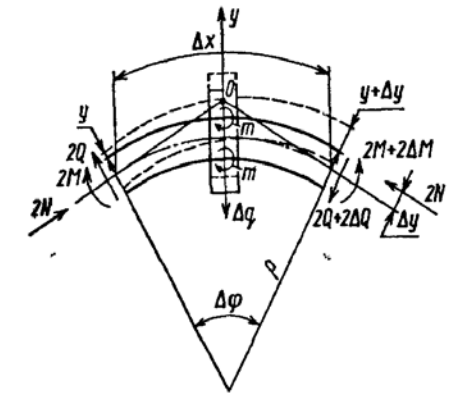


Рис. 2.14. Расчетная схема равновесия элемента искривленного пути при действии на него продольных и поперечных сил

$$\frac{dM}{dx} = f_2(y') + Q - Ny' \quad (2.12)$$

Составим теперь сумму проекций сил на вертикальную ось

$$\Sigma y = -\Delta q - 2\Delta Q \cos \frac{\Delta \varphi}{2} + 2N \sin \frac{\Delta \varphi}{2} = 0,$$

где Δq — сила, передаваемая на рельсы от шпалы; ΔQ — приращение поперечной силы в рельсе на длине Δx .

Разделим обе части полученного равенства на $2\Delta x$, тогда, учитывая соотношения

$$\frac{2 \sin \frac{\Delta \varphi}{2}}{\Delta x} \approx \frac{\sin \Delta \varphi}{\rho \Delta \varphi} \approx \frac{1}{\rho}; \quad \cos \frac{\Delta \varphi}{2} \approx 1,$$

приходим к равенству

$$-\frac{\Delta Q}{\Delta x} - \frac{\Delta q}{2\Delta x} + \frac{N}{\rho} = 0.$$

Теперь, заменяя отношения приращений отношением дифференциалов и вводя функцию

$$\frac{\Delta q}{2\Delta x} = f_1(y),$$

согласно которой сила, приложенная к рельсу со стороны шпалы, зависит от перемещения, получим

$$\frac{dQ}{dx} = -f_1(y) + \frac{N}{\rho} \quad (2.13)$$

Дифференцируя выражение (2.12) и подставляя значение Q из формулы (2.13), получим

$$\frac{d^2 M}{dx^2} = f_2(y') - f_1(y) + \frac{N}{\rho} - Ny'' \quad (2.14)$$

Воспользуемся теперь соотношением, определяющим момент в кривом стержне

$$M = EJ_z^0 y'' + EJ_z^0 \left(\frac{\lambda}{\rho} \right), \quad (2.15)$$

где E — модуль упругости рельсовой стали; J_z^0 — момент инерции рельса относительно главной вертикальной оси; λ — продольное перемещение сечения рельса.

Вторым членом в равенстве (2.15) можно пренебречь в связи с его малостью. С учетом сказанного, после подстановки (2.15) в выражение (2.14), получим

$$EJ_z^0 y^{IV} + Ny'' - f_2(y') + f_1(y) = \frac{N}{\rho} \quad (2.16)$$

Кривизну рельса $\frac{1}{\rho}$ (см. рис. 2.14) представим в виде суммы кривизны круговой кривой $\frac{1}{R}$ (R — радиус круговой кривой) и кривизны начальной ненапряженной неровности (которая существовала до укладки плети на подкладки) $y_0''(x)$. Таким образом,

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{R} - y_0'' \quad (2.17)$$

Подставляя равенство (2.17) в уравнение (2.16), получим следующее нелинейное дифференциальное уравнение, описывающее изгиб рельсошпальной решетки в плане в кривой заданного радиуса R при наличии в пути начальной ненапряженной неровности:

$$EJ_z^0 y^{IV} + Ny'' - f_2(y') + f_1(y) = \frac{N}{R} - Ny_0'' \quad (2.18)$$

Функцию $f_2(y')$ при малых угловых деформациях можно представить в виде $f_2(y') = ry'$, так что

$$f_2(y') = ry'' \quad (2.19)$$

В качестве функции, описывающей сопротивление рельсовой нити поперечным деформациям, используем функцию арктангенса

$$f_1(y) = B \operatorname{arctg} \frac{y}{b} \quad (2.20)$$

Подставляя выражения (2.19) и (2.20) в уравнение (2.18), получим

$$EJ_z^0 y^{IV} + (N-r)y'' + B \operatorname{arctg} \frac{y}{b} = \frac{N}{R} - Ny_0'' \quad (2.21)$$

Коэффициент r в выражении (2.19) представляет собой тангенс угла наклона кривой $f_2(y')$ к оси абсцисс при $y' = 0$, т. е. $r = f_2'(0)$.

Коэффициенты B и b , входящие в формулу (2.20), могут быть определены по результатам аппроксимации экспериментальных зависимостей сопротивления пути поперечному сдвигу от величины этого сдвига.

Под действием равномерно распределенной нагрузки $q_0 = \frac{N}{R}$, представляющей собой первое слагаемое правой части уравнения (2.21), рельсовая нить сдвигается во внешнюю сторону кривой на величину Δ .

Принимая $y = \Delta = \text{const}$ и приравнивая постоянные члены в обеих частях уравнения (2.21), получим

$$B \operatorname{arctg} \frac{\Delta}{b} = \frac{N}{R}, \quad (2.22)$$

откуда величина поперечной сдвижки рельсовой плети во внешнюю сторону кривой составит

$$\Delta = b \operatorname{tg} \frac{N}{RB}. \quad (2.23)$$

Введем новую переменную, определяемую равенством

$$\xi = y - \Delta.$$

При новой переменной уравнение (2.21) примет следующий вид:

$$EJ_{\xi}^0 \xi^{IV} + (N - r)\xi'' + B \operatorname{arctg} \frac{\xi + \Delta}{b} = \frac{N}{R} - Ny_0'' \quad (2.24)$$

Вычитая из уравнения (2.24) равенство (2.22), окончательно получим следующий результат:

$$EJ_{\xi}^0 \xi^{IV} + (N - r)\xi'' + \varphi(\xi) = -Ny_0'', \quad (2.25)$$

где

$$\varphi(\xi) = B \left(\operatorname{arctg} \frac{\xi + \Delta}{b} - \operatorname{arctg} \frac{\Delta}{b} \right)$$

Уравнение (2.25) справедливо как для кривых, так и для прямых участков пути. В случае прямых в уравнении (2.25) и формуле (2.23) следует принять $\frac{1}{R} = 0$.

Как следует из формулы (2.25), решение задачи существенно зависит от конфигурации и размеров начальной ненапряженной неровности $y_0(x)$.

Поскольку множество начальных конфигураций пути бесконечно и несчетно, строгое решение задачи должно давать ответ на то, при какой наихудшей форме начальной неровности и ее размерах потеря устойчивости происходит при наименьшем значении продольной силы в рельсах. Точное решение поставленной задачи, основанное на анализе нелинейного уравнения (2.25), дано в работе А. Я. Когана "Динамика пути и его взаимодействие с подвижным составом" (Москва, Транспорт, 1997 г.). В этой работе доказано, что в критическом случае начальная ненапряженная неровность $y_0(x)$ порождает силовую неровность $y(x)$ (неровность, обусловленную действующими силами в рельсах), совпадающую по конфигурации с формой потери устойчивости. При этом под формой потери устойчивости следует понимать

конфигурацию малых приращений поперечных сдвигов рельсовой плети в начальный момент потери устойчивости (в начальный момент выброса пути).

В критическом случае напряженная неровность и форма потери устойчивости совпадают и представляют собой косинусоиду с длиной волны l и "частотой" $\omega = \frac{2\pi}{l}$. Начальная ненапряженная неровность, порождающая косинусоидальную напряженную неровность, практически также совпадает с косинусоидой частоты ω и отличается от нее гармониками с амплитудами, не превышающими 3% от амплитуды основного тона. Эти отличия находятся за пределами точности измерений горизонтальных неровностей пути (менее 1 мм).

Полное решение задачи, приведенное в вышеупомянутой работе, основывается на сложной теории нелинейной устойчивости и нелинейной механики и, в основном, заключается в доказательстве высокой точности первого приближения решения. Доказано, что относительная ошибка первого приближения по отношению ко второму не превышает 5%.

В первом приближении критические параметры связаны следующей системой трансцендентных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} B^* &= B - \frac{2N_k}{\pi R}, \quad b^* = b \left(1 - \frac{2N_k}{\pi BR} \right) \sec^2 \frac{N_k}{BR}, \\ N_k &= 2 \sqrt{\frac{2B^* b^* EJ_{\xi}^0 (\sqrt{b^{*2} + C^2} - b^*)}{C^2 \sqrt{b^{*2} + C^2}} + r}, \\ \omega &= \sqrt[4]{\frac{2B^* b^* (\sqrt{b^{*2} + C^2} - b^*)}{EJ_{\xi}^0 C^2 \sqrt{b^{*2} + C^2}}}, \\ C_0 &= \frac{EJ_{\xi}^0 \omega^4 C^2 - (N_k - r)\omega^2 C^2 + 2B^* (\sqrt{b^{*2} + C^2} - b^*)}{N_k C \omega^2}, \end{aligned} \right\} \quad (2.26)$$

где C_0 — амплитуда начальной ненапряженной неровности; C — амплитуда напряженной неровности; N_k — критическая продольная сила в рельсовой плети.

Длина неровности, соответствующая частоте ω , составит

$$l = \frac{2\pi}{\omega}. \quad (2.27)$$

При перемещении рельсовой нити во внешнюю сторону кривой на величину $\Delta = b \operatorname{tg} \frac{N}{BR}$ [см. формулу (2.23)] в ней возникают относительные продольные удлинения, определяемые равенством

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{R} = \frac{b}{R} \operatorname{tg} \frac{N_k}{RB}$$

что вызывает разрядку продольных сил. Поэтому можно записать

$$N = N_t - EF\varepsilon = N_t - \frac{b}{R} EF \operatorname{tg} \frac{N_k}{RB}$$

где F — площадь поперечного сечения рельса; N_t — продольная сила, обусловленная изменением температуры рельсов относительно температуры закрепления плетей (которая не зависит от радиуса кривой и определяется температурным интервалом для данной местности).

Таким образом, к равенствам (2.26) следует добавить соотношение

$$N_t = N_k + \frac{b}{R} EF \operatorname{tg} \frac{N_k}{RB} \quad (2.28)$$

На практике невозможно разделить ненапряженную и напряженную неровности. В эксплуатации можно замерить только их сумму, которую можно назвать бытовой неровностью. Учитывая, что напряженная и ненапряженная неровности в критическом случае имеют одну и ту же частоту, и нули этих неровностей совпадают, вместо последнего из равенств (2.26) можно записать:

$$C_6 = C_0 + C = \frac{EJ_z^0 \omega^4 C^2 + r\omega^2 C^2 + 2B^*(\sqrt{b^{*2} + C^2} - b^*)}{N_k C \omega^2} \quad (2.29)$$

где C_6 — амплитуда бытовой неровности пути.

При определении критических параметров сначала следует решить систему из первых трех уравнений системы (2.26), содержащей величины $B^* = B^*(C)$, $b^* = b^*(C)$ и $N_k = N_k(C)$. Эта система может быть решена для каждого заданного значения методом последовательных приближений.

В качестве примера определим критические параметры, определяющие устойчивость бесстыкового пути при следующих исходных данных:

$$J_z^0 = 0,564 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4; F = 0,82 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2; E = 2,1 \cdot 10^8 \text{ кН/м}^2 \text{ (рельсы Р65);}$$

$$B = 4 \text{ кН/м}; b = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ м (характеристики асбестового балласта);}$$

$$r = 711 \text{ кН.}$$

Расчет проведем для кривой радиуса $R = 1000$ м при значении амплитуды напряженной неровности $C = 2 \cdot 10^{-3}$ м. Зададимся в первом приближении значением критической продольной силы $N_k = 2 \cdot 10^3$ кН и, пользуясь первыми тремя уравнениями системы (2.26), проведем вычисления:

$$B^* = B - \frac{2N_k}{\pi R} = 4 - \frac{2 \cdot 2 \cdot 10^3}{\pi \cdot 10^3} = 2,73 \text{ кН/м};$$

$$b^* = b \left(1 - \frac{2N_k}{\pi BR}\right) \operatorname{sec}^2 \frac{N_k}{RB} = 0,3 \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{2 \cdot 2 \cdot 10^3}{\pi \cdot 10^3 \cdot 4}\right) \frac{1}{\cos^2 \frac{2 \cdot 10^3}{10^3 \cdot 4}} = 0,265 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$N_k = 2 \sqrt{\frac{2B^* b^* E J_z^0 (\sqrt{b^{*2} + C^2} - b^*)}{C^2 \sqrt{b^{*2} + C^2}}} + r =$$

$$= 2 \sqrt{\frac{2 \cdot 2,73 \cdot 0,265 \cdot 10^{-3} \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 0,564 \cdot 10^{-5} (\sqrt{0,265^2 + 2^2} - 0,265) 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-6} \sqrt{0,265^2 + 2^2} \cdot 10^{-3}}} + 711 = 1,93 \cdot 10^3 \text{ кН.}$$

Во втором приближении примем $N_k = 1,93 \cdot 10^3$ кН. Произведя расчеты, получим:

$$B^* = 4 - \frac{2 \cdot 1,93 \cdot 10^3}{\pi \cdot 10^3} = 2,77 \text{ кН/м.}$$

$$b^* = 0,3 \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{2 \cdot 1,93 \cdot 10^3}{\pi \cdot 10^3 \cdot 4}\right) \frac{1}{\cos^2 \frac{1,93 \cdot 10^3}{10^3 \cdot 4}} = 0,265 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

$$N_k = 2 \sqrt{\frac{2 \cdot 2,77 \cdot 0,265 \cdot 10^{-3} \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 0,564 \cdot 10^{-5} (\sqrt{0,265^2 + 2^2} - 0,265) 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-6} \sqrt{0,265^2 + 2^2} \cdot 10^{-3}}} + 711 = 1,94 \cdot 10^3 \text{ кН.}$$

В третьем приближении примем $N_k = 1,94 \cdot 10^3$ кН. Произведя расчеты, получим:

$$B^* = 4 - \frac{2 \cdot 1,94 \cdot 10^3}{\pi \cdot 10^3} = 2,76 \text{ кН/м};$$

$$b^* = 0,3 \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{2 \cdot 1,94 \cdot 10^3}{\pi \cdot 10^3 \cdot 4} \right) \frac{1}{\cos^2 \frac{1,94 \cdot 10^3}{10^3 \cdot 4}} = 0,265 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$N_k = 2 \sqrt{\frac{2 \cdot 2,76 \cdot 0,265 \cdot 10^{-3} \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 0,564 \cdot 10^{-5} (\sqrt{0,265^2 + 2^2} - 0,265) 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-6} \sqrt{0,265^2 + 2^2} \cdot 10^{-3}} + 711} = 1,94 \cdot 10^3 \text{ кН}.$$

Сравнивая результаты второго и третьего приближений, принимаем следующие критические параметры:

$$B^* = 2,76 \text{ кН/м}; \quad b^* = 0,265 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad N_k = 1,94 \cdot 10^3 \text{ кН}.$$

При определении расчетов по формулам (2.26) следует проверять соблюдение условия

$$B > \frac{2N_k}{\pi R}. \quad (2.30)$$

При несоблюдении условия (2.30) полностью исчерпывается несущая способность пути в поперечном горизонтальном направлении и рельсы начинают интенсивно перемещаться в наружную сторону кривой (без выброса).

Имея значения величин B^* и b^* из четвертого уравнения системы (2.26), получим

$$\omega = \sqrt[4]{\frac{2B^*b^*(\sqrt{b^{*2} + C^2} - b^*)}{EJ_z^0 C^2 \sqrt{b^{*2} + C^2}}} = \sqrt[4]{\frac{2 \cdot 2,76 \cdot 0,265 \cdot 10^{-3} (\sqrt{0,265^2 + 2^2} - 0,265) 10^{-3}}{2,1 \cdot 10^8 \cdot 0,564 \cdot 10^{-5} \cdot 4 \cdot 10^{-6} \sqrt{0,265^2 + 2^2}}} = 0,72 \text{ м}^{-1}.$$

Длина волны неровности согласно формуле (2.27)

$$l = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{0,72} = 8,73 \text{ м}.$$

Критическая температурная сила N_t может быть вычислена по формуле (2.28):

$$N_t = N_k + \frac{b}{R} E F t g \frac{N_k}{R B} = 1,94 \cdot 10^3 +$$

$$+ \frac{0,3 \cdot 10^{-3}}{10^3} 2,1 \cdot 10^8 \cdot 0,82 \cdot 10^{-2} \cdot \text{tg} \frac{1,94 \cdot 10^3}{10^3 \cdot 4} = 1,94 \cdot 10^3 \text{ кН}.$$

Таким образом, в данном случае $N_t = N_k$, так как разрядка продольных сил при сдвиге рельсовых нитей наружу кривой ничтожно мала.

Используя формулу (2.29), можно вычислить амплитуду бытовой неровности пути

$$C_0 = \frac{EJ_z^0 \omega^4 C^2 + r \omega^2 C^2 + 2B^*(\sqrt{b^{*2} + C^2} - b^*)}{N_k C \omega^2} = \frac{2,1 \cdot 10^8 \cdot 0,564 \cdot 10^{-5} \cdot 0,72^4 \cdot 4 \cdot 10^{-6} + 711 \cdot 0,72^2 \cdot 4 \cdot 10^{-6}}{1,94 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,72^2} + \frac{2 \cdot 2,76 (\sqrt{0,265^2 + 2^2} - 0,265) 10^{-3}}{1,94 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,72^2} = 6,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Амплитуда ненапряженной неровности

$$C_0 = C_6 - C = 6,2 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3} = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

При $C = 0$ использование формул (2.26) становится невозможным в связи с неопределенностью деления нуля на ноль. Для раскрытия этой неопределенности воспользуемся правилом Лопиталья:

$$\lim_{C \rightarrow 0} \frac{\sqrt{b^{*2} - C^2} - b^*}{C^2 \sqrt{b^{*2} + C^2}} = \lim_{C \rightarrow 0} \frac{2C}{2\sqrt{b^{*2} + C^2}} \times \frac{1}{2C\sqrt{b^{*2} + C^2} + \frac{2C^3}{2\sqrt{b^{*2} + C^2}}} = \frac{1}{2b^{*2}}.$$

Но $\frac{B^*}{b^*} = \frac{Bb}{b^2 + \Delta^2}$.

Таким образом, система (2.26) при $C = 0$ преобразуется к виду:

$$N_k = 2 \sqrt{EJ_z^0 \frac{Bb}{b^2 + \Delta^2} + r}; \quad \omega = \sqrt[4]{\frac{1}{EJ_z^0} \frac{Bb}{b^2 + \Delta^2}}; \quad C_0 = 0. \quad (2.31)$$

В последнем из равенств (2.31) учтено, что

$$\lim_{C \rightarrow 0} \frac{\sqrt{b^2 + C^2} - b}{C} = \lim_{C \rightarrow 0} \frac{2C}{2\sqrt{b^2 + C^2}} = 0.$$

Следует заметить, что величина $\frac{Bb}{b^2 + \Delta^2}$ не что иное, как производ-

ная от функции $f_1(y) = B \operatorname{arctg} \frac{y}{B}$, взятая при $y = \Delta$. Эта величина представляет собой распределенную жесткость упругого сопротивления поперечному сдвигу пути, реализуемую при поперечной подвижке рельсовых плетей наружу кривой на величину Δ .

Подставляя в первое из уравнений (2.31) выражение для Δ из (2.23), после преобразований получим

$$N_k - r = 2\sqrt{EJ_z^0 \frac{B}{b}} \cos \frac{N_k}{RB}. \quad (2.32)$$

Уравнение (2.32) может быть решено графически. Критическое значение продольной силы определяется точкой пересечения двух кривых:

$$f_1(N_k) = N_k - r \quad \text{и} \quad f_2(N_k) = 2\sqrt{EJ_z^0 \frac{B}{b}} \cos \frac{N_k}{RB}.$$

Критическая сила N_k дополнительно должна удовлетворять неравенству

$$N_k < \frac{\pi}{2} BR, \quad (2.33)$$

которое может быть нарушено для особо крутых кривых при $r > \frac{\pi}{2} BR$. Для того чтобы в этом убедиться, достаточно в равенстве

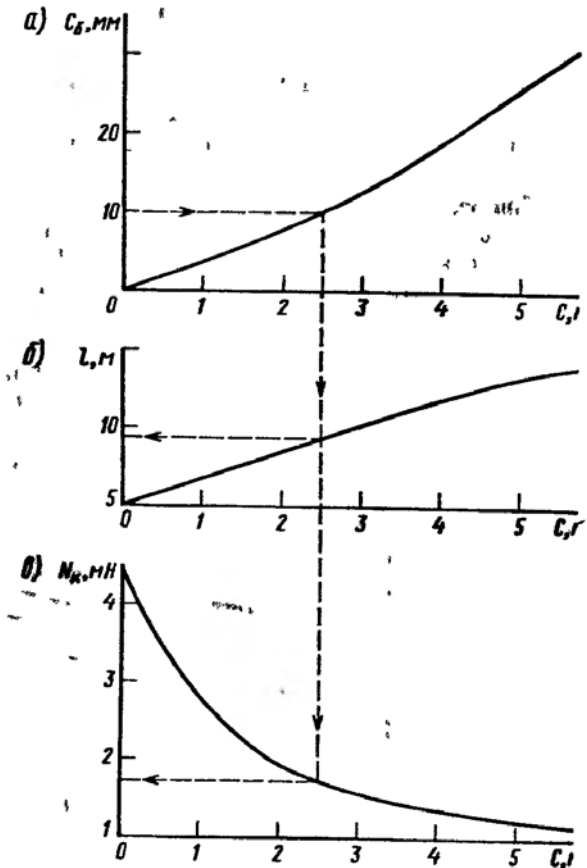
(2.32) принять $N_k = \frac{\pi}{2} BR$. В этом случае

$$\cos \frac{N_k}{RB} = 0 \quad \text{и} \quad r = N_k = \frac{\pi}{2} BR.$$

После того как найдено значение критической силы N_k по формуле (2.23), может быть найдена величина Δ , а затем решено второе уравнение (2.31), определяющее частоту неровности.

Формулы (2.26), (2.29) и (2.31) связывают основные критические величины N_k , C_6 и $l = \frac{2\pi}{\omega}$ параметрически (через параметр C). На рис. 2.15 приведены зависимости амплитуды бытовой неровности C_6 ,

Рис. 2.15. Зависимости критических параметров от амплитуды напряженной неровности пути C для асбестового балласта: a — амплитуда бытовой неровности пути, b — длина волны неблагоприятной неровности пути, ν — критическая температурная сила



длины неровности l и критической силы N_k от амплитуды напряженной неровности (параметра C) для пути с рельсами Р65 с асбестовым балластом с нормативной затяжкой клеммных болтов $J_z^0 = 0,564 \cdot 10^{-5}$ м; $E = 2,1 \cdot 10^8$ кН/м; $r = 711$ кН; $B = 4$ кН/м; $b = 0,3 \cdot 10^{-3}$ м. Расчеты проведены для кривой радиусом $R = 1000$ м.

Для решения задачи определения значений длины неблагоприятной неровности l и критической силы N_k при заданной амплитуде бытовой неровности достаточно по графику на рис. 2.15, a определить амплитуду напряженной неровности (параметр C), соответствующую заданному значению C_6 , а затем по графикам на рис. 2.15, $б$, $в$ найти значения l и N_k , соответствующие тому же значению параметра C . Возможно решение обратной задачи нахождения критического значения бытовой неровности при заданном уровне продольной силы в рельсе (полученной, например, по результатам прямых измерений тем или иным способом). Получение результатов в данном случае достаточно очевидно.

Поскольку параметр C имеет, в основном, вспомогательный характер, он может быть исключен. В результате могут быть получены прямые зависимости $N_k = N_k(C_6)$ и $l = l(C_6)$. На рис. 2.16 приведены зависимости критической продольной силы N_k и длины неблагоприятной бытовой неровности C_6 от амплитуды бытовой неровности C_6 для прямого участка и кривых радиусами $R = 1000$ м, $R = 600$ м и $R = 400$ м при следующих характеристиках пути: $J_z^0 = 0,564 \cdot 10^{-5}$ м⁴;

$E = 2,1 \cdot 10^8 \text{ кН/м}^2$; $r = 711 \text{ кН}$; $B = 2,43 \text{ кН/м}$; $b = 0,513 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, балласт щебеночный. Графики, приведенные на рис 2.16, позволяют решить основные задачи, связанные с нахождением взаимосвязи критической температурной силы в рельсе с размерами неблагоприятных неровностей в прямых и кривых участках пути

Пример. В рельсовой плети типа Р65, лежащей в кривом участке пути $R = 600 \text{ м}$ на щебеночном балласте, тем или иным методом зафиксирована продольная сила $N = 1,5 \text{ мН} = 1500 \text{ кН}$. По графику на рис 2.16, б можно определить, что этому значению продольной силы соответствует амплитуда бытовой неровности $C_6 = 5 \text{ мм}$. По графику на рис 2.16, а находим, что амплитуде бытовой неровности $C_6 = 5 \text{ мм}$ соответствует длина неровности (длина периода) $l = 11 \text{ м}$. Таким образом, при продольной силе $N_k = 1,5 \text{ мН}$ может произойти выброс в кривой радиусом $R = 600 \text{ м}$ при наличии в пути периодической неровности с длиной волны $l = 11 \text{ м}$ и амплитудой $C_6 = 5 \text{ мм}$. Практически периодической неровности в пути не бывает, но если наблюда-

ется хотя бы одна неровность длиной $l = 11 \text{ м}$ с амплитудой 5 мм , ситуацию следует рассматривать как критическую с учетом некоего запаса устойчивости

Амплитуде $C_6 = 5 \text{ мм}$ соответствует размах неровности (от максимума неровности до минимума с учетом знака) $f_6 = 2 C_6 = 10 \text{ мм}$. Размах неровности может быть измерен стрелой от хорды длиной $l = 11 \text{ м}$.

Паспортное значение стрелы неровности f на базе $l = 11 \text{ м}$ в кривой радиусом $R = 600 \text{ м}$ составляет

$$f = \frac{l^2}{8R} = \frac{11^2}{8 \cdot 600} = 0,025 \text{ м} = 25 \text{ мм}$$

Таким образом, если при промере кривой радиусом $R = 600 \text{ м}$ будет обнаружена стрела, равная или превышающая значение

$$f = \frac{l^2}{8R} + 2C_6 = 25 + 10 = 35 \text{ мм},$$

при измерении на базе $l = 10 \text{ м}$ необходима разрядка продольных сил в плети

Из рис 2.16, б следует, что при продольной силе N менее 1 мН в рассматриваемой кривой могут быть допущены значительные отклонения от паспортного положения (во всяком случае больше значения $C_6 = 15 \text{ мм}$)

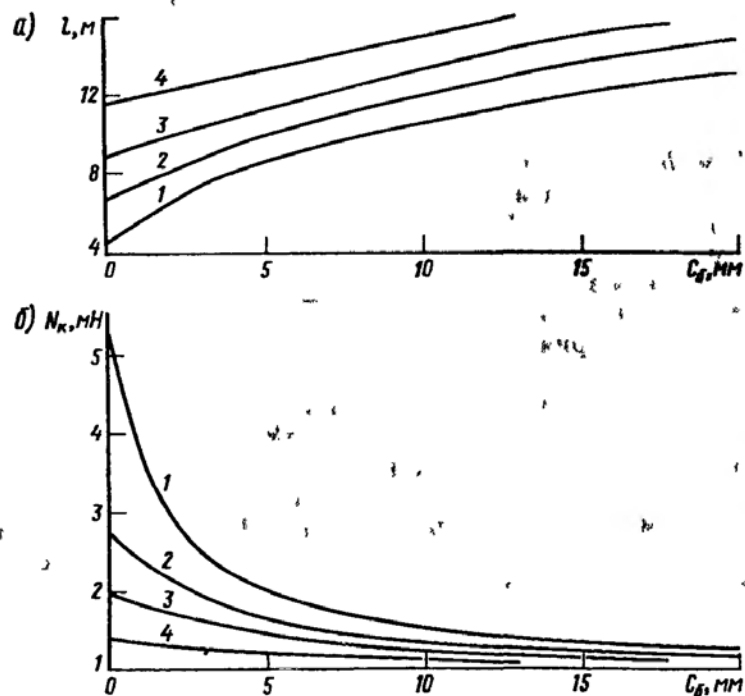


Рис 2.16 Зависимости критических параметров от амплитуды бытовой неровности C_6 для пути на щебеночном балласте

а — зависимость длины неблагоприятной бытовой неровности от ее амплитуды C_6 б — зависимость критической температурной силы N_k от амплитуды бытовой неровности C_6 1 — прямая 2 — кривая $R = 1000 \text{ м}$ 3 — кривая $R = 600 \text{ м}$ 4 — кривая $R = 400 \text{ м}$

КОНСТРУКЦИЯ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ

3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

При всем многообразии условий эксплуатации температурно-напряженного бесстыкового пути в настоящее время четко определились две его основные конструкции:

бесстыковой путь с промежуточными скреплениями пружинного типа, обеспечивающими постоянную надежную связь рельсовых плетей с железобетонными плитами, рамами, а также железобетонными или деревянными шпалами, уложенными в его основании;

бесстыковой путь на деревянных шпалах с обычными костыльными промежуточными скреплениями, в котором связь сварных плетей с основанием обеспечивается только в одном направлении (вдоль пути) с помощью пружинных противоугонов, установленных на подошве рельсов.

Бесстыковой путь с промежуточными скреплениями пружинного типа, преимущественно на железобетонных и деревянных шпалах, широко применяется в странах Западной Европы, Японии, Китае. Постоянное прижатие подошвы рельсов сварной плети к основанию с усилием (в каждом месте ее опирания) не менее 16—20 кН (по 8—10 от одной пружинной клеммы) не допускает местного проскальзывания подошвы рельса по основанию при проходе колес подвижного состава. В случае ослабления и тем более прекращения клеммного нажатия и появления проскальзывания начинают проявляться продольные силы угона, которые, суммируясь с температурным воздействием, могут нарушить устойчивость бесстыкового пути.

Бесстыковой путь с костыльными скреплениями на деревянных шпалах (изготовленных, как правило, из твердых пород древесины) нашел широкое применение на железных дорогах США, Канады, Австралии, многих стран Южной Америки, Азии, Африки. При этом решении от продольных смещений сварные плети удерживаются мощными пружинными противоугонами, обычно устанавливаемыми в следующем порядке: в средней части плети — на каждой второй (реже третьей) шпале; дополнительно в зоне сварных стыков — на каждой шпале (в целях недопущения большого зазора в холодное время года при разрыве колеи); на подвижных концевых участках плети — на

каждой шпале. Пружинные противоугоны ставятся по четыре штуки на каждую шпалу "в замок", сводя к минимуму проскальзывание подошвы рельса по подкладкам.

Назначение противоугонов на участках бесстыкового пути несколько отличается от их роли на линиях, где уложен звеньевой путь. Формирование угоняющих сил происходит на том протяжении пути, где при проходе колес подвижного состава, вследствие поворотов сечений рельсов, происходит местное проскальзывание подошвы рельсов по основанию (при шпалах — по металлическим подкладкам или упругим прокладкам). При установке пружинных противоугонов, как показывают проведенные эксперименты (табл. 3.1), даже при тщательно пригнанном к шпале противоугоне из-за деформаций древесины происходит частичное проскальзывание подошвы рельса по подкладке.

В летнее время часть противоугонов, расположенных на принимающей части звена длиной 25 м, из-за температурных деформаций последнего отходит от шпалы и в меньшей степени препятствует совместному повороту шпалы и рельса. При достаточном закреплении пути от угона в процессе движения поезда после прохода первых групп вагонов происходит упругое продвижение рельса, как правило, до 0,4—0,7 мм с соответствующим перемещением шпал, включенных в противоугонную систему. По причине неодинаковой пригонки противоугонов нажатие их на шпалы оказывается различным (табл. 3.2).

На участках бесстыкового пути на деревянных шпалах пружинные противоугоны, расположенные в средней неподвижной части плети, от шпал не отходят, обеспечивая более равномерно передачу на них продольных угоняющих сил. Последние проявляются, в основном, за счет проскальзывания рельсов по подкладкам на шпалах, где противоугоны отсутствуют, и частично на шпалах с противоугонами (см. табл. 3.1).

Таблица 3.1

Параметр	Значение параметра при деревянных шпалах и типовом костыльном скреплении	
	Противоугонов нет	Противоугоны установлены
Продольное перемещение подошвы рельса вследствие поворота его сечений при проходе четырехосных вагонов, мм	0,28—0,30	0,28—0,30
То же верхней постели шпалы (для этого же случая), мм	0,11—0,16	0,22—0,23
Местное проскальзывание подошвы рельса по основанию, мм	0,14—0,17	0,06—0,07

Т а б л и ц а 3.2

Место расположения противоугонов	Нагрузка от противоугонов на шпалы, кН/противоугонон (участок двухпутный)			
	до начала температурных деформаций рельса	после нагревания рельса на 20 °С	до начала температурных деформаций рельса	после нагревания рельса на 20 °С
	40 пар противоугонов		20 пар противоугонов	
Начало звена	2,70	0,50	3,70	2,50
Середина звена	2,60	2,70	3,80	4,08
Конец звена	2,60	4,20	3,20	4,20

В целях усиления подрельсового основания (помимо использования железобетонных рам и плит, что является типичным на мостах и в тоннелях) на участках бесстыкового пути усиливается эпюра шпал (например, в США, Канаде — до 2200 шт. на километр); применяются более тяжелые железобетонные шпалы массой до 350—400 кг; отсыпается более широкая балластная призма с размером плеча до 40—50 см; в ряде случаев в снегонезаносимых районах на плече устраивается "валик" высотой до 5—15 см; во всех случаях уширяется основная площадка земляного полотна и производится его оздоровление; реконструируются водоотводные сооружения.

Все перечисленные выше мероприятия как обязательные включаются в проект организации работ при первичной укладке бесстыкового пути на магистральных линиях железных дорог Европы, Америки, Японии и других стран.

Ниже приводится краткое описание конструкций бесстыкового пути в целом на железных дорогах России, Японии, Италии, Франции, Германии, США.

Россия. Бесстыковой путь занимает около четверти протяженности российских железных дорог. Типовая его конструкция — термически упрочненные рельсы типа Р65, железобетонные предварительно напряженные шпалы брускового типа, отдельные крепления КБ, щебеночный балласт фракций 25—60 мм. Конструкция с новыми материалами применяется на внеклассных линиях, где реализуются скорости свыше 140 км/ч, и на путях 1—3-го классов; на путях 4—5-го классов применяются старогодные материалы.

Бесстыковой путь укладывается в прямых и в кривых радиусом до 350 м. Крутизна уклонов, как правило, не ограничивается. Земляное полотно должно быть прочным и устойчивым. Не допускаются пучины высотой более 10 мм, просадки пути, сплывы и оползания откосов насыпей и другие деформации земляного полотна. Ширина плеча балластной призмы со стороны наружной нити на внеклассных путях, путях 1-го и 2-го классов — 45 см, 3—5-го классов — 40 см; крутизна

откосов — 1:1,5. Толщина слоя щебня под шпалой на внеклассных путях, путях 1-го и 2-го классов — 40 см, 3-го класса — 30 см, 4-го класса — 25 см, 5-го класса — 15 см.

Эпюры шпал на главных путях линий 1—4-го классов должны быть в прямых участках и в кривых радиусом более 1200 м — 1840 шт./км, радиусом 1200 м и менее, а также на затяжных спусках круче 12 ‰ — 2000 шт./км; на путях 5-го класса и станционных — 1440—1600 шт./км.

Длина сварных плетей, как правило, равна длине блок-участка, но не менее 400 м. На участках с тональными рельсовыми цепями или при использовании высокопрочных изолирующих стыков укладываются плети длиной до перегона.

Между рельсовыми плетями в зависимости от местных условий укладывается от двух до четырех пар уравнильных рельсов длиной 12,5 м, соединенных между собой и с концами плетей шестидырными накладками.

Стрелочные переводы на деревянных брусках отделяются с каждой стороны от плетей двумя парами уравнильных рельсов; переводы на железобетонных брусках, рельсовые нити которых сварены, соединяются с примыкающими рельсовыми плетями сваркой. В этом случае на протяжении 50 м с каждой стороны перевода шпалы укладываются по эпюре 2000 шт./км и должны быть применены рельсовые крепления с упругими клеммами.

На мостах с ездой на балласте бесстыковой путь укладывается без ограничения суммарных длин пролетных строений; на безбалластных однопролетных мостах — при длине пролетных строений до 55 м и на многопролетных — при суммарной длине до 66 м. В тоннелях бесстыковой путь может быть как с балластным, так и с безбалластным основанием. Число шпал в тоннелях и на подходах к ним длиной 100 м должно быть 2000 шт./км.

В России пока нет специализированных высокоскоростных пассажирских магистралей. Движение осуществляется по смешанному типу и поэтому скоростное движение пассажирских составов может осуществляться только на небольших по протяжению участках. Для движения со скоростями до 200 км/ч применяется типовая конструкция бесстыкового пути, только усиление кривых участков укладкой 2000 шпал на 1 км осуществляется уже с радиуса 1000 м. Движение пассажирских поездов со скоростью до 160 км/ч осуществляется на многих российских дорогах; скорости 180—200 км/ч реализуются специализированным составом только на линии Москва — Санкт-Петербург.

Япония. Заканчивается сооружение скоростной двухпутной магистрали общей длиной 2250 км, которая свяжет все острова Японии единой железнодорожной сетью с шириной колеи 1435 мм. Эта магистраль, в том числе, соединяет северный остров Хоккайдо с центральным Хонсю с помощью самого длинного в мире тоннеля Сейкан

протяжением 54 км; из них 23 км проходят под дном пролива Цугару. Бесстыковой путь уложен рельсами массой 60,8 кг/м. Длина сварных плетей (от станции до станции с применением тональной блокировки) на отдельных участках составляет 1500 м. В целях обеспечения плавности движения на концах плетей вместо уравнильных рельсов установлены уравнильные приборы, между которыми расположен короткий отрезок с изолирующим стыком, разделяющим блок-участки. В основании лежат железобетонные шпалы длиной 240 см, толщиной 25,5 см, шириной понизу 33 см, а в тоннелях, на мостах и эстакадах — железобетонные плиты. Рельсы скреплены со шпалами пластинчатыми пружинными клеммами. Ширина междупутья 420 см, ширина плеча балласта за концами шпал — 50 см, ширина основной площадки земляного полотна 10,60—10,80 м. Балласт под шпалой — слой щебня фракции 25—65 мм толщиной не менее 30 см. Ниже уложен подбалласт — 20 см (рис. 3.1). Бесстыковой путь рассчитан на скорости движения 260 (300) км/ч. Стрелочные переводы с непрерывной поверхностью катания, минимальный радиус кривых 4000 м, наибольшие уклоны — до 12—15 ‰.

Германия. Двухпутные железнодорожные линии, в том числе Ганновер—Кассель—Гемюнден—Вюрцбург — протяжением 286 км и Мангейм—Штутгарт — 105 км, запроектированы для скоростей движения пассажирских поездов до 300 км/ч (первое время 200 км/ч), грузовых 160 км/ч (первое время 140 км/ч). Рельсы UIC-60, масса 60,8 кг/м, шпалы железобетонные длиной 2,8 м массой 380—400 кг (на 120 кг тяжелее обычных шпал типа В70). Число шпал 1600 шт./км. Балласт — щебень фракции 25—65 мм толщиной под шпалами не менее 30 см, ниже располагается подбалласт из песчано-гравийной смеси толщиной 20 см. Расстояние между осями путей 5,4 м, плечо за концами шпал — 50 см, откосы балластной призмы 1:1,5 (рис. 3.2). Ширина основной площадки 14,4 м, обочины — 1,35 м. Для возможности совместной эксплуатации пассажирских и грузовых поездов увеличены минимальные размеры радиусов кривых: типовое решение — $R_{\min} = 7000$ м (возвышение наружного рельса 120 мм), для отдельных участков — $R_{\min} = 5700$ м (возвышение наружного рельса 150 мм). Наибольшие уклоны — 12,5—18 ‰. Стрелочные переводы следующих марок: на съездах — 1/18,5, обгонных путях — 1/17,7. На станционных путях допускаются переводы марки 1/9 при $R_{\min} = 300$ м.

Следует отдельно остановиться на конструкции бесстыкового пути для высокоскоростного движения (до 250—300 км/ч) на уже построенных и строящихся железнодорожных линиях, где уложен бесстыковой путь при полном отсутствии стыков. При укладке бесстыкового пути на строящихся линиях, рассчитанных на движение с максимальной скоростью до 300 км/ч, для обеспечения долговечности, экономичности и защиты от выброса следует применять следующие элементы

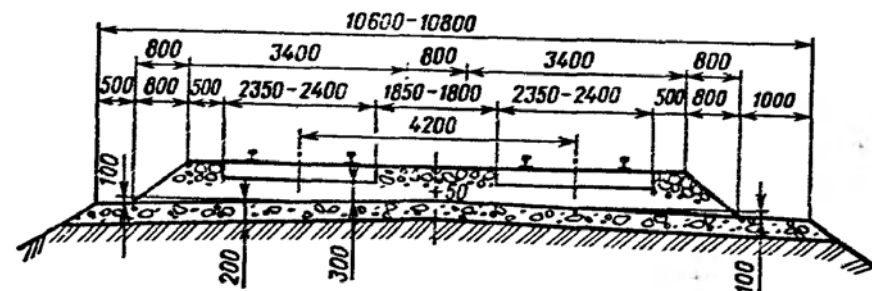


Рис. 3.1. Поперечник скоростной двухпутной линии в Японии

конструкции пути, уже в достаточной мере испытанные на железных дорогах Германии: балластный слой толщиной 0,4 м; рельсы типа МСЖД 60 (класс А); преднапряженные железобетонные шпалы В75 с расстоянием между ними 0,63 м; высокоупругие рельсовые скрепления Ioagv 300 с коэффициентом упругости 23—30 кН/мм, соответствующим коэффициенту упругости верхнего строения пути 19—24 кН/мм или модулю упругости балластной постели 0,05—0,06 Н/мм³. Динамический коэффициент упругости рельсового скрепления при частоте 30 Гц и низкой температуре не должен превышать 35—40 кН/мм, что соответствует динамическому коэффициенту упругости верхнего строения пути 27—31 кН/мм или динамическому модулю упругости балластной постели 0,07—0,08 Н/мм³; на мостах в забутовочных зонах и примыкающих к ним 10-метровых переходных отрезках пути на земляном полотне необходимо укладывать под балласт маты с закрытыми порами и модулем упругости около 0,1 Н/мм³.

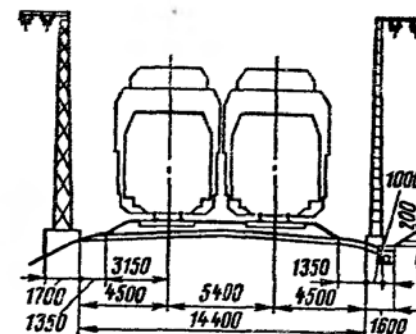


Рис. 3.2. Типовой поперечный профиль пути на перегонах скоростных линий Германии

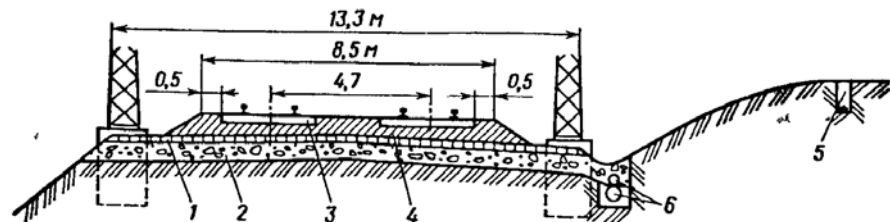


Рис. 3.3. Балластное верхнее строение пути для скорости движения 300 км/ч на линии Ганновер — Берлин:
1 — защитный слой; 2 — противоморозный слой; 3 — железобетонные шпалы В75 с шагом 0,63 м, длиной 2,8 м; 4 — балласт; 5 — кабельный канал; 6 — приемная и отводящая дренажные трубы

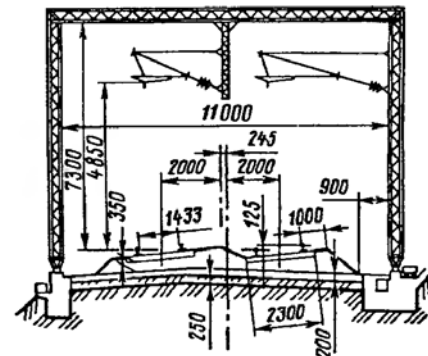
Усиленный до 0,4 м балластный слой способствует увеличению срока службы щебня, поскольку в этом случае под воздействием эксплуатационных нагрузок при сплошном ремонте пути происходит расслоение балласта, при котором мелкие частицы щебня скапливаются в нижней зоне балластной постели.

Условием долговечности улучшенного балластного верхнего строения пути является шлифование рабочей поверхности новых рельсов после их сварки в пути, а также регулярное шлифование после пропуска по участку каждые 20—30 млн. т. Следует ожидать, что в этом случае для обеспечения требуемого уровня комфорта в высокоскоростных поездах достаточно будет проводить сплошной ремонт пути только после пропуска 40—50 млн. т, а очистку балласта — через каждые 500—700 млн. т. Кроме того, важно, чтобы шпалы длиной 2,8 м подбивались с торцов.

Эти параметры легли в основу проекта строящейся высокоскоростной линии Ганновер—Берлин, где запроектировали участки как на балласте, так и на безбалластном основании. Они также использованы при сооружении магистрали Ганновер—Вюрцбург и Мангейм—Штутгарт. Конструктивная схема нового верхнего строения пути показана на рис. 3.3.

Италия. Бесстыковой путь на скоростной линии Рим — Неаполь уложен рельсами S-60 массой 60,8 кг/м, на железобетонных одноблочных шпалах длиной 2,6 м; промежуточное скрепление марки К, балласт — щебень фракции 20—60 мм толщиной 35 см, уложен на балластную подушку толщиной 20 см из размолотого известняка, смешанного с небольшим количеством цемента. Подушка покрывает по ширине всю основную площадку земляного полотна. Материал подушки приготовлен на заводе; на седьмой день после укладки прочность на сжатие — не менее 1,5 МПа. Ширина основной площадки земляного полотна в насыпях и выемках 11,0 м (рис. 3.4). Минимальный радиус кривых 3000 м, возвышение наружного рельса 125 мм,

Рис. 3.4. Поперечник пути на скоростной линии Рим — Неаполь



уклоны профиля до 7,5—8,0 ‰. Стрелочные переводы для съездов марки 1/29,4 ($R = 3000$ м, $v_{\max} = 160$ км/ч), для примыканий — 1/18,2 ($R = 1200$ м, $v_{\max} = 100$ км/ч).

Франция. Двухпутная линия Париж — Лион имеет протяженность 425 км. Ширина основной площадки 12,6 м (рис. 3.5). Уложен бесстыковой путь рельсами массой 60,8 кг/м, железобетонными двухблочными шпалами 1722 шт./км. Балластная призма — из щебня фракции 25—50 мм толщиной под шпалами 32—38 см и песчаной подушки толщиной 20 см. Расстояние между осями путей 4200 м, минимальный радиус кривых 4000 м (в отдельных местах 3200 м), наибольшее возвышение наружного рельса 180 мм. Максимальный уклон продольного профиля 35 ‰ при $v_{\max} = 250\div 300$ км/ч разрешен на протяжении до 4 км. Такие крутые подъемы преодолеваются за счет инерции поезда. Стрелочные переводы марки 1/65, длина перевода 208 м.

США. В отличие от европейских стран и Японии бесстыковой путь с рельсами массой около 66, 70 и 76 кг/м, значительно превышающей европейские стандарты, укладывается на деревянных шпалах (из древесины твердых пород) с костыльными скреплениями (костыли удлинены на 7 мм по сравнению со стандартными). Для стабилизации пути от угона устанавливаются пружинные противоугоны, как правило, на каждой второй шпале (в "замок" — 4 шт./шпалу); на концевых участках плетей и в зоне сварных стыков на каждой шпале. Толщина щебня под шпалой обычно 30,5 см, ниже находится подбалласт из мелкого гранитного щебня. Особенностью конструкции балластного слоя дорог США является выполнение технических требований, согласно которым при по-

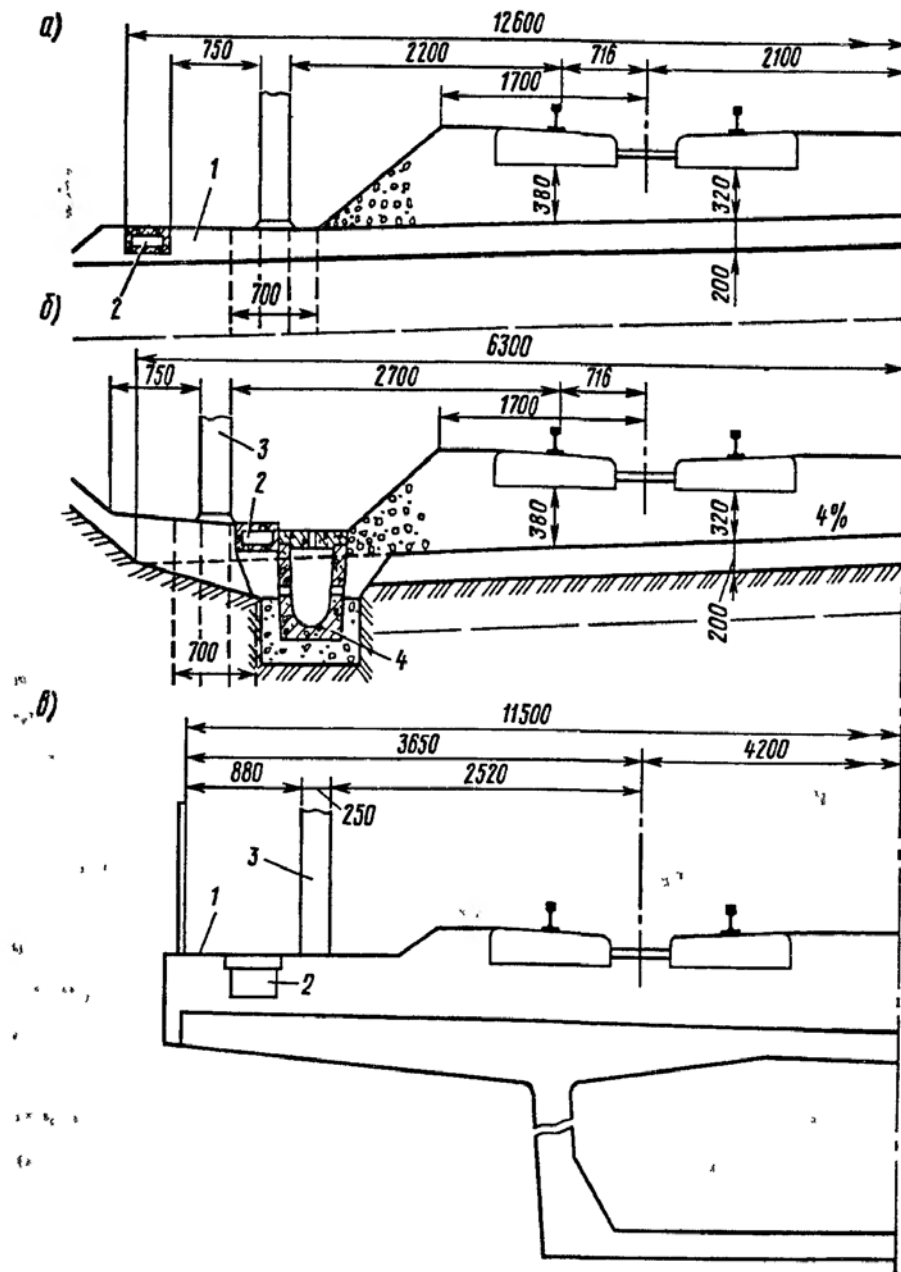


Рис. 3.5. Конструкция пути на скоростной линии Париж — Лион:
 а — на насыпи; б — в выемке; в — на виадуке; 1 — пешеходная дорожка; 2 — кабельные каналы; 3 — опора контактной сети; 4 — бетонный лоток

вышении осевых нагрузок вагонов, напряжения на основную площадку земляного полотна не должны возрастать. Отсюда переход от нагрузки 250 кН/ось к 300 кН/ось и далее 340—350 кН/ось¹ сопровождался соответствующим увеличением эпюры шпал до 2100—2200 шт./км и утолщением щебеночной балластной призмы. Учитывая высокие осевые нагрузки на железных дорогах США, нормальная ширина колеи установлена 1429 мм вместо 1435 мм, что позволяет уменьшить воздействия подвижного состава на путь.

3.2. РЕЛЬСОВЫЕ СКРЕПЛЕНИЯ

При всем своем многообразии промежуточные рельсовые скрепления бесстыкового пути делятся на две группы.



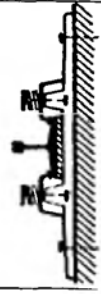
Первые — это конструкции, которые не создают нажатия на подошву рельса, образуя зазор между верхом подошвы и прикрепителем. Такой зазор необходим, так как, например, если жестко прижать рельсовую плетку к основанию, то при проходе четырехосных вагонов и подъеме рельса между тележками будет происходить либо подъем шпал (с нарушением их стабильности), либо в зимнее время поддевание шурупов или других элементов, прикрепляющих подкладку к шпале, и постепенное образование остаточных деформаций в зоне прикрепителя.

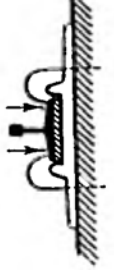
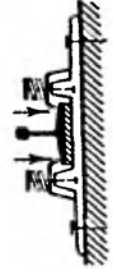
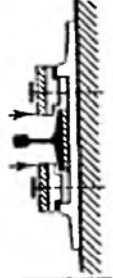
К первой группе относятся: жесткие типовые костыли, которые в процессе эксплуатации наддеформируются рельсом; специально создаваемые скрепления, в которых наличие зазора предусмотрено конструкцией, в том числе скрепление с "маятниковым штырем", применяющееся на московском метрополитене (табл. 3.3 — первые сверху три типа скреплений). В случае использования промежуточных скреплений первого типа для предотвращения продольного смещения рельсовых плетей необходима установка противоугонов.

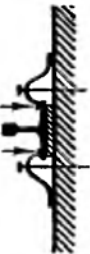
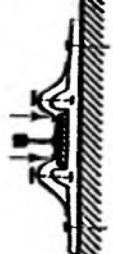
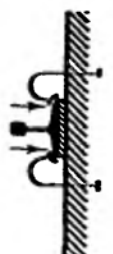
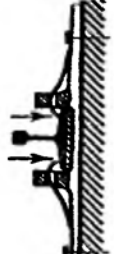
Ко второй группе промежуточных скреплений относятся конструкции, у которых с помощью упругих элементов обеспечивается необходимое нажатие на подошву рельса двумя клеммами обычно с усилием от 8 до 20 кН, что при наличии упругой прокладки под подошвой рельса бывает достаточным для предотвращения местного проскальзывания рельса по основанию при его изгибе с последующим образованием угоняющих сил.

¹ На западно-европейских железных дорогах разрешенный максимум 225 кН/ось, в России — 235—240, на железных дорогах Великобритании — до 250 кН/ось

Таблица 33

Группа креплений	Конструкция промежуточного скрепления	Элемент, создающий нажим на подошву рельса	Схема прикрепителя	Типы применяемых конструкций скреплений
<i>Первая группа</i> Отсутствует нажатие на подошву рельса (требуется установка противоугольных приспособлений)	Костыльное с жесткими костылями	—		ДО (Россия, Канада, США), типовое костыльное
	С ограничительной ребордой (фасонного типа) и штырем	—		"Метро" (Россия)
	Клеммно-болтовое с укороченными жесткими клеммами (не доходящими до подошвы рельса)	—		КБ-М для металлических мостов (Россия)

<i>Вторая группа</i> Имеется нажатие на подошву рельса (добавочных противоугольных приспособлений не требуется)	Костыльное с пружинными костылями	"Развитая головка"		DS-18, ES-18, "Рюпинг", "Макбет" (ФРГ, Англия, США)
	А Клеммно-болтовое с жесткими клеммами и добавочными упругими элементами	Упругие, одно-, двух- и трехвинтовые шайбы		КБ, Д-2 (Россия), "Фосси" (ФРГ, Италия)
		Резиновые простоики "развитой" формы		"Вайскинг" (США) (для тяжелых условий эксплуатации)

Группа креплений	Конструкция промежуточного скрепления	Элемент, создающий нажим на подошву рельса	Схема прикрепителя	Типы применяемых конструкций скреплений
	Клеммно-болтовые с упругими клеммами бесподкладочное	Плоские или торсионного действия упругие элементы, прижимаемые к подошве рельса болтовым соединением		ЖБ, ЖБР (Россия), НМ (ФРГ), RN, "Набла" (Франция), Синкансен — тип 702 и др. (Япония), SKL-1 (ФРГ), тип F (Финляндия) БПУ-65 (Россия), SB-11 (Япония)
	подкладочное нераздельное (подкладки прикрепляются вместе с клеммами)			
	подкладочное раздельное (подкладки прикрепляются отдельно от клемм)	Упругие элементы, непосредственно прижимающие рельс к основанию		Д-4у (Россия), SKL-2, SKL-3, "Рзда", тип 1043 (ФРГ), тип 8 — Япония
	Б Безболтовые			
		Упругие элементы, прикрепляющие рельс к подкладке, которая отдельно крепится к основанию		"Пендрол" (Англия), "Фист" с плоской клеммой
				Д-8 (Россия), "Пендрол" (деревянные шпалы), "Дельта" (ФРГ), "Хайбек" (Англия); "Эвэм" (Голландия и др. страны)

Вторая группа креплений делится на две подгруппы А и Б в зависимости от того, можно или нет регулировать нажатие упругой клеммы на подошву рельса.

Подгруппа А, помимо пружинных костылей различных конфигураций (рис. 3.6), включает различные варианты конструкций, в которых докручиванием гаек болтов можно регулировать степень нажатия на подошву рельса (см. табл. 3.3). В эту подгруппу следует включить скрепления КБ (известное для железных дорог России) (рис. 3.11), ЖБ, ЖБР и БПУ-65 для железобетонных шпал, Д4у и Д2 для деревянных шпал (тоже Россия), а также большое число зарубежных конструкций SKL-1, SKL-2, SKL-3; НМ, тип 1043 (ФРГ); типы 8 и 702 для линий Синкансен и SB-11 (Япония); RN, Набла (Франция); Фоссл (ФРГ, Италия); тип F (Финляндия); Вайскинг (США) и др. (рис. 3.8—3.16).

Подгруппа Б (см. табл. 3.3) включает в себя так называемые безболтовые промежуточные скрепления, усилия нажатия которых на подошву рельса устанавливаются в момент монтажа и при правильно

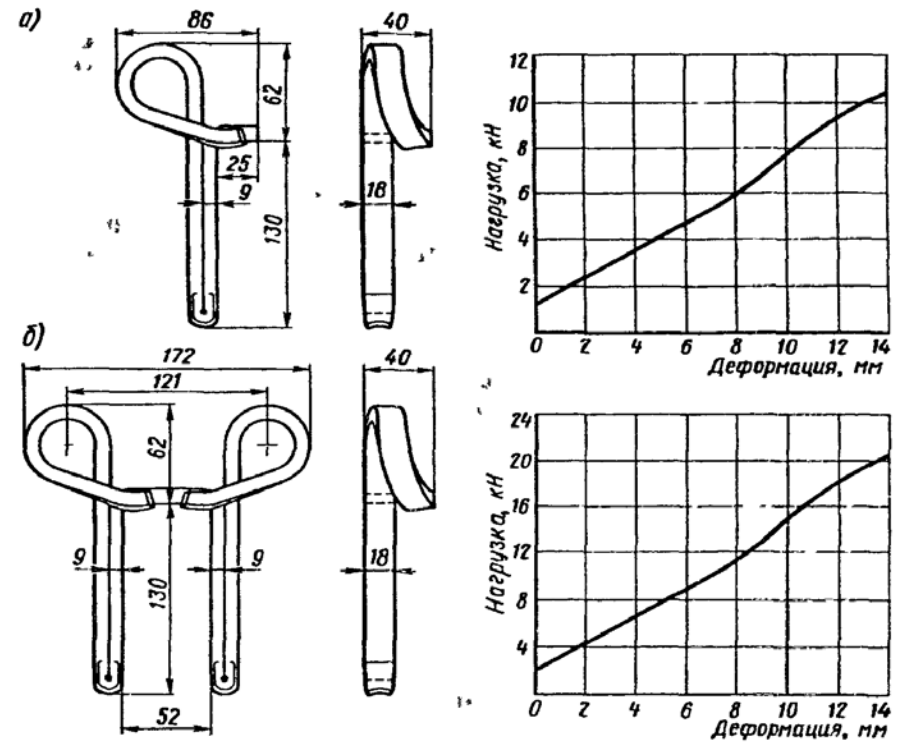


Рис. 3.6 Пружинные костыли и их упругие характеристики.
а — тип ES-18 б — тип DS-18

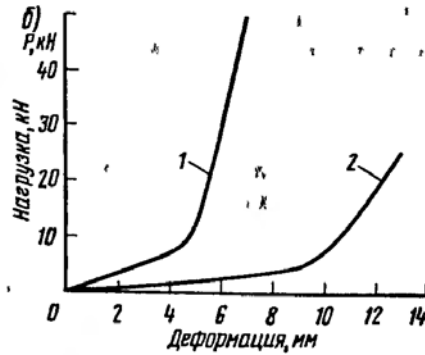
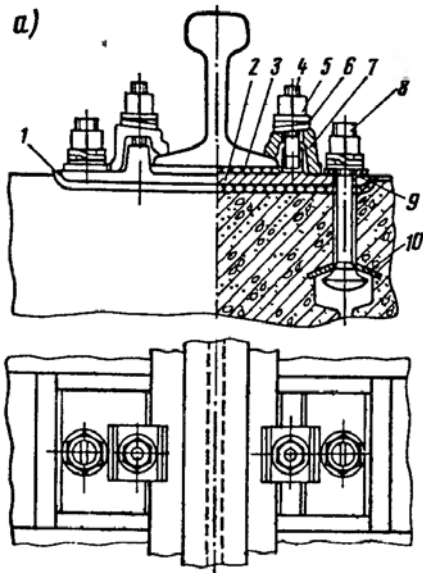


Рис. 3.7. Рельсовое крепление КБ-65 для железобетонных шпал (а) и зависимость силы от деформации (б) при осевом сжатии шайбы (кривая 1) и в точке контакта клеммы с верхом подошвы рельса (кривая 2):
1 — резиновая прокладка; 2 — металлическая подкладка; 3 — упругая подрельсовая прокладка; 4 — клеммный болт; 5 — гайка; 6 — пружинная двух- или трехвитковая шайба; 7 — жесткая клемма; 8 — закладной болт; 9 — пружинная шайба; 10 — изолирующая втулка

запроектированной конструкции остаются практически неизменными весь период эксплуатации. К подгруппе Б относятся крепления типа Д-8 (Россия), многочисленные варианты типа Пендрол, Фист, Серпантекс, Дельта, Хайбек и др. (рис. 3.17—3.19), а также пружинные костыли (см. рис. 3.6). Помимо вышеперечисленных конструкций, которые серийно производятся различными фирмами, на рис. 3.20 приводится вариант безболтовой конструкции для железобетонных шпал, который предложен МИИТом (автор Л. П. Алексеева) и в настоящее время проходит испытания.

Параметры упругих креплений в значительной мере определяются жесткостью клеммных соединений, а также соотношением жесткости клемм и подрельсовых прокладок. На рис. 3.14 и 3.16 приведены зависимости нажатия клемм на подошву рельса от их деформации соответственно для бесподкладочного крепления типа НМ и подкладочного типа SKL-2 (на одну клемму). В обоих случаях зависимость между силой и деформацией остается линейной, однако, в первом случае (тип НМ) жесткость клеммы будет 0,7 кН/мм, во втором (тип SKL-2) — 2,1 кН/мм.

Из рис. 3.16, з видно, что при деформации клеммы в момент прохода поезда $\Delta f = 1,5$ мм изменение клеммного нажатия достигает 3,15 кН и при начальном закреплении клеммы с усилием 15 кН при полном опускании рельса под колесом в контакте клеммы и подошвы

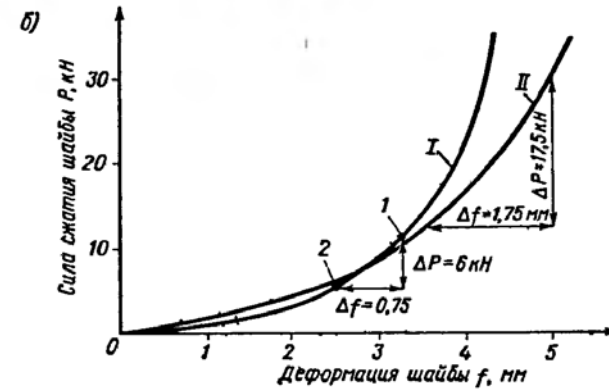
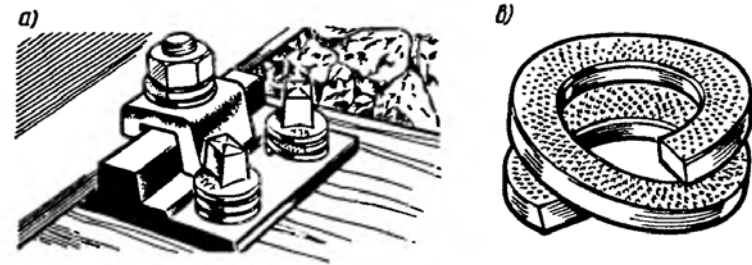


Рис. 3.8. Рельсовое крепление Фоссл для деревянных шпал:
а — общий вид; б — упругие характеристики двухвитковой (кривая I) и трехвитковой (кривая II) шайб; в — двухвитковая шайба

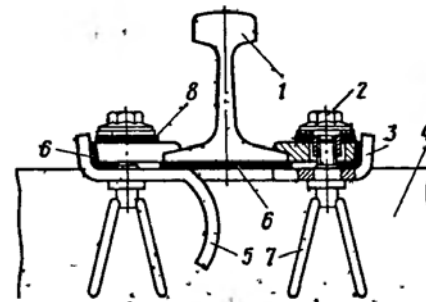


Рис. 3.9. Крепление Вайскинг для тяжелых условий эксплуатации:
1 — рельс; 2 — клеммный болт с гайкой; 3 — металлическая подкладка, "утепленная" в верхнюю постель шпала; 4 — железобетонная шпала; 5 — элементы металлической подкладки, заделанные в бетон; 6 — упругая рифленая прокладка; 7 — стержни (приваренные к болту), заделанные в бетон; 8 — резиновый элемент

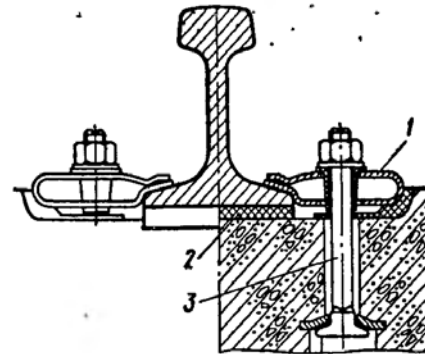


Рис. 3.10. Бесподкладочное крепление ЖБР дорог России:
1 — пружинная клемма; 2 — подрельсовая упругая прокладка; 3 — клеммный закладной болт

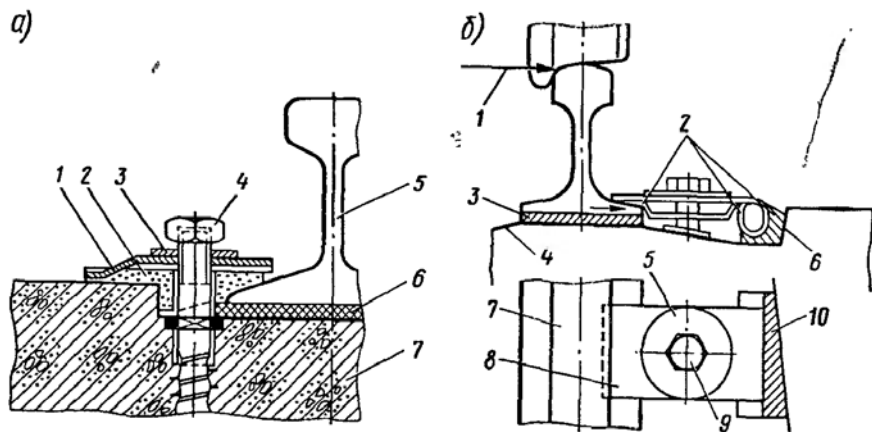


Рис. 3.11. Клеммные бесподкладочные крепления:

а — дорога Франции типа Набла; 1 — пружинная клемма; 2 — пластмассовая втулка; 3 — металлическая шайба; 4 — шурупоболт с гайкой; 5 — рельс типа VIC-60; 6 — резиновая прокладка; 7 — железобетонная шпала; б — дорога Японии (линии Синкансен); 1 — горизонтальная поперечная сила; 2 — места передачи горизонтальной силы через элементы крепления на шпалу (без зазоров и ударной нагрузки); 3 — резиновая прокладка; 4 — железобетонная шпала; 5 — элемент крепления; 6 — плоскость шпалы; 7 — рельс; 8 — пружинная клемма; 9 — клеммный болт; 10 — клин для регулирования

рельса действует сила примерно 12 кН. Практически линейные зависимости между силой и деформацией имеются у клеммного крепления типа Пэндрол. Жесткость этих клемм зависит от диаметра прутка, из которого образована конструкция, и колеблется от 0,40 до 0,90 кН/мм. Зависимость между деформацией и силой может быть и нелинейной. На рис. 3.21 приведены зависимости для ряда конструкций. При жестких клеммах типа КБ или Фоссл упругость узла крепления обеспечивается благодаря применению двух- и трехвитковых пружинных шайб, при сжатии которых зависимость между силой и деформацией получается нелинейной (см. рис. 3.7 и 3.8). Отсюда рез-

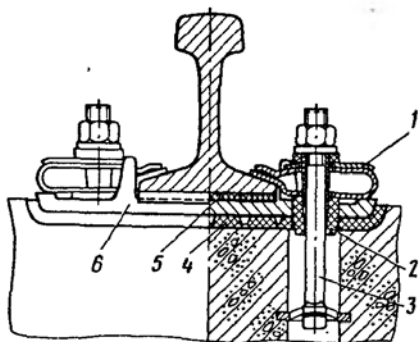


Рис. 3.12. Рельсовое крепление БПУ-65 дорог России:

1 — упругая клемма; 2 — втулка; 3 — закладной болт; 4 — нащпальная прокладка; 5 — подрельсовая упругая прокладка; 6 — металлическая подкладка

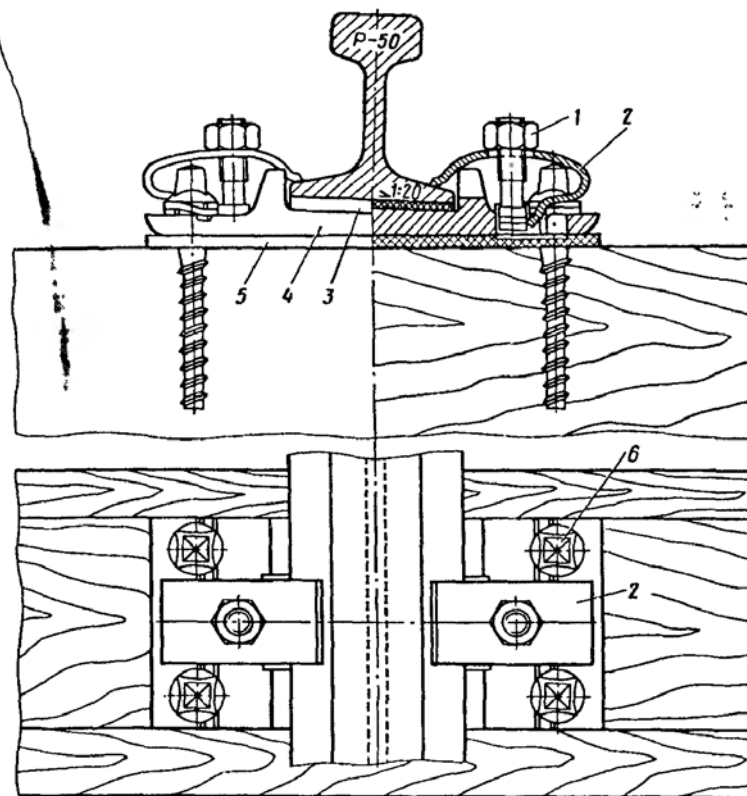


Рис. 3.13. Раздельное крепление Д4у (для деревянных шпал) дорог России: 1 — клеммный болт с гайкой; 2 — клемма; 3 — подрельсовая прокладка; 4 — металлическая подкладка; 5 — нащпальная прокладка; 6 — шуруп

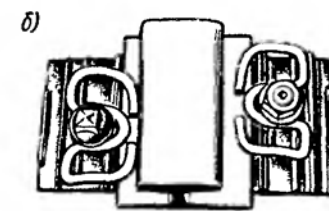
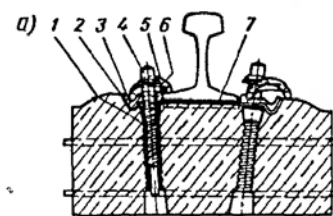
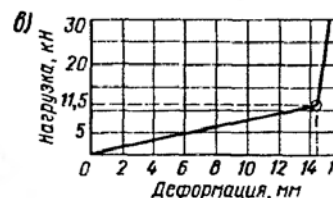


Рис. 3.14. Бесподкладочное крепление НМ для железобетонных шпал:

а — конструкция; б — общий вид; в — упругая характеристика крепления НМ; 1 — пластмассовый дюбель; 2 — изолирующий вкладыш; 3 — упорный вкладыш; 4 — болт; 5 — упругая клемма; 6 — шайба; 7 — подрельсовая прокладка



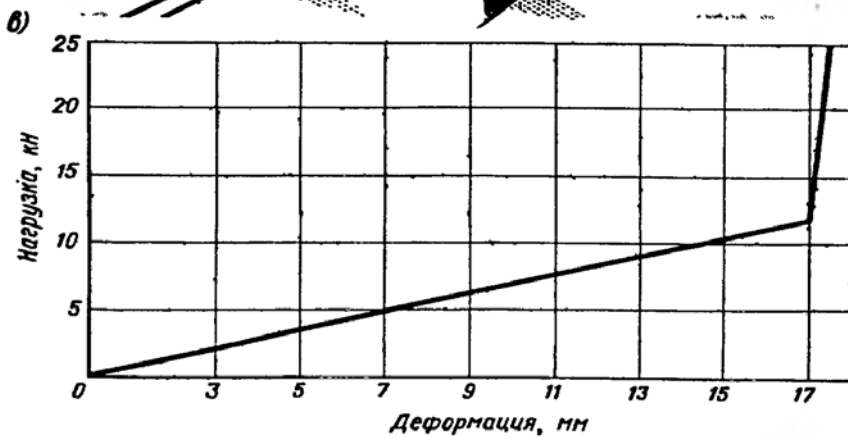
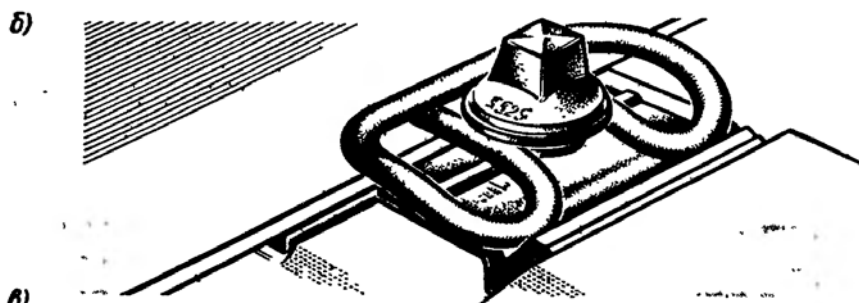
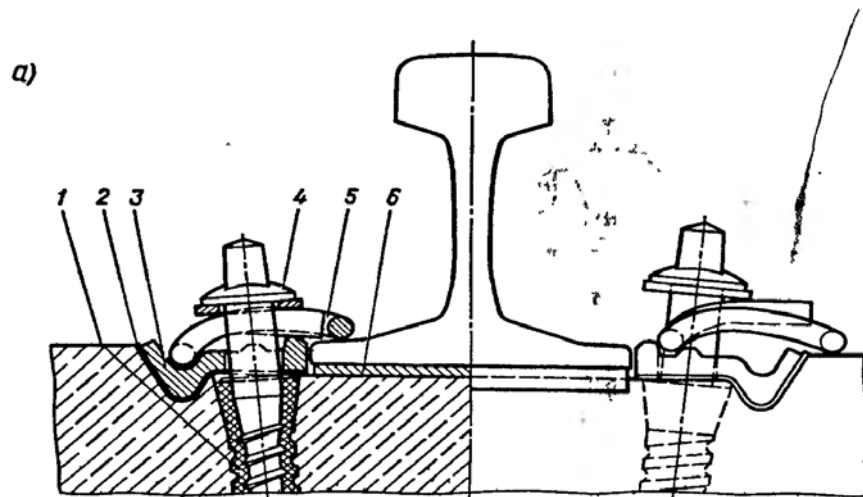


Рис. 3.15. Бесподкладочное крепление WS8 для железобетонных шпал:
a — конструкция; *б* — общий вид; *в* — упругая характеристика креплений WS8; 1 —
 пластмассовый дюбель; 2 — изоляционная прокладка; 3 — упорный вкладыш; 4 — болт; 5 —
 упругая клемма; 6 — подрельсовая упругая прокладка

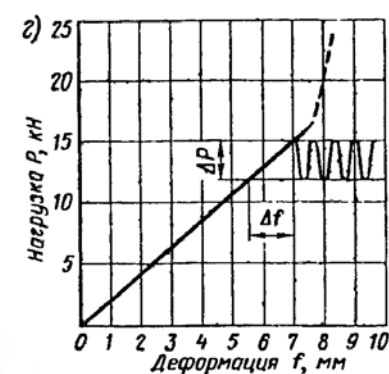
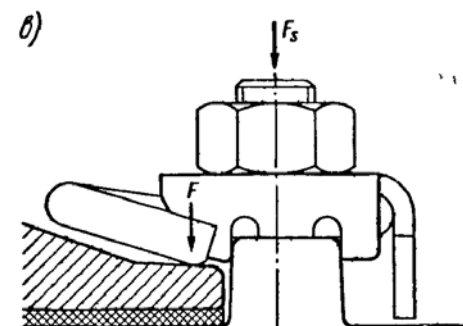
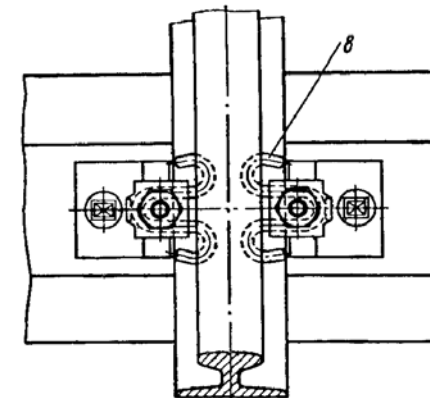
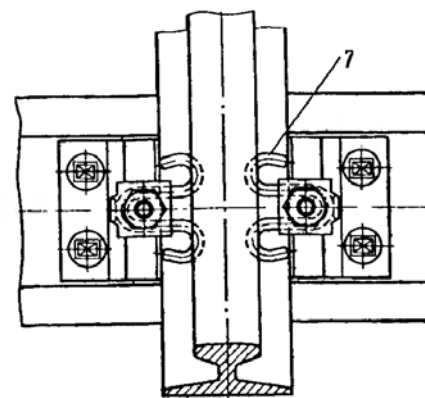
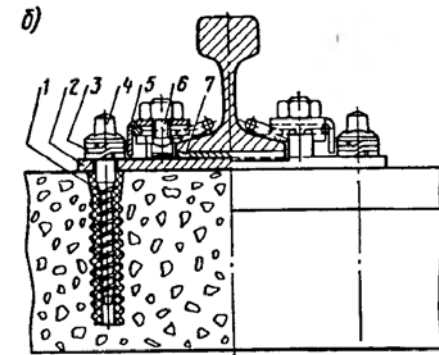
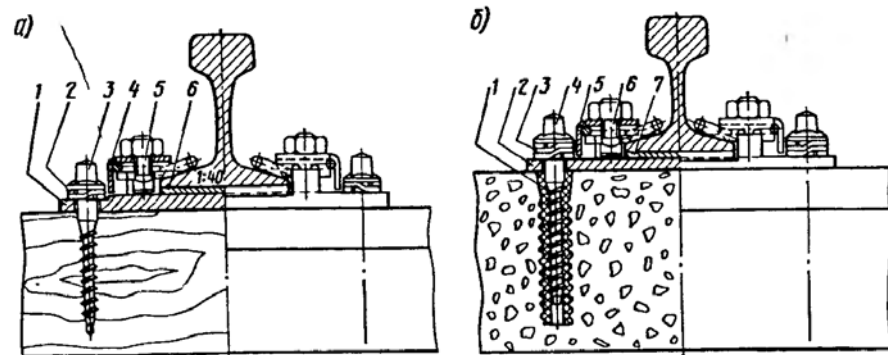


Рис. 3.16. Подкладочное раздельное крепление SKL-2:
a — для деревянных шпал; 1 — металлическая подкладка; 2 — двухвитковая шайба; 3 —
 шуруп; 4 — шайба; 5 — закладной болт; 6 — подрельсовая прокладка; 7 — клемма; 8 —
 для железобетонных шпал; 1 — дюбель; 2 — металлическая подкладка; 3 — трехвитковая
 шайба; 4 — шуруп; 5 — шайба; 6 — закладной болт; 7 — подрельсовая прокладка; 8 —
 клемма; *в* — схема действия вертикальных сил; *г* — упругая характеристика

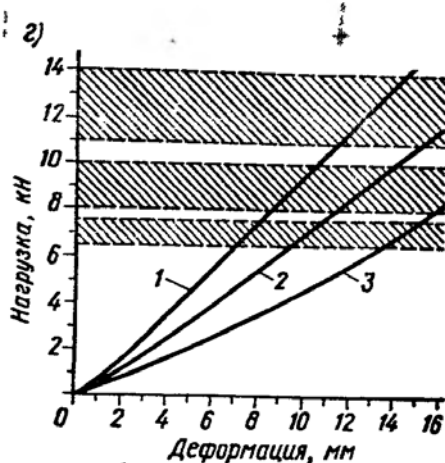
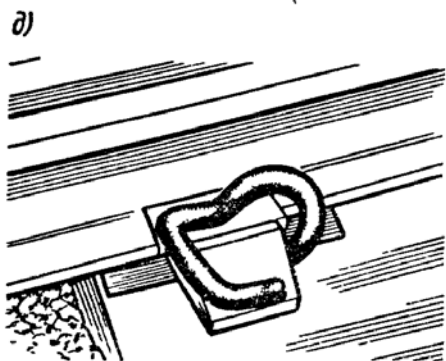
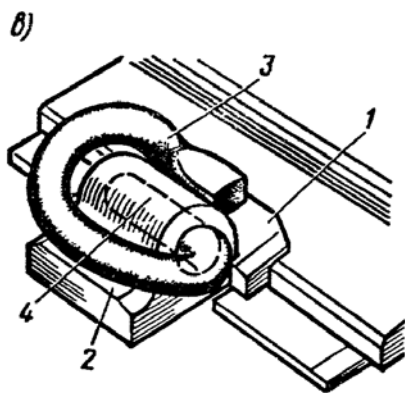
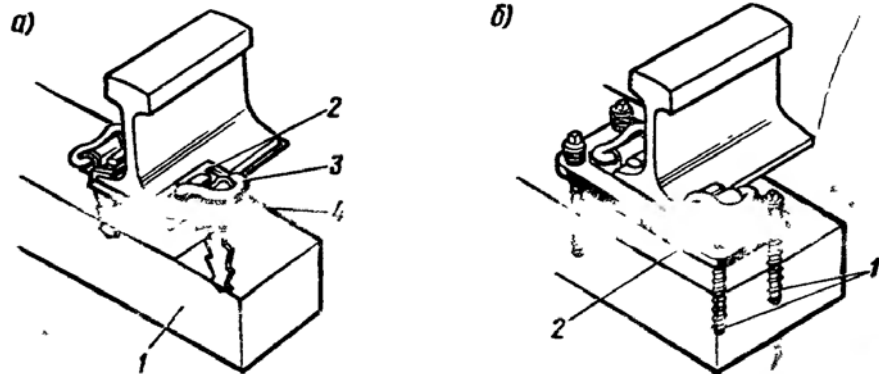


Рис. 3.17. Безболтовые крепления типа Пендрол для железобетонных шпал

a — бесподкладочная конструкция; 1 — железобетонная шпала; 2 — изоляционная прокладка; 3 — клемма торсионного действия; 4 — держатель клеммы, заделанный в бетон; *b* — подкладочная конструкция для деревянных шпал; 1 — шурупы; 2 — подкладка металлическая; *в* — деталь клеммного приращения; 1 — изоляционная прокладка; 2 — держатель клеммы; 3 — клемма, 4 — гнездодержатель; *г* — упругие характеристики клемм; 1 — при диаметре клемм 20 мм; 2 — го же 18 мм, 3 — для рельсов массой до 54 кг/м при диаметре клемм 16 мм, *д* — общий вид

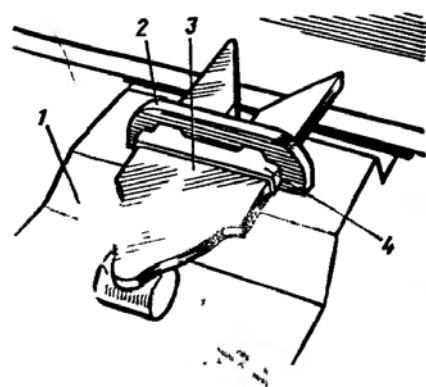


Рис. 3.18. Безболтовое упругое крепление с изоляторами между клеммой и прокладкой: 1 — вкладыш пяты; 2 — заплечик; 3 — клемма; 4 — изолирующая прокладка

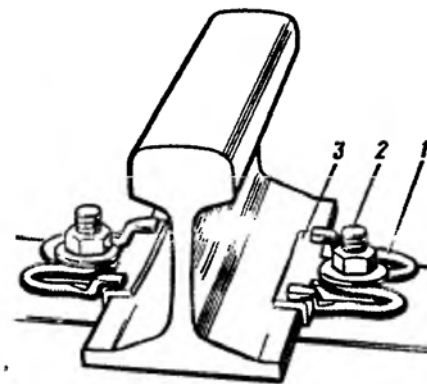


Рис. 3.19. Бесподкладочное крепление типа F (Финляндия): 1 — клемма; 2 — шурупоболт (или закладной болт); 3 — изолятор

кое снижение клеммного нажатия при деформации подрельсовой прокладки. Например, при трехвитковой шайбе уменьшение деформации с 5 до 3,25 мм ($\Delta f = 1,75$ мм) вызывает снижение силы нажатия шайбы с 30 до 12,5 кН. При оценке жесткости такого типа клеммного крепления следует учитывать, что деформация рельса под колесом в этой конструкции, а также конструкции типа КБ, примерно в 2 раза больше, чем сжатие клеммы, а сила, действующая в месте контакта жесткой клеммы и рельса, соответственно меньше. Отсюда жесткость клеммного соединения, отнесенная на одну клемму в точке ее контакта

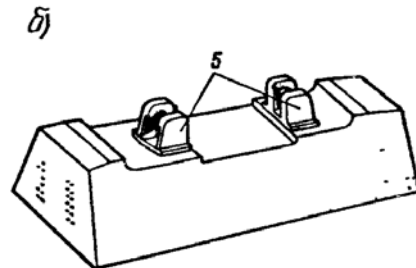
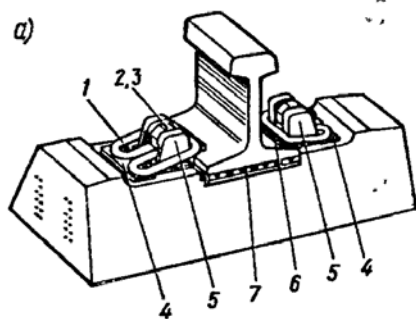


Рис. 3.20. Узел крепления APC-4 (*a*) и подрельсовая зона анкерной железобетонной шпалы крепления (*b*):

1 — клемма; 2, 3 — монорегулятор (регулятор + фиксатор); 4 — подклемник; 5 — анкер; 6 — изолирующий уголок; 7 — резиновая прокладка

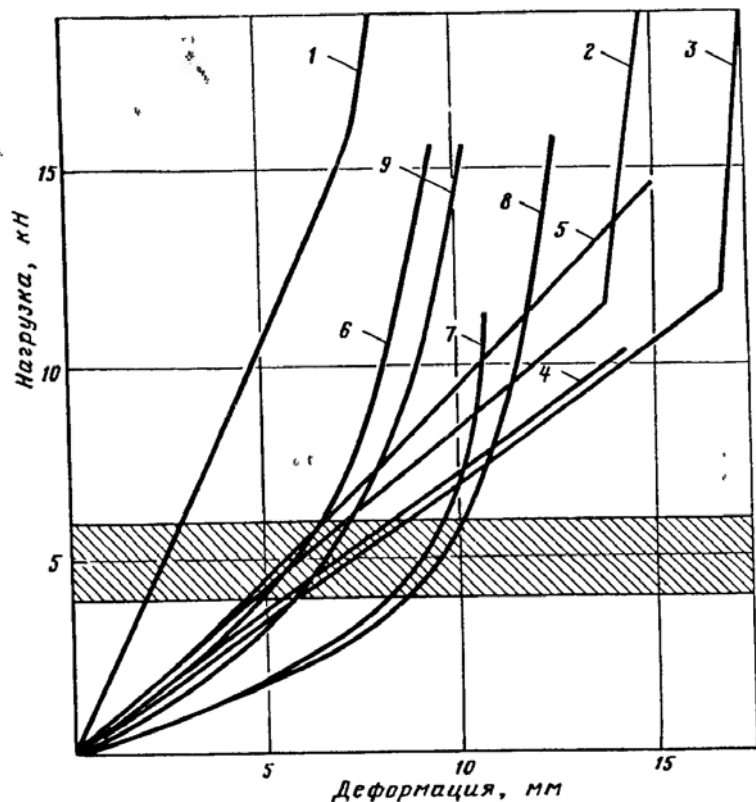


Рис. 3.21. Зависимость силы в точке контакта клеммы и рельса от деформации в этой точке для клеммных соединений различной конструкции (отнесенных на одну клемму в точке ее контакта с подошвой рельса):

1 — типа SKL-2; 2 — типа НМ; 3 — WS8. 4 — типа Пендрол при диаметре прутка 18 мм; 5 — то же 20 мм; 6 — типа ЖБР и БПУ-65; 7 — типа КБ с двухвитковой шайбой сечением 8×10; 8 — то же с трехвитковой шайбой; 9 — типа Фоссл с трехвитковой шайбой

с рельсом оказывается примерно в 4 раза меньшей, чем жесткость самой пружинной шайбы. На рис. 3.21 приводятся зависимости силы в точках контакта рельса и клеммы от деформации последней.

Жесткость клемм $C'_{кл}$ определяется углом наклона этих кривых. При линейной зависимости $C'_{кл}$ величина постоянная. В случае нелинейной зависимости $C'_{кл} = \Delta P / \Delta f$ в интервале ее работы под колесами подвижного состава. Например, при среднем нажатии одной клеммы 6 кН и ослаблении нажатия под колесом (в результате деформации упругих резиновых прокладок) на 1,5—2,0 кН получаем интервал, внутри которого изменяется нажатие частично ослабленной клеммы при проходе колес подвижного состава, равный для разбираемого

примера 4—6 кН. На рис. 3.21 этому интервалу соответствует заштрихованная полоса. Ниже для разбираемого примера приводятся значения жесткостей различных клемм:

Тип крепления	Жесткость одной клеммы, кН/мм, при приложении силы 4—6 кН
КБ-65 с трехвитковой шайбой	1,43
КБ-65 с двухвитковой шайбой	1,54
Фоссл с двухвитковой шайбой	2,00
БПУ 65, ЖБР	1,25
Пендрол (диаметр прутка 18 мм)	0,72
То же 20 мм	0,95
WS8	0,78
SKL-2	2,10
НМ	0,84

При сборке узла рельсового крепления под действием клеммного нажатия упругая прокладка и пружинная клемма получает первую деформацию. В процессе накатывания колеса с образованием дополнительной нагрузки на узле $P_{кол}$ происходит дальнейшее сжатие резиновой прокладки Δu с одновременным ослаблением клеммного нажатия. В интервале Δu , равном обычно не более 1,5—2,0 мм, жесткость прокладки $C'_п$ и двух клемм $C'_к$ обычно считают постоянными величинами. В этом случае жесткость узла крепления

$$C_y = C'_п + C'_к \quad (3.1)$$

Соотношения между $C'_п$ и $C'_к$ определяются рядом условий. По условию недопущения размыкания системы "рельс — крепление — прокладка" (т. е. для того, чтобы под колесом не происходило полного ослабления клеммного нажатия) должны быть выдержаны определенные соотношения. При колесной нагрузке 60—80 кН жесткость двух клемм $C'_к$ должна быть в 3—4 раза больше, чем жесткость прокладки $C'_п$. Однако для предотвращения формирования сил угона необходимо, чтобы клеммы были еще менее жесткими и обеспечивали нажим на подошву рельса в момент реализации наибольшего давления колеса, достаточный для недопущения местного проскальзывания подошвы рельса по основанию.

При проектировании узла рельсового крепления в целях недопущения значительного ослабления клеммного нажатия соотношение между жесткостью двух клемм и жесткостью упругой прокладки желательно иметь не ниже, чем от 1:10 до 1:20.

Все вышеизложенное отражает работу бесподкладочного крепления. Для случая подкладочного крепления под рельсом на опоре располагаются два упругих элемента, работающих на сжатие под воздействием вертикально приложенных колесных нагрузок (рис. 3.22). Упругость такого узла крепления может быть определена в результате рассмотрения совместной работы двух систем, уже описанных

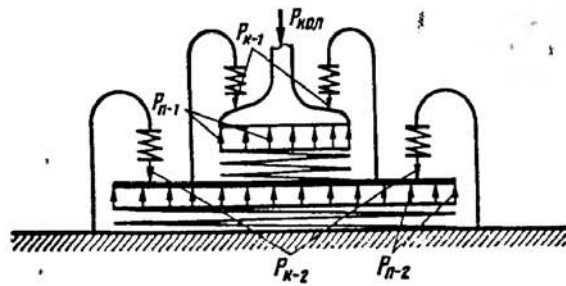


Рис. 3.22. Схема действия вертикальных сил на узел подкладочного рельсового скрепления

выше. Первая из них включает в себя рельс, упруго зажатый между клеммами, имеющими жесткость $C''_{к-1}$, и подрельсовой упругой прокладкой, имеющей жесткость $C'_{п-1}$. Вторая система включает в себя металлическую подкладку, также упруго зажатую между другой парой клемм (их жесткость $C''_{к-2}$) и нижней резиновой прокладкой, имеющей жесткость $C'_{п-2}$.

Для расчета жесткости узла промежуточного скрепления в данном случае необходимо:

пользуясь формулой (3.1) и имея значения $C''_{к-1}$ и $C'_{п-1}$, определить жесткость первой системы $C_{у-1}$;

используя значения $C''_{к-2}$ и $C'_{п-2}$, получить жесткость второй системы $C_{у-2}$;

используя известную зависимость для двух параллельно работающих систем, определить жесткость всего узла промежуточного скрепления подкладочного типа

$$C_y = \frac{C_{у-1}C_{у-2}}{C_{у-1} + C_{у-2}} \quad (3.2)$$

Жесткость одной и той же упругой прокладки может существенно изменяться в зависимости от степени ее износа, температурно-влажностного режима и других факторов. В табл. 3.4, в порядке иллюстра-

Таблица 3.4

Тип скреплений	Пружинные клеммы	Толщина упругих прокладок, мм	Среднее значение жесткости узла скрепления, кН/см
ЖБ	Пластинчатые 5×80 мм	7/—	1200
ЖБР	Пластинчатые улучшенного профиля	12/—	500
БП	Прутковые, $d = 14$ мм	8/7	600
БП	То же с утолщенными прокладками	12/8	400
КБ	Жесткие с двухвитковыми шайбами	7/7	900
КБ	Прутковые типа "Краб", $d = 14$ мм	14/7	400

ции, приводятся средние значения жесткости узлов промежуточных рельсовых скреплений, применяющихся на отечественных железных дорогах.

Деформация рельсов в вертикальной плоскости происходит за счет узла промежуточного скрепления, деформации и прогиба деревянной шпалы, деформации балласта и земляного полотна. Если взять изолированный короткий отрезок рельса и через него (нагружая опору вертикальной силой) определять жесткость подрельсового основания, отнесенную к одной опоре C_0 , которая формируется за счет всех вышеуказанных упругих элементов, то используемый в расчетах пути на прочность модуль упругости рельсового основания u может быть

получен по формуле $u = \frac{C_0}{l}$, где l расстояние между осями шпал. Под воздействием подвижного состава при давлении колеса силой P происходит упругая деформация рельса на величину y . Зависимость (3.3) позволяет при известных значениях параметра EI для рельса, лежащего в пути, определить величину

$$u = \frac{1}{\sqrt[3]{64EI}} \sqrt[3]{\left(\frac{P}{y}\right)^4} \quad (3.3)$$

Величина $C_0 < C_y$, но имеет ту же размерность (кН/см); модуль упругости u измеряется в кН/см^2 или в МПа. Физически модуль u представляет собой уровень (величину) равномерно распределенного давления на подрельсовое основание по одной рельсовой нити, при котором будет иметь место упругая осадка, равная 1 см. Численное значение u , которое используется в расчетах бесстыкового пути на прочность и устойчивость, зависит от метода его измерения в натуре. В случае если прогибомеры устанавливаются на коротких сваях, забитых около рельсов на глубину 0,70—0,75 м от верха поверхности балласта, прогиб y_1 не включает в себя деформации слоев земляного полотна ниже сваек. Если приборы, фиксирующие полную деформацию пути, располагаются в стороне от загрузочного устройства, фиксируется прогиб y_2 , который больше, чем y_1 (табл. 3.5). Экспериментально установлено, что деформация под проходящими поездами распространяется на глубину 7,5—8,0 м. В табл. 3.3 приводятся результаты экспериментов, проведенных специалистами ВНИИЖТа в летнее время года.

При расчетах бесстыкового пути нельзя воспользоваться модулем u , полученным по формуле (3.3) на основании прогибов пути, замеренных при статическом нагружении последнего по методике полного прогиба головки y_2 или относительно коротких сваек (см. табл. 3.5). Расчетное значение модуля u можно определить при анализе фактических перемещений элементов рельсошпальной решетки под поезд-

Таблица 3.5

Параметр	Значение параметра, мм, при разных видах нагрузки			
	Тепловоз 2ТЭ10Л	Четырехосные вагоны	Тепловоз 2ТЭ10Л	Четырехосные вагоны
	Деревянные шпалы, балластный слой 40 см щебня + 30 см песка		Железобетонные шпалы, балластный слой 25 см щебня + 20 см песка	
Суммарный прогиб головки рельса, u_2	3,84	3,65	2,34	2,28
Просадка сваек Δ_y	1,32	1,15	0,90	0,64
Прогиб рельса относительно но верха сваики, u_1	2,52	2,50	1,44	1,64

ной нагрузкой. При этом на величину модуля u влияют параметры упругих характеристик подрельсовых и наспальных прокладок, состояние балласта и подбалластного основания. В зимнее время жесткость подрельсового основания увеличивается, отсюда при прочих равных условиях величина u возрастает.

Большой опыт эксплуатации бесстыкового пути в различных условиях подтвердил правильность выбранных расчетных значений модуля u , обеспечивающих надежную эксплуатацию пути этого типа.

Жесткость рельсовой нити поперек колеи, кН/мм, определяется параметром

$$C_z = \frac{H}{z}, \quad (3.4)$$

где H — горизонтальная сила, приложенная к рельсу; z — деформация.

Жесткость по подошве C_z^n всегда оказывается большей, чем по головке C_z^r . Величины C_z^n и C_z^r зависят от конструкции и состояния крепления (табл. 3.6).

Таблица 3.6

Тип шпал и креплений	Толщина прокладок, мм		{ Поперечная жесткость рельсовой нити (рельсы Р65) при отсутствии вертикальной нагрузки, кН/мм	
	под рельсом	под под- кладкой	C_z^r	C_z^n
Железобетонные шпалы				
КБ	5	7	17—23	37—58
ЖБ	7	—	8—12	25—40
ЖБР	13	—	6—10	—
БП	8	8	14—18	—
БП	13	8	11—15	—
Деревянные шпалы	—	—	16—22	32—48

Таблица 3.7

P , кН	Боковое отжатие подошвы рельса, мм, при действии горизонтальной силы, приложенной к головке рельса, кН			
	20	40	60	80
0	0,62	0,96	1,26	1,50
40	0,50	0,80	1,02	1,22
80	0,36	0,56	0,72	0,86

Сопротивляемость рельсовой нити поперек колеи зависит от вертикальной силы P , в данный момент приложенной к головке рельса. В порядке иллюстрации в табл. 3.7 приводятся значения бокового отжатия рельса при различной вертикальной нагрузке для пути с железобетонными шпалами, рельсами Р65, креплениями КБ.

Соответственно возрастает модуль упругости подрельсового основания u_z в поперечном горизонтальном направлении. На основании экспериментов ВНИИЖТа для летних условий величины u_z можно принимать следующими: $P = 0$, $u_z = 800$ кПа; $P = 40$ кН, $u_z = 1200$ кПа; $P = 80$ кН, $u_z = 1350$ кПа.

Продольная горизонтальная жесткость узла крепления C_x , Н/мм, определяется выражением

$$C_x = C_x^0 + AQ, \quad (3.5)$$

где C_x^0 — продольная горизонтальная жесткость при $Q = 0$; A — коэффициент, зависящий от материала и размеров подкладок; Q — вертикальное давление рельса, Н.

Значения параметров C_x^0 и A для крепления КБ в зависимости от толщины прокладок приводятся в табл. 3.8.

Таблица 3.8

Толщина прокладок, мм		C_x^0 , Н/мм	A , мм ⁻¹
под рельсом	под подкладками		
5 (фанера)	6	12700	0,29
6	7	11300	0,17
12	7	7200	0,14
12	12	5100	0,12

Приведенные выше параметры характеризуют жесткость промежуточных креплений и упругость различных конструкций пути. При этом условно предполагается, что путь на всем протяжении будет равноупругим. В действительности, как показывают результаты многочисленных экспериментов, рельсовый путь — конструкция неравноупругая и различные сечения ее имеют разные величины u , u_z , u_x , что объясняется неодинаковой степенью износа элементов промежуточных креплений и шпал, различной затяжкой клеммных болтов, неравноупругостью подшпального основания.

Степень неравноупругости пути в вертикальной плоскости оценивается "силовыми" уклонами i^c , характеризующими фактический продольный микропрофиль, образующийся при медленном движении нагруженного колеса вдоль рельсового пути. Чем больше абсолютные значения разности смежных уклонов, тем значительнее динамическое воздействие колес. Установлено, что чем меньше среднее значение модуля u , тем, в общем случае, больше неравноупругость (рис. 3.23). При мощных рельсах и одинаковых параметрах основания силовые уклоны меньше.

Одним из основных элементов промежуточных креплений бесстыкового пути на деревянных шпалах являются пружинные противоугоны. Их роль была описана выше. При всем многообразии их конструкции по схемам формирования заземляющего усилия на подошве рельса пружинные противоугоны могут быть классифицированы на пять типов (табл. 3.9). Как усматривается из схем, приведенных в табл. 3.9, заземляющее усилие подошвы рельса складывается из двух составляющих: сил трения, возникающих от первоначально зажима подошвы мощной пружиной, и добавочного сопротивления противоугонов сдвигу за счет его поворота на подошве рельса.

Расчеты и опыт эксплуатации показывают, что суммарная величина заземляющего усилия одного пружинного противоугона при его работе в пути, с учетом динамического воздействия подвижного состава, не должна быть к концу срока его эксплуатации в пути менее 8—10 кН.

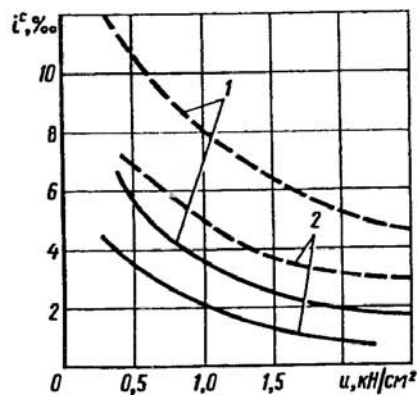


Рис. 3.23 Зависимость силовых уклонов от модуля упругости u подрельсового основания
1 — рельсы Р50, 2 — рельсы Р65,
штриховая линия — максимальные уклоны,
сплошная линия — средние уклоны

Типы пружинных противоугонов	Источник первичной связи пружинного противоугона с подошвой рельса	Схема начального заземления подошвы рельса (до нажима скобы на упор)	Механизм образования добавочных сил после нажима на упор
I	Силы трения от действия (в основном) вертикальных сил P_1 сверху подошвы и P по всей поверхности низа подошвы. Влияние горизонтальных сил $A_1 = A$ незначительно		Упор в металлическую подкладку. Поворота и добавочных сил практически нет
II	Силы трения от сжатия ребер подошвы рельса горизонтальными поперечными силами A		В противоугонах типов II, III и IV вследствие поворота противоугонов вокруг горизонтальной оси возникают добавочные силы трения F
III	Силы трения в основном от действия вертикальных сил $P_1 = P_2 + P_3$ и в значительно меньшей степени от горизонтальных сил $A_1 = A$		
IV	Схема действия сил такая же, как и в противоугонах типа III, но сила P_3 больше. За счет значительного свеса скобы после ее нажима на шпалу возникают большие (чем в противоугонах типа III) добавочные силы		
V	Силы трения от действия вертикальных сил $P_1 = P_2 + P_3$, а также от горизонтальных сил $A_2 + A_1$. Из-за внецентренного свеса скобы после ее нажима на шпалу возникает двойной поворот противоугона		Добавочные силы трения возникают от двойного поворота противоугона: по аналогии с типами II—IV и вследствие поворота вокруг вертикальной оси

3.3. ПОДРЕЛЬСОВЫЕ ОСНОВАНИЯ

Для бесстыкового пути применяют деревянные и железобетонные шпалы, железобетонные рамы, а также железобетонные основания в виде сплошного монолита или отдельных плит.

Деревянные шпалы, в основном изготовленные из твердых пород (дуб, бук, экзотические породы и др.), применяются с костыльным креплением (США, Канада, Австралия и др.), а также на отдельных линиях Западной Европы — с шурупным. Эпюры укладки деревянных и железобетонных шпал практически совпадают и колеблются от 1600 до 2000 шт./км (табл. 3.10).

На скоростных линиях практически всегда применяют железобетонные шпалы, при использовании которых образуется более устойчивое подрельсовое основание и "спокойный" силовой микропрофиль рельсовой колес.

Железобетонные шпалы делятся на монолитные из предварительно напряженного бетона, образующие непрерывный брус длиной 260—270 см, и двухблочные, состоящие из двух самостоятельных подрельсовых опор, соединенных между собой стержнями (рис. 3.24 и 3.25). Масса стандартной шпалы дорог России 265 кг (рис. 3.26). На дорогах Германии все шире находят применение шпалы повышенной массы до 350—400 кг, использование которых позволяет повысить устойчивость подрельсового основания даже в случае укладки 1600 шт./км, а не 1840—2000 шт./км, как принято на дорогах России.

Таблица 3.10

Страна	Ширина колес, мм	Длина шпалы, см	Число шпал на 1 км пути
Россия	1520	275	1600—2000
США	1435	270	1860—2170
Страны Западной Европы ¹	1435	260	1360—1720
Япония	1067	210	1480—1920
	1435	200	1720

¹ На дорогах Германии для участков бесстыкового пути с рельсами UIC60 применяют железобетонные шпалы трех типов В70 — длина 2,6 м, масса 304 кг, расстояние между осями 600 мм; В90 — длина 2,6 м, масса 332 кг, расстояние между осями 600 мм; В75 — длина 2,8 м, масса 380 кг, расстояние между осями 650 мм

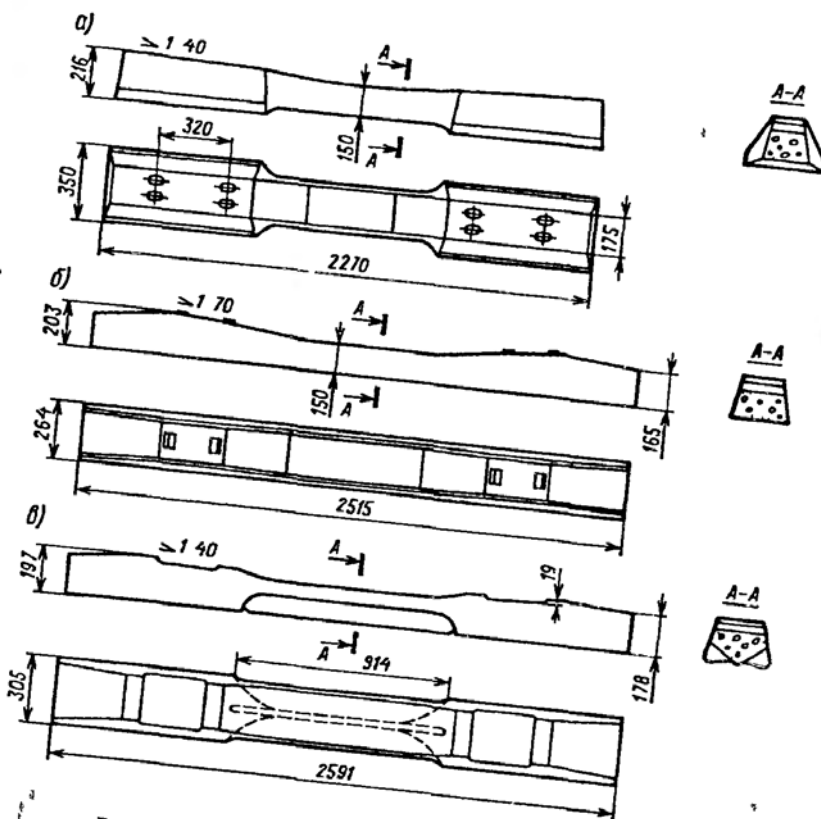


Рис 3.24 Железобетонные шпалы зарубежных дорог
а — BS 66 (Германия) б — 23А (Англия) в — MR 2 (США)

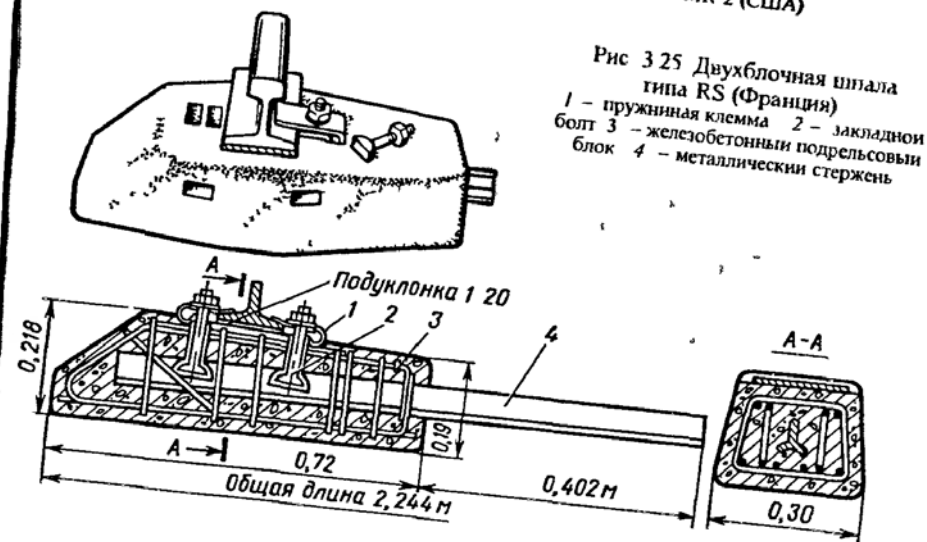


Рис 3.25 Двухблочная шпала типа RS (Франция)
1 — пружинная клемма 2 — закладной болт 3 — железобетонный подрельсовый блок 4 — металлический стержень

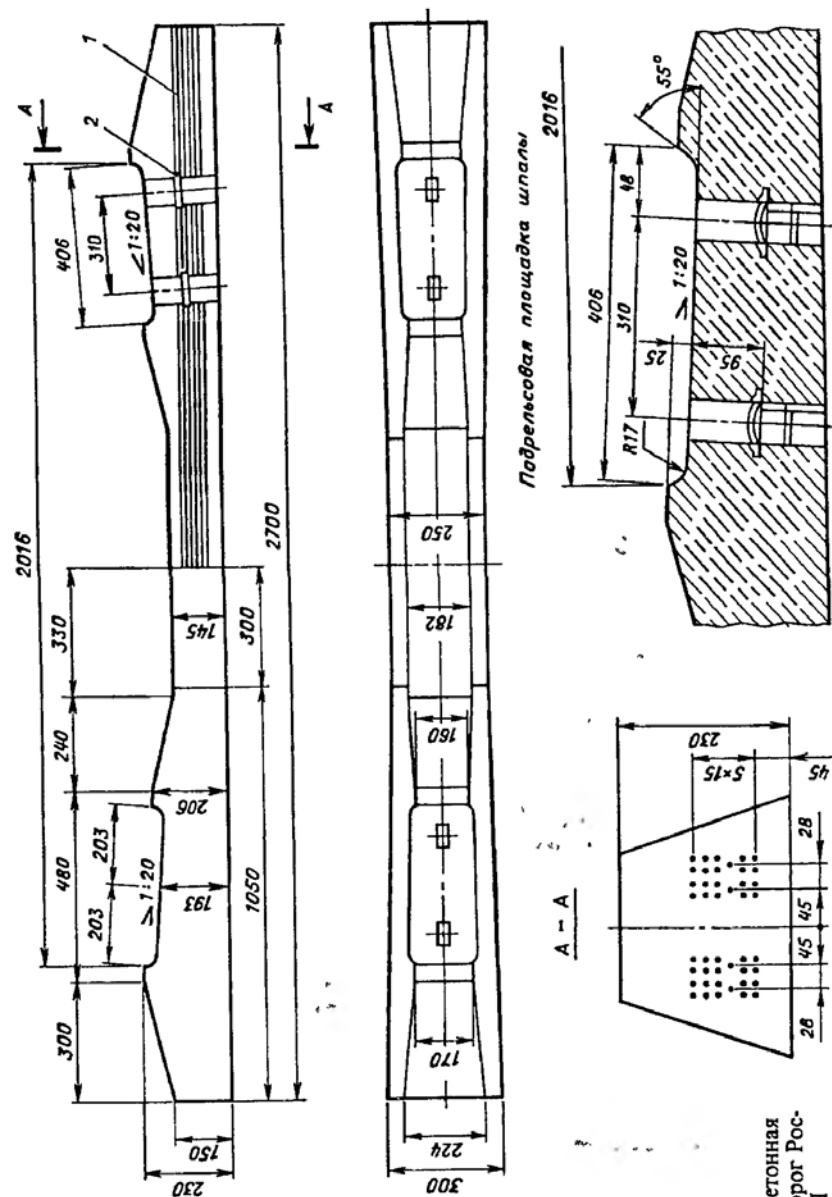


Рис. 3.26. Железобетонная шпала железных дорог России типа III

В России железобетонные шпалы изготавливаются из бетона марки не ниже М500 (для шпал высшего качества — М600); арматура — стальная проволока периодического профиля диаметром 3 мм с предварительным напряжением. Такие шпалы выпускаются для колеи шириной 1520 мм, унифицированной для прямых участков и кривых радиусом не менее 300 м.

Как известно, при проходе подвижного состава в подрельсовых частях шпалы возникают изгибающие моменты положительного знака (растянута нижняя половина шпалы), а в средней части шпалы, как правило, момент отрицательного знака (растянута верхняя половина шпалы). Если концы шпалы отрясены (а в процессе эксплуатации всегда есть такая тенденция) и шпала начинает опираться на балласт преимущественно средней частью, то отрицательный изгибающий момент в этой части может достигнуть очень большого значения и привести к появлению трещин или излому шпалы. Именно это было в свое время главной причиной неудач со шпалами из ненапряженного железобетона и, в частности, вызвало появление шпал комбинированного типа с металлической средней частью (двухблочные шпалы). В современных предварительно напряженных шпалах трещиностойкость средней части при действии отрицательного момента значительно увеличена, но все же остается слабым местом в случае неправильного опирания шпалы. Принимаются все меры для снижения этого момента, в том числе путем уменьшения размеров среднего сечения шпалы, придания в этом месте клиновидного очертания и др. Кроме того, при такой форме шпалы удастся наиболее рационально расположить напряженную арматуру. На подрельсовых площадках устраивают углубления, как правило, за счет выступа с внешней стороны шпалы, обеспечивающие хорошее восприятие поперечных горизонтальных сил. Такое решение облегчает работу рельсовых креплений и обеспечивает большую стабильность колеи.

В качестве напряженной арматуры в современных железобетонных шпалах применяют:

высокопрочную проволоку диаметром от 2,5 до 6 мм, как правило, периодического профиля. Этот вид арматуры принят в России, в странах ближнего зарубежья, Европы, Англии, Японии и др.;

стержни из гладкой или ребристой высокопрочной стали, в большинстве случаев не требующей специальной анкеровки. Этот вид арматуры принят в Германии и частично в Японии.

В некоторых странах относительно в небольших количествах применяют прядевую арматуру, однако ее заанкеривание не всегда надежно.

Для возможного соединения шпалы с промежуточным скреплением применяют два решения:

первое — в верхней подрельсовой части устраивают углубление, на дне которого помещается металлическая опорная шайба. При сборке рельсошпальной решетки в отверстие вставляется закладной болт;

второе — с помощью металлического анкера, монолитно укрепленного внутри шпалы и выступающего на верхней поверхности шпалы. Наличие такой конструкции позволяет обойтись без болтов, соединяя железобетонную шпалу с рельсом посредством пружинной скобы (например, типа Пендрол) или более развитой конструкции промежуточного (но тоже безболтового) рельсового скрепления, позволяющего регулировать положение рельсовой нити по высоте и ширине колеи (типа АРС и ВНИИЖТ-2А).

Заслуживает специального рассмотрения конструкция пути с железобетонными шпалами, покрытыми в основании и по боковым поверхностям резиной. Проведенными в России, Японии и других странах исследованиями установлено, что за счет введения между бетоном и щебнем амортизирующего элемента на 30—40 % повышается упругость подрельсового основания, на $1/2$ — $1/6$ снижается уровень виброускорений балластной призмы и, как следствие, в 1,5—2,0 раза уменьшается накопление остаточных деформаций.

Однако покрытие рабочей части железобетонных шпал резиной существенно удорожает конструкцию. Также приходится считаться с достаточно быстрым износом упругого слоя. Поэтому продолжают исследования с целью удешевления конструкции и совершенствования технологии ее изготовления.

Железнодорожный путь современной типовой конструкции на железобетонных или деревянных шпалах обеспечивает достаточно надежную его эксплуатацию при скоростях до 250—300 км/ч, а также на линиях с высокой грузонапряженностью. Однако этой конструкции пути при сложных эксплуатационных условиях присущи и существенные недостатки в том числе: непрерывное и достаточно быстрое накопление остаточных деформаций; возникновение этих деформаций неравномерно вдоль пути; необходимость значительных расходов рабочей силы на содержание и ремонты пути.

На участках кривых малых радиусов ($R \leq 350$ —400 м) при годовых температурных амплитудах $T_A \geq 105 \div 110$ °С бесстыковой путь на железобетонных шпалах без сезонных разрядок не может быть рекомендован для его применения на магистральных линиях. В летнее время при температурах близких к $t_{\max \max}$ возможно нарушение его устойчивости; если закрепить рельсовые плети при высокой температуре близкой к $t_{\max \max}$, то зимой при $t_{\min \min}$ в случае разрыва рельса образуется зазор 60—80 мм и более, что недопустимо по условиям обеспечения безопасности движения поездов.

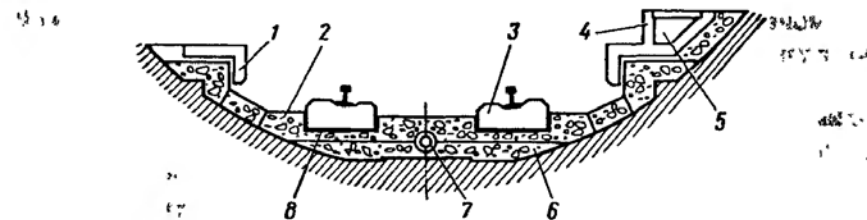


Рис. 3.27. Путь в тоннеле под проливом Ла-Манш:
1 — одноярусная пешеходная дорожка; 2 — несущая бетонная плита для подрельсовых блоков;
3 — железобетонный подрельсовый блок; 4 — двухъярусная пешеходная дорожка; 5 — канал;
6 — бетонное основание; 7 — дренажная груба; 8 — резиновая оболочка

В случае применения рамного или плитного основания и сопротивляемость смещению пути в горизонтальной и вертикальной плоскостях резко повышается. Это позволяет соответственно увеличить величину расчетной критической продольной силы, при превышении которой может иметь место нарушение устойчивости пути и, соответственно, увеличить значение наибольшей максимальной температурной амплитуды, при которой возможно применение бесстыкового пути.

Однако, как показал опыт эксплуатации, применение плитного основания наиболее целесообразно на искусственных сооружениях (мостах, тоннелях, эстакадах), где практически не имеет место накопление остаточных деформаций (рис. 3.27).

При укладке железобетонных плит на щебеночную балластную призму остаточные деформации уменьшаются в 3—4 раза по сравнению с железобетонными шпалами. Однако работы по выправке (после образования просадок, особенно в зоне стыков плит) увеличиваются настолько, что с учетом повышенных расходов при изготовлении и укладке плит такая конструкция на податливом основании, как правило, оказывается экономически нецелесообразной.

Особое место среди железобетонных конструкций подрельсового основания занимает малогабаритная рама МГР длиной около 2,5 м (рис. 3.28). Опыт эксплуатационной проверки этой конструкции показывает, что за счет более рационального распределения бетона, чем у шпалы, у МГР существенно увеличивается площадь опирания и соответственно уменьшается интенсивность накопления остаточных деформаций бесстыкового пути (табл. 3.11).

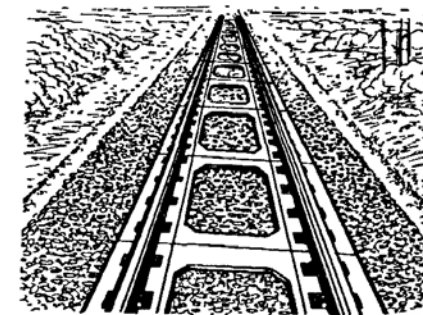


Рис. 3.28. Путь на блочном основании в виде малогабаритных рам (Россия)

Таблица 3.11

Наименование изделия	Габаритные размеры, м			Опорная площадь на 1 м длины пути, м ²	Расходы бетона на 1 м длины пути, м ³	Средняя интенсивность накопления остаточных деформаций, мм/млн. т брутто
	Длина	Ширина	Высота			
Малогабаритная рама	2,48	2,27	0,21	1,23	0,23	0,02—0,04
Железобетонная шпала (средняя)	2,70	0,275	0,193	0,40	0,19	0,06—0,12

Как видно из данных табл. 3.11, расход бетона и отсюда погонная масса этих рам близки к тому, что имеет место при железобетонных шпалах, что позволяет использовать при работе с ними типовые путе-подъемники и путеукладчики.

Рельсы опираются на верхнюю поверхность МГР в четырех местах (по каждой нитке). Как показал опыт эксплуатации, при типовых промежуточных скреплениях МГР можно применять на прямых участках пути и кривых радиусами 600 м и более. При $R < 600$ м необходимо применять промежуточные скрепления, позволяющие регулировать положение рельсовой нити поперек колеи. Выправка пути, в том числе уплотнение щебня под рамой на участках МГР, возможна с применением ВПО-3000 или других аналогичных машин, объемно сжимающих балласт поперек колеи, а также с использованием электрошпалоподбоек и других средств механизации.

По мнению ряда специалистов ВНИИЖТа и МИИТа применение МГР на 30—50 % увеличивает устойчивость бесстыкового пути и, соответственно, значения критической продольной силы сжатия рельсовой нити, при которой происходит выброс пути. Целесообразно при наличии промежуточных рельсовых скреплений, позволяющих регулировать ширину колеи, провести эксплуатационные испытания этой конструкции в кривых радиусами 300—400 м и запроектировать бесстыковую путь этой конструкции на перевальных участках при годовых температурных амплитудах $T_A = 105 \div 120$ °С.

3.4. БАЛЛАСТНЫЙ СЛОЙ

При воздействии динамической поездной нагрузки как в бесстыковом, так и в звеньевом пути, балластный слой должен обеспечивать горизонтальную и вертикальную устойчивости рельсошпальной решетки, повышенную устойчивость пути против продольных смещений

решетки под действием статических температурных сил, равномерно распределять давление от шпал на возможно большую площадь основной площадки земляного полотна.

На железных дорогах России применяются щебеночный и асбестовый балласты, которые удерживают рельсошпальную решетку от искривления под действием продольных сжимающих температурных сил, а также противодействуют продольным смещениям шпал, находящимся в зоне активной работы рельсовых плетей.

Щебеночный балласт изготавливается из скальных пород (валунов и гравия). Согласно ГОСТ 7392 щебень подразделяют на фракции, зерна которых соответствуют размерам, приведенным в табл. 3.12.

Щебень нормальной фракции от 25 до 60 мм предназначается для балластировки главных путей. На станционных, подъездных путях, а также на главных малодействительных линиях, не подвергающихся засорению сыпучими грузами, разрешается укладывать бесстыковую путь на мелкозернистом щебне фракции 5—25 мм.

В щебне фракции от 25 до 60 мм не должно быть глины в комках, почвы растительного слоя и других органических примесей. В щебне фракции от 5 до 25 мм содержание глины в комках допускается не более 0,25 % по массе в общем количестве частиц не менее 0,16 мм.

Прочность щебня является одним из его основных качественных показателей; от нее зависит износ щебня и устойчивость пути. Прочность щебня характеризуется его истираемостью при испытании в полочном барабане и сопротивлением удару при испытании на копре ПМ. Для балластного слоя железнодорожного пути должен применяться щебень марок не ниже И40 или У50.

Смесь песчано-щебеночная, известная как *асбестовый балласт*, представляет собой дробленые серпентиниты мелких фракций, содержащие некоторое количество других минералов и свободных несортовых волокон асбеста. Смесь является отходом асбестовых обогатительных

Таблица 3.12

Фракция щебня		Количество зерен			
Название	Размер зерен, мм	крупнее верхнего номинального размера		мельче нижнего номинального размера, % по массе, не более	
		Размеры, мм	% по массе, не более	Всего	В том числе частиц размером менее 0,16 мм
Нормальная	От 25 до 60	От 60 до 70	5	5	1,5
		Свыше 70	0	—	—
Мелкая	От 5 до 25	От 25 до 40	10	5	2
		Свыше 40	0	—	—

Таблица 3.13

Размер ячеек сит, мм	Полный остаток на сите, % по массе
25	До 20
10	До 60
5	От 3 до 75
0,5	От 40 до 95

фабрик, на которых дробят асбестонесущую породу серпентинит (змеевик) при добыче сортового асбеста. Зерновой состав смеси (по ТУ 32 ЦП-782-92) находится в пределах, указанных в табл. 3.13.

Смесь не должна содержать кусков глины, почвы и других загрязняющих примесей. Благодаря наличию свободных волокон асбеста (1,0—1,3 % по массе) между зёрнами змеевика смесь образует связную систему, обладающую большой несущей способностью. После увлажнения и уплотнения в песчано-щебеночной смеси (асбестовом балласте) возникают прочные структурные связи между его частицами, образуя корку, которая защищает балластную призму от засорения и проникновения воды как в саму балластную призму, так и на основную площадку земляного полотна. Прочность зёрен пород в смеси определяется их истираемостью при испытании в полочном барабане. Потеря массы при испытании зёрен пород размером 5—10 мм должна быть не более 30 % первоначальной массы.

Смесь песчано-щебеночная из отсевов дробления серпентинитов (асбестовый балласт) применяется для балластировки главных и станционных путей.

Гравийный балласт применяется на приемоотправочных и прочих станционных путях, а также в качестве подушки под щебеночный и асбестовый балласты.

Гравийно-песчаный балласт применяется на малонагруженных станционных, подъездных и соединительных путях, а также в качестве подушки под все виды балласта.

Зерновой состав гравийного и гравийно-песчаного балласта должен соответствовать требованиям ГОСТ 7394, указанным в табл. 3.14.

Содержание кварцевых зёрен и зёрен прочных изверженных и метаморфических горных пород в песчаной части балласта (фракции размером менее 5 мм) должно составлять не менее 50 % массы зёрен размером от 0,16 до 5 мм. Зёрен слабых горных пород допускается не более 10 % от массы зёрен размером более 5 мм. К зёрнам слабых горных пород относят зёрна с пределом прочности при сжатии в насыщенном водой состоянии менее 20 МПа.

За рубежом основным балластным материалом является щебень, крупность зёрен которого принята от 25 до 60 мм, в том числе: в США — 25—50 мм; Англии — 25—51 мм; Франции — 25—55 мм; в

Германии — 25—65 мм. Ниже слоя щебня находится подбалласт, представляющий собой обычно либо мелкий щебень, либо песчано-гравийную смесь толщиной 15—30 см, в зависимости от способа укрепления основной площадки земляного полотна. Подбалласт покрывает всю поверхность земляного полотна и в ряде случаев в литературе он рассматривается как верхняя часть основной площадки земляного полотна.

На рис. 3.29 представлены типовые поперечные профили балластной призмы российских железных дорог, а в табл. 3.15 приводятся основные размеры балластной призмы для российских и зарубежных железных дорог.

Состояние верхнего строения железнодорожного пути во многом определяется стабильностью балластного слоя. От устойчивости балластного слоя зависит работа всех элементов пути и в значительной степени трудовые и материальные расходы на его содержание. Под воздействием динамической поездной нагрузки в балластном слое накапливаются неравномерные остаточные деформации, приводящие к сокращению межремонтных сроков. На участках с недостаточной несущей способностью грунтов верхней части земляного полотна к осадкам балластного слоя добавляются деформации грунта земляного полотна, что приводит к повышению расходов на текущее содержание пути.

Величина остаточных деформаций балластного слоя, их неравномерность и интенсивность накопления являются следствием постоянного уплотнения балласта за счет переупаковки частиц под воздействием вибродинамической поездной нагрузки; окола острых граней зёрен щебня в местах контакта друг с другом; различного сочетания нагрузок, передаваемых на балластный слой от подвижного состава

Таблица 3.14

Размер ячеек сит, мм	Полиые остатки на ситах, % по массе, в балласте	
	гравийном	гравийно-песчаном
100	0	0
60	До 10	0
25	—	До 20
5	От 40 до 80	" 50
0,63	" 70 " 100	От 35 до 100
0,16	" 90 " 100	" 85 " 100
Проход через сито 0,16 мм, %:		
Всего	До 10	До 15
В том числе пылевидных и глинистых частиц	До 2	До 3

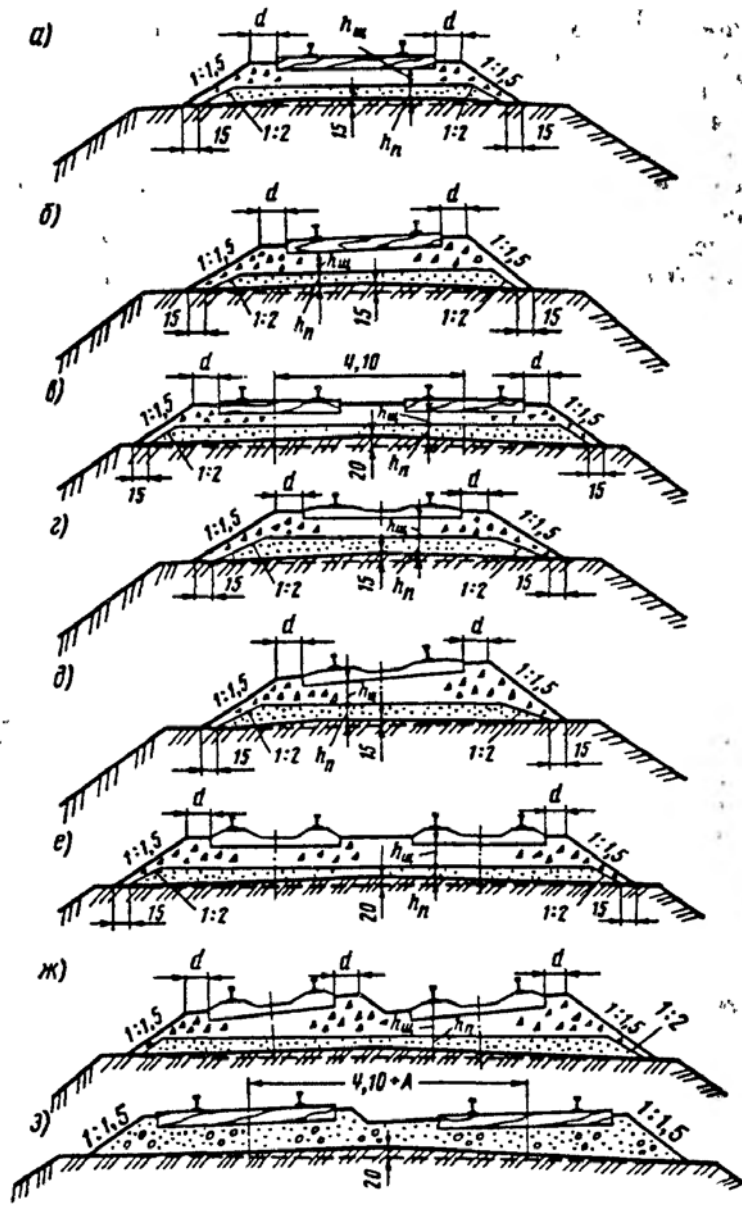


Рис. 3.29. Поперечные профили балластной призмы российских дорог: а, б, в — из щебня при деревянных шпалах (а — на прямом однопутном участке; б — в кривой; в — на прямом двухпутном участке); г, д, е, ж — из щебня при железобетонных шпалах (г — на прямом однопутном участке; д — в кривой; е — на прямом двухпутном участке; ж — в кривой двухпутного участка); з — из карьерного гравия, ракушки, песка при деревянных шпалах в кривой двухпутного участка; h_m — толщина щебеночного балластного слоя под шпалой; h_n — толщина песчаной подушки; d — плечо балластной призмы; A — уширение междупутья в кривой

Таблица 3.15

Страна	Размеры балластной призмы (условные обозначения. ЖБШ — железобетонные шпалы; ДШ — деревянные, МШ — металлические)		Крутизна откосов	Уровень обочины относительно головки рельса, см	Ширина обочины, см	Ширина основной площадки, м (числитель — однопутные линии, знаменатель — двухпутные) в зависимости от категории или класса линии (I, II, III, IV)
	Размеры земляного полотна					
	Толщина балласта под шпалой, см	Ширина плеча за торцами шпал, см				
Россия	щебня	подушки	25 35 45 ДШ — 35, ЖБШ — 40—45	нормируется	50—60 50—60 50—60 —	6,5/10,6 7,0/11,1 7,5/11,6 —
		щебня					25*^{1} 30*^{1} 35*^{1} 30
Чехословакия	30	Только при слабых грунтах земляного полотна	35 (90* ³); бесстыковой путь — 45	—	50—80	6/10
Болгария Югославия	30 (до 55 при слабых грунтах земляного полотна)	Как правило, не устраивается	ДШ — 35* ⁴ ; ЖБШ — 45—50	—	53 —	5,6 I — 5,7/9,7 II — 5,4/9,4 III — 4,5
Польша	25—30	15—20 в зависимости от грунтов земляного полотна	30; бесстыковой путь — 50	60	70	

Страна	Размеры балластной призмы (условные обозначения*				Крутизна откосов	Уровень обочины относительно головки рельса, см	Ширина обочины, см	Ширина основной площадки, м (числитель — однопутные линии, знаменатель — двухпутные) в зависимости от категории или класса линии (I, II, III, IV)
	ЖБЩ — железобетонные шпалы, ДЩ — деревянные, МЩ — металлические)		Ширина плеча за торцами шпал, см	Крутизна откосов				
	ЖБЩ — железобетонные шпалы, ДЩ — деревянные, МЩ — металлические)	ЖБЩ — железобетонные шпалы, ДЩ — деревянные, МЩ — металлические)						
Германия	ЖБЩ — железобетонные шпалы, ДЩ — деревянные, МЩ — металлические)	ЖБЩ — железобетонные шпалы, ДЩ — деревянные, МЩ — металлические)	35 ^{*4}	100 ^{*3}	1:1,25	85—94	60	6/10
	Толщина балласта под шпалой, см	подушки	15—45 в зависимости от грунтов земляного полотна	бесстыковой путь — 45	1:1,25	85—94	Однопутные линии: ДЩ — 68; МЩ — 81; ЖБЩ — 72—78; Двухпутные линии: ДЩ — 58; МЩ — 71; ЖБЩ — 63—68	
Италия	35	—	—	100 ^{*3}	1:1,5	—	60	—9,84
Япония	ДЩ — 20—30, ЖБЩ — 25—30	20—30 в зависимости от грунтов земляного полотна	—	50	1:1,6; на скоростных линиях 1:1,8	65	50—120	Зависит от высоты насыпи. I — 5,2/9,4—6,1/10,3; II — 5/9,2—5,9/10,1; III — 4,8/9—5,7/9,9 IV — 4,5/5,5

Австрия	ДЩ — 30, МЩ — 40, ЖБЩ — 40	Только при слабых грунтах земляного полотна	—	ДЩ — 90 ^{*3,4} , МЩ — 80 ^{*3} , ЖБЩ — 80 ^{*3}	1:1,25	—	65—75	—
США	76—66	0	—	15 ^{*5}	При щебне 1:2,0,	—	56—79	7,92/11,88
	66—51	0	—	15 ^{*5}	при гравии 1:2,5	—	48—81	7,32/11,28
	51—36	0	—	15 ^{*5}	—	—	50—84	6,70/10,66
	36—15	0	—	15 ^{*5}	—	—	53—99	6,10/10,06
	41—31	36—31	—	15 ^{*5}	—	—	0	7,32/11,28
Англия	31—25	31—20	—	15 ^{*5}	—	—	0	6,70/10,66
	25—15	20—15	—	15 ^{*5}	—	—	0	6,10/10,06
	25—30	20—25	—	ДЩ — 30 ^{*4} , ЖБЩ — 35	1:1,5	61	60—64	5,74/9,14
Франция	15—20	20—15	—	ДЩ — 38 ^{*4} , ЖБЩ — 30	1:1,5 (при наличии дорожки на обочине земляного полотна)	50 30—35	0	Насыпь — 6,54/10,34, Выемка — 6,36/10,04
Бельгия	30	—	—	ДЩ — 82 ^{*3} , ЖБЩ — 67 ^{*4} , при бесстыковом пути, ДЩ 97 ^{*3} , ЖБЩ — 82 ^{*3}	—	72	60—80	—

Страна	Размеры балластной призмы (условные обозначения ЖБШ — железобетонные шпалы, ДШ — деревянные, МШ — металлические)		Размеры земляного полотна			
	Толщина балласта под шпалой, см		Круглина откосов	Уровень обочины относительно головки рельса, см	Ширина обочины, см	Ширина основной площадки, м (числитель — однопутные линии, знаменатель — двухпутные) в зависимости от категории или класса линии (I, II, III, IV)
	шебня	подушки				
Швейцария	25; МШ — 30	Разная в зависимости от грунтов земляного полотна	1:1,5	65	65	5,62
Швеция	30—40	Применяется при слабых грунтах земляного полотна	1:1,25 (1:1,5)	77,5	40—50; в отдельных случаях 25	I — 5,6 II — 5 III — 4,6
Португалия	20—30	—	—	—	Переменная	—
Турция	45	—	—	60	50	—
Дания	30	10	—	55	82—95	—
Греция	22; МШ — 35—40	—	—	60	60—65	—
Испания	30	—	—	80—82	40	—

Индия	20—25	30 при слабых грунтах земляного полотна	1:1 1:1,5	47	91,5 104,1	6,10
Марокко	МШ — 20	10—20	—	60	50—70	—
Алжир	20; МШ — 25—30	15	—	65	70	—
Голландия	20	25—50 в зависимости от грунтов земляного полотна	—	40—60	65—100	8,3/12,3

¹ Толщина слоя щебня при грузонапряженности до 25 млн. т-км брутто/км в год принята 25 см; от 25 до 50 млн. т-км брутто/км в год — 30 см и более 50 млн. т-км брутто/км в год — 35 см. При железобетонных шпалах толщина слоя щебня увеличивается на 5 см.

² При земляном полотне из скальных, крупнообломочных грунтов и средне- и крупнозернистых песков подушка не делается.

³ Размер плеча отмеряется от головки рельса.

⁴ При бесстыковом пути с деревянными шпалами из плечей призмы делют присыпку балласта толщиной от 7 до 15 см.

⁵ При бесстыковом пути плечо укоряется.

как поперек, так и вдоль пути; различного опирания на балласт смежных шпал и каждой шпалы в разных ее сечениях; выдавливания частиц балласта в шпальные ящики, что имеет место при резком повышении удельного давления на ребре шпалы при ее повороте в момент прохода колесных нагрузок; общего неравномерного понижения балластной призмы за счет деформаций земляного полотна.

Работу традиционной балластной призмы можно разделить на три периода.

В первый начальный период работы балластного слоя после его устройства (*период относительной стабилизации*) происходит наиболее интенсивное накопление остаточных осадок пути. При этом основная доля осадок вызвана уменьшением объема пустот в связи с переупаковкой зерен и околос острых граней.

Для того чтобы уменьшить остаточные деформации, необходимо обеспечить наибольшее уплотнение балласта при укладке его в путь с применением машин виброуплотнительного действия. Установлено, что начальная плотность или максимальная пустотность щебня в насыпном состоянии составляет $n_n = 0,45 \pm 0,50$; бытовая, обычно имеющая место в эксплуатации $n_6 = 0,36 \pm 0,40$; предельная плотность, или минимальная пустотность щебня, которая должна быть достигнута в результате уплотнения щебня, составляет $n_n = 0,33 \pm 0,34$.

Средние контактные напряжения при щебне фракции 25—60 мм в верхних слоях балластной призмы составляют до 1500 МПа, в нижних слоях — до 700 МПа. Из-за неравномерности опирания шпал на щебеночный балласт и при поворотах шпал фактические контактные напряжения возрастают в 4—6 раз и более. Это ускоряет процесс окола зерен щебня в местах их контактов и приводит к неравномерным остаточным деформациям. По мере увеличения площади контакта и уменьшения пустот увеличиваются силы трения между зернами щебня, обеспечивая более равномерное распределение вертикальной нагрузки. В связи с этим интенсивность дальнейшего накопления остаточных деформаций значительно уменьшается.

Через балластный слой передается давление от шпал на основную площадку земляного полотна. Чтобы обеспечить достаточно равномерное распределение давления на ее поверхность, необходимо иметь определенную толщину балластного слоя, при которой напряжения на основной площадке земляного полотна не выходили бы за пределы допускаемых значений. Экспериментами и теоретическими исследованиями было установлено, что в случаях применения рельсов массой 60—65 кг/м выравнивание напряжений на основной площадке земляного полотна происходит при толщине балласта 55—60 см с эпюрой шпал 2000 шт./км и 65—70 см с эпюрой шпал 1840 шт./км.

После окола зерен интенсивность накопления остаточных деформаций значительно уменьшается — наступает второй период работы балластного слоя — *период нормальной эксплуатации*. Деформации

далее происходят в основном за счет выпирания щебня в шпальные ящики и за торцы шпал, частично за счет вдавливания зерен щебня в песчаную подушку.

После пропуска определенного тоннажа, когда балластный слой сильно загрязнен, наступает *третий период* работы балластного слоя, характеризующийся вновь возрастающей интенсивностью неравномерных остаточных осадков. Повышенные осадки происходят в основном за счет значительного выпирания загрязненного балласта из-под шпал (или других рельсовых опор), их отрясения, а также из-за выплесков.

При движении поезда в элементах верхнего строения пути, в том числе в балластном слое, возбуждаются вибрации различной интенсивности, отрицательное влияние которых заключается в возрастании силового воздействия на балласт и снижении его устойчивости вследствие увеличивающейся подвижности зерен. Увеличение сил, направленных вниз, способствует расклинивающему действию щебенки и повышению активности давления под подошвой шпалы. Засорители разведывают зерна, что с увеличением давления на балласт (в том числе и при повороте шпал) приводит к выдавливанию щебня в шпальные ящики. Динамические силы, направленные вниз, способствуют также проникновению частиц щебня в песчаную подушку.

Вертикальные ускорения, направленные вверх, уменьшают силы трения за счет нажатия частиц щебня друг на друга. Поэтому при отсутствии других видов связи между зернами требуется меньшее усилие для их перемещения, чем при отсутствии вибрации.

Горизонтальные динамические силы, вызывающие соответствующие горизонтальные ускорения, подобным же образом облегчают условия перемещения частиц в вертикальном направлении под действием вертикальных сил.

3.5. "ОМОНОЛИЧИВАНИЕ" БАЛЛАСТНОЙ ПРИЗМЫ

Рассмотренные в предыдущем пункте виды "вибрационного перемещения" зерен в балластном слое вызывают ускоренный процесс накопления остаточных деформаций пути, а также щебня. Интенсивность накопления остаточных деформаций в балластном слое (условия внешнего воздействия на железнодорожный путь неизменны) снижается за счет увеличения сил зацепления между зернами щебня путем создания механических связей, образованных в результате нанесения связующего материала ("омоноличивание").

В качестве связующих материалов для "омоноличивания" щебня могут применяться вяжущие:

густой консистенции — битум, битумные эмульсии, нефтебитумные породы (киры), сочетания битумных вяжущих с различными минеральными добавками, в том числе серийно выпускаемая резино-битумная мастика "Изол", асфальтобетон;

жидкой консистенции — дивинилстирольный латекс СКС-65ГП, представляющий собой водную дисперсию каучука, стабилизированную специальными эмульгаторами.

В результате обработки щебня связующими материалами могут иметь место два вида контакта зерен щебня в балластной призме: "омоноличивание" с заполнением всех пустот в щебеночной призме; "омоноличивание" с образованием упруго-склеивающей зоны только в местах контактов зерен щебня.

При применении высоковязкого материала (битума, асфальта и др.), в результате механического перемешивания его со щебнем происходит обволакивание зерен щебня вязущим и полное заполнение пустот между его частицами (рис. 3.30, а). Это препятствует перемещению искусственно скрепленных частиц относительно друг друга, уменьшает накопление остаточных деформаций и износ щебня, повышает упругость балластной призмы.

При обработке балластной призмы связующим жидкой консистенции (латекс) путем полива образуются эластичные полимерные связки только в местах контактов зерен щебня, которые также препятствуют перемещению частиц относительно друг друга, околу и износу в местах их контактов, а после снятия нагрузки позволяют частицам щебня возвращаться в исходное положение (рис. 3.30, б).

При "омоноличенном" щебне исключается третий период работы балластного слоя, имеющий место у традиционной конструкции.

Первый период — период относительной стабилизации "омоноличенной" балластной призмы — заканчивается раньше и интенсивность накопления остаточных деформаций при этом значительно меньше, чем традиционной. В толще балластной призмы зерна щебня располагаются весьма разнообразно. Пленка, образовавшаяся в местах контактов частиц в результате обработки щебеночного слоя вязущими

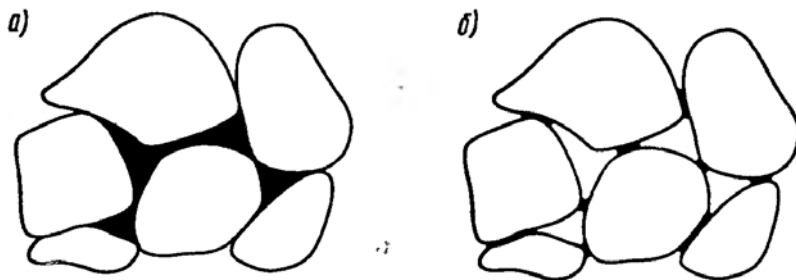


Рис. 3.30. Варианты контактирования зерен щебня в балластной призме при обработке:
а — вязущими густой консистенции; б — жидкими связующими материалами

материалами, также имеет различную прочность. Поэтому накопление остаточных деформаций в "омоноличенной" балластной призме происходит за счет разрыва отдельных наименее прочных связей между зернами щебня. Освободившиеся от связей частицы щебня под воздействием динамической нагрузки переупаковываются в теле балластной призмы, заполняя пустоты в ней. За счет искусственного увеличения площади контакта между зернами щебня создаются дополнительные связи, приводящие к уменьшению интенсивности накопления остаточных осадок в начальный период. Частицы щебня, прочно скрепленные между собой вязущим материалом, создают упругую единую систему. При этом выпирания щебня в шпальные ящики и за торцы шпал, а также вдавливания зерен щебня в песчаную подушку не происходит.

Загрязнение балластного слоя традиционной конструкции пути приводит к потере несущей способности его и разъединению частиц щебня. При "омоноличенной" балластной призме наличие связующего материала в местах контактов зерен щебня препятствует их разъединению, что исключает рост интенсивности неравномерных остаточных осадок.

Вышеперечисленные вязущие материалы обладают тепло- и морозостойкостью, не снижают устойчивости балластной призмы при температуре плюс 40 °С, а для поверхностных слоев — при плюс 60 °С, не теряют эластичности при температуре минус 30 °С, а для поверхностных слоев — при минус 40 °С; водостойки, устойчивы к воздействию агрессивных сред.

Проведенный ВНИИЖТом комплекс исследований, в том числе на ряде опытных участков железных дорог, позволил установить возможные сферы рационального применения "омоноличивания" щебеночной балластной призмы:

откосная часть балластной призмы на участках бесстыкового пути, особенно в крутых кривых радиусами 300—349 м;

зона стыков (звеньевой путь, уравнильные пролеты и сварные стыки бесстыкового пути);

подшпальное основание на новостроящихся линиях и на участках со слабым земляным полотном, где необходимо повышение стабильности пути;

участки с интенсивным засорением балластного слоя сыпучими грузами в местах, стесненных для машинной очистки щебня; стрелочные переводы; подходы к мостам.

Мероприятия по "омоноличиванию" балластной призмы можно разделить на три группы.

Первая группа связана с повышением устойчивости пути в вертикальной плоскости. При этом "омоноличиванием" подшпального основания на глубине 20 см ниже подошвы шпал создается "плита", которая воспринимает напряжения от шпал и равномерно передает их на земляное полотно (рис. 3.31, а).

Технология создания предлагаемой конструкции предусматривает: снятие путевой решетки путеукладочным краном типа УК-25; очистку щебня щебнеочистительной машиной типа БМС; срезку щебеночного слоя на глубину 20 см с целью понижения отметки продольного профиля комплектом дорожных машин; разравнивание щебеночного слоя планировщиком; уплотнение щебеночного слоя; обработку уплотненного слоя латексом из автогудронатора с последующей его сушкой; укладку путевой решетки путеукладочным краном типа УК-25; выгрузку щебня фракции 25—60 мм или песчано-щебеночной смеси (асбестового балласта) из хоппер-дозаторов; выправку пути машиной ВПР-1200.

При использовании вяжущих материалов густой консистенции технология создания конструкции включает выполнение первых пяти позиций при обработке щебня латексом. Далее щебень фракции 25—60 мм, предварительно обработанный вяжущим, выгружается и планируется (разравнивается), укатывается катком с давлением около 2 МПа, т. е. заведомо большим, чем испытывает балласт от поездной нагрузки. Укладывается рельсошпальная решетка, выгружается щебень фракции 25—60 мм и песчано-щебеночная смесь (асбестовый балласт) из хоппер-дозаторов и производится выправка пути машиной ВПР-1200.

Накопление остаточных деформаций у такой конструкции в 1,9—3,2 раза меньше, чем у традиционной конструкции пути. Предложенная конструкция может применяться на новостроящихся линиях, где нет ограничения во времени в производстве работ, а также на участках с неустойчивым земляным полотном.

Ко второй группе мероприятий, позволяющих уменьшить накопление остаточных деформаций пути, относится укрепление щебня в шпальных ящиках (рис. 3.31, б). В качестве связующего материала при такой конструкции используется латекс, который, проникая в щебеночный слой, образует как бы "столбики" в шпальных ящиках. Этот принцип позволяет предохранить щебень от выдавливания его из-под шпал за счет образования в результате обработки его частиц "ограничительных столбиков", а также снизить накопление остаточных осадок в сравнении с необработанным щебнем в 1,5—2,0 раза.

Освобождение шпальных ящиков от щебня, выправку пути и его стабилизацию производят без перерыва движения поездов с ограничением скоростей их движения. Выправка пути также возможна методом суфляжа.

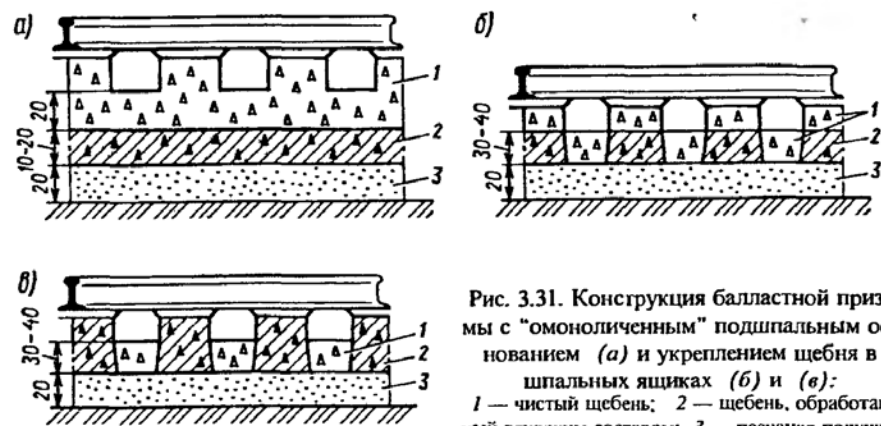


Рис. 3.31. Конструкция балластной призмы с "омоноличенным" подшпальным основанием (а) и укреплением щебня в шпальных ящиках (б) и (в): 1 — чистый щебень; 2 — щебень, обработанный вяжущим составом; 3 — песчаная подушка

"Омоноличивание" щебня в шпальных ящиках может быть осуществлено по упрощенной технологии путем поверхностной обработки щебня латексом на всю глубину междушпального ящика без освобождения их от щебня (рис. 3.31, в).

Таким способом могут быть укреплены зоны сварных стыков и стыки уравнительных пролетов; участки с интенсивным засорением балластного слоя для предохранения его от выплесков; подходы к мостам и балласт на стрелочных переводах.

Третья группа мероприятий связана с повышением устойчивости бесстыкового пути против выброса (в том числе в крутых кривых) укреплением латексом щебня на откосной части балластной призмы.

При испытаниях устойчивости бесстыкового пути различают две характерные стадии потери устойчивости: "первое критическое состояние" и "выброс" ("второе критическое" или "закритическое состояние"). Среднее критическое повышение температуры "омоноличенного" балласта в 1,8 раза больше, чем в неусиленном пути, и в 1,2 раза больше, чем при установке на концах всех деревянных шпал металлических штампованных жестких наголовников ("капов"), имеющих фартуки больших размеров (ширина 30 см, заглубление в балласт 18 см) (табл. 3.16).

Таблица 3.16

Виды усиления пути	Средняя температура нагрева рельсов в кривой радиусом 250 м, °С	
	до первого критического состояния	до закритического состояния
Неусиленный путь	21	52
Путь, усиленный "капами"	30	Более 72
"Омоноличенный" путь	37	Более 75

Разница критических температур при "омоноличенной" и традиционной балластной призме составляет 7—10 °С. С учетом запаса устойчивости, равного 1,5—2,0, "омоноличивание" откосной части балластной призмы позволяет увеличить на 5 °С допустимую амплитуду температур, при которой возможно применение бесстыкового пути в крутых кривых радиусом 300—349 м. Технология обработки откосной части балластной призмы следующая: вначале необходимо оформление призмы согласно типовым поперечникам, затем — в короткое технологическое "окно" осуществление полива латекса из автогудроноатора и выдерживание срока его высыхания.

На основании вышеизложенного можно отметить, что "омоноличивание" балластной призмы вяжущими материалами значительно повышает устойчивость пути в плане и профиле.

В табл. 3.17 приводятся данные потребного количества латекса, необходимого для "омоноличивания" одного километра пути. Вяжущие густой консистенции применяются только для сплошного "омоноличивания" подшпального основания (см. рис. 3.31, а). Расход, необходимый для одного километра пути, составляет 40—42 т для однопутного участка и 64—66 т — для двухпутного.

На зарубежных дорогах также применяется "омоноличивание" балластной призмы.

Таблица 3.17

Виды обработки щебня	Потребное количество латекса, т/км	
	для однопутного участка	для двухпутного участка
Подшпальное основание при толщине "омоноличенного" слоя 10 см	26—28	42—44
Шпальные ящики с числом шпал на 1 км пути, шт.:		
1600	7,6	15,2
1840	7,0	14,0
2000	6,4	12,8
Откосная часть балластной призмы с шириной плеча, см:		
45	16,6	17,5
35	15,2	16,4
25	15,1	14,7

Щебеночный слой, обработанный вяжущими материалами, может иметь следующие варианты:

1) скрепление зерен щебня в подшпальной части, а также в шпальных ящиках и плечах балластной призмы. Такое укрепление значительно снижает накопление остаточных деформаций, препятствует выпиранию щебня из-под шпал в шпальные ящики, повышает сопротивление сдвигу шпал поперек пути;

2) скрепление зерен щебня в шпальных ящиках и плечах балластной призмы. Такое укрепление препятствует выпиранию щебня из-под шпал и за их торцы, что значительно снижает интенсивность "погружения" шпал в балластный слой, уменьшает накопление остаточных деформаций;

3) скрепление только определенного слоя подшпальной части щебеночной призмы с образованием выше него прослойки неомоноличенного слоя щебня. За счет последнего делается при необходимости выправка пути. Такое решение существенно снижает накопление остаточных деформаций, так как слой щебня, в котором эти деформации происходят, мал;

4) скрепление зерен щебня непосредственно в подшпальной зоне без прослойки неомоноличенного слоя щебня. Такое укрепление препятствует выпиранию щебня из-под шпал;

5) скрепление щебеночного слоя вяжущими материалами по всему сечению балластной призмы. Такое укрепление обеспечивает стабильность балластной призмы, повышает устойчивость ее в профиле и плане.

Рассмотрим каждый из вышеуказанных вариантов укрепления щебеночного слоя призмы различными связующими материалами.

Вариант 1. Опытный участок с укрепленной балластной призмой протяжением 200 м был заложен в США на железной дороге Нью-Йорк — Централ (рис. 3.32, а). Щебеночный балласт обрабатывался битумной эмульсией на глубину 20 см ниже подошвы шпал (3). В шпальных ящиках, на междупутье и на откосах призмы был уложен обычный (не обработанный связующим материалом) щебень (1). По поверхности балластной призмы был уложен слой песка толщиной 2,5 см, обработанный битумной эмульсией (2). За 14 лет эксплуатации участок не потребовал выполнения работ по ремонту и текущему содержанию пути за исключением заделки трещин в покрытии по периметру отдельных шпал. Битумная эмульсия за это время не потеряла эластичности.

На пассажирской станции "Париж—Норд" во Франции вся стрелочная горловина парка была уложена на балластный слой из щебня, обработанного дегтем (тармакадам). Конструкция балластной призмы, обработанная дегтем, представляла собой следующее (рис. 3.32, б): на слой песка толщиной 70 см (1) насыпали 10-сантиметровый слой щебня фракции 20—60 мм, обработанного дег-

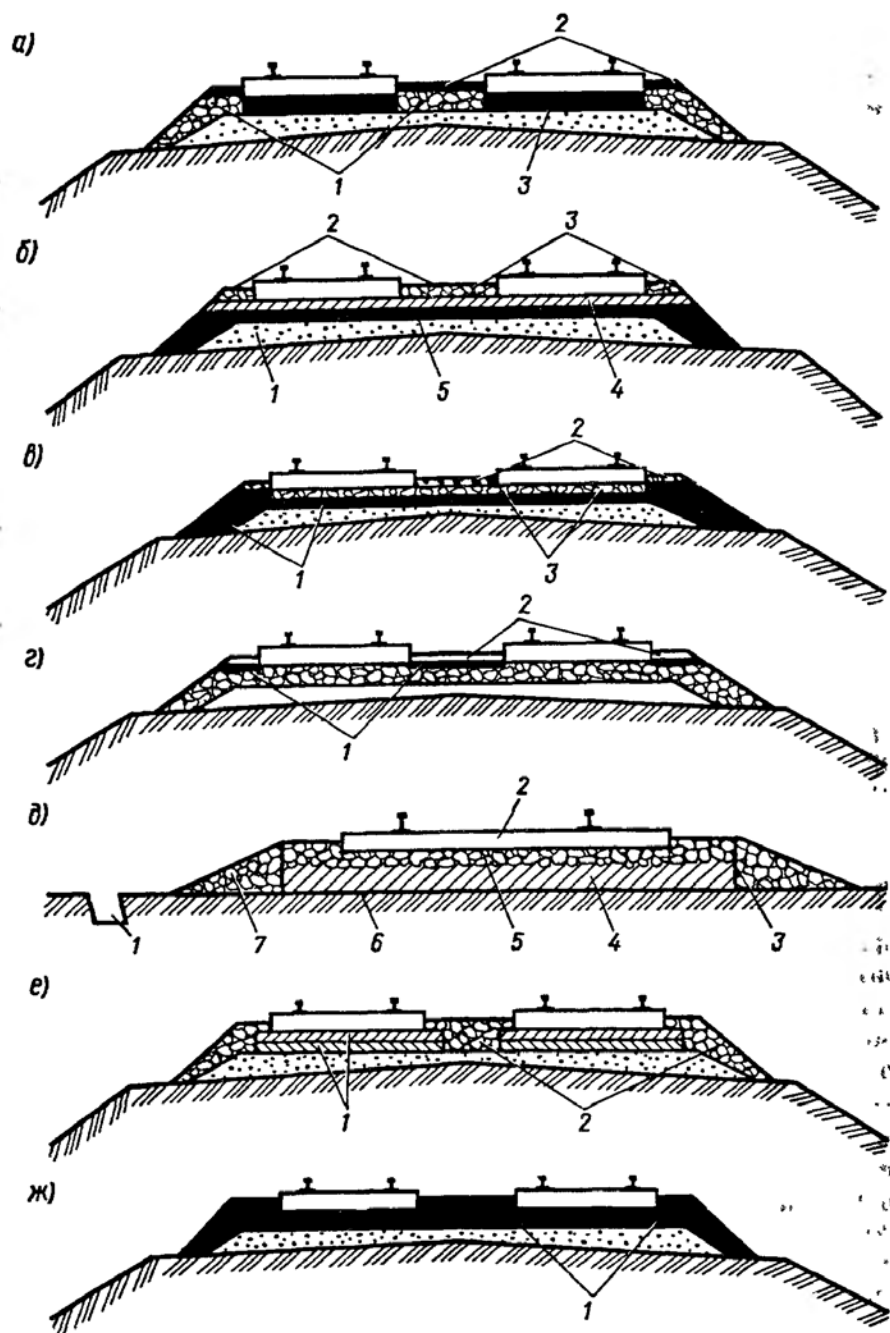


Рис. 3.32. Варианты конструкций балластной призмы с «омоноличенным» щебнем, применяемые за рубежом

тем (5). На этот слой укладывали другой 5-сантиметровый слой щебня фракции 8—20 мм, также обработанный дегтем (4). Оба слоя уплотняли. Окончательная выправка пути по уровню производилась суфляжом. В шпальные ящики (кроме стыковых и предстыковых шпал) засыпался обычный щебень (3), по поверхности которого наносился слой горячего дегтя (2) способом набрызгивания.

Работа по текущему содержанию пути ограничивалась только незначительным исправлением пути по уровню подсыпки балласта и пропиткой дегтем.

В США создана конструкция балластной призмы, в которой на основную площадку земляного полотна укладывался слой щебня, равный половине нормальной толщины до подошвы шпалы, который пропитывался полимер-синтетической смолой (1) (рис. 3.32, в). После отверждения смолы отсыпалась оставшаяся часть щебня (3), укладывалась рельсошпальная решетка, засыпались шпальные ящики и откосная часть призмы (2). Отсыпанный за торцами шпал щебень пропитывался той же смолой. Таким образом создавалось стабильное укрепленное основание балластной призмы и ее откосной части. Выправка пути осуществлялась обычным способом, т. е. путем подбивки.

В США были заложены опытные участки с конструкцией, аналогичной представленной на рис. 3.32, в. Однако вместо обработки нижнего слоя смолой укладывался асфальтобетон. Остаточные деформации у такой балластной призмы были в 5 раз меньше, чем на обычном пути.

Вариант 2. Участок протяжением 0,8 км был заложен на железной дороге Иллинойс — Централ (США) (рис. 3.32, з), где по поверхности балластной призмы распрыскался горячий битум, который проникал в щебеночный слой на глубину до 8—10 см (1). Затем по поверхности призмы насыпался мелкий щебень, который проникал в распрыснутый битум (2). «Омоноличенный» вяжущим веществом слой щебня препятствовал выпиранию его из-под шпал, что значительно снижало интенсивность их погружения в балластный слой, и, следовательно, уменьшало накопление остаточных деформаций. При такой конструкции балластной призмы облегчалась механизация работ по ее укреплению.

Выправка по уровню, в основном в стыках рельсов, производилась методом подсыпки с предварительным удалением балласта, пропитанного битумом, от торцов шпал. Спустя 5 лет выправка пути производилась с помощью нагнетания насосом под шпалы песчано-цементного раствора, что меняло конструкцию балластной призмы. Рихтовку пути потребовалось производить только через 10 лет. За опытным участком велись наблюдения в течение 10 лет, которые подтвердили возможность значительного снижения расходов на содержание пути.

Примерно такая же конструкция пути была применена на дороге Санта-Фе, где общая длина опытного участка составляла 37 км. На ряде других дорог было заложено еще несколько опытных участков общим протяжением 21 км. Горячий битум расплылся по поверхности балластной призмы (и по поверхности шпал) из расчета от 3,0 до 7,5 л/м³ и проникал в щебеночный слой на глубину до 5 см. Сверху рассыпался мелкий щебень из расчета от 7 до 18 кг/м², который впитывался в щебень.

Стоимость содержания пути на опытных участках оказывалась в 1,5—1,7 раза меньше, чем на контрольных участках с обычной балластной призмой.

Вариант 3 В Японии разработан и опробован метод стабилизации пути заполнением пустот в теле балластной призмы вязко-упругой цементно-асфальтовой смесью (рис. 3.32, д). На грунтовое или бетонное основание (6) укладывается быстротвердеющая цементно-асфальтовая смесь (4), поверх которой насыпается слой чистого щебня (5) и укладывается рельсошпальная решетка (2). Чтобы смесь не попадала на откосы балластной призмы (7), устраивается ограничительная стенка (3). Для стока воды устроен боковой дренаж (1). Таким способом было заложено два опытных участка пути на действующих магистральных линиях протяженностью по 100 м.

Вариант 4. На Ретишской железной дороге в Швейцарии была произведена закладка опытного участка пути с балластом из сортированного гравия, обработанного битумом (рис. 3.32, е). Укладывалось два слоя толщиной по 10 см каждый с предварительной укаткой (1). Затем поверх основания, обработанного связующим, укладывалась рельсошпальная решетка. Выправка пути производилась подсыпкой мелкого гравия, обработанного битумом. Для засыпки междушпальных ящиков использовался обычный балласт — сортированный гравий (2).

Вариант 5. В Англии, Франции, Японии, ФРГ и других странах на ряде опытных участков обработке различными вяжущими материалами подвергается все сечение щебеночной балластной призмы (1) (рис. 3.32, ж). При этом используется смесь стиролбутадиена и смолы, применяемая в качестве отвердителя (Франция); цементная паста и цементный раствор, асфальтобетон и цементно-битумный раствор (Япония, ФРГ, Англия); битум (Англия, Япония), стиропорбетон — разновидность легкого бетона (ФРГ); расширяющиеся цементные растворы с различными, в том числе пластифицирующими добавками (Англия), асфальт, гудрон (США).

Предложенная конструкция пути обеспечивает стабильность балластной призмы, повышает устойчивость ее как вдоль, так и поперек пути и предназначена для участков со скоростным движением поездов (до 250 км/ч), повышенными осевыми нагрузками.

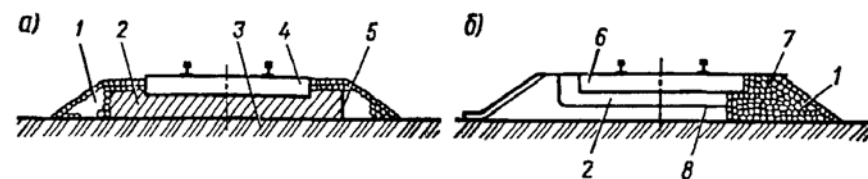


Рис 3.33 Примеры укрепления балласта
а — цементирование б — покрытие 1 — балласт 2 — зацементированный слой 3 — земляное полотно 4 — железобетонная шпала 5 — уплотняющая пластина 6 — удлиненная железобетонная шпала 7 — асфальтовое покрытие, 8 — нетканый синтетический материал

В Японии одним из эффективных методов усиления балласта считается его цементация. На рис. 3.33 показана принципиальная схема укрепления пути методом пропитки балласта связующим составом с устройством покрытия. Метод нагнетания химических веществ в балласт рассматривается в Японии как практический способ снижения контактного давления между частицами крупнозернистого балласта.

В связи с обращением на дорогах Японии, Австрии, Великобритании высокоскоростных пассажирских поездов и грузовых с высокими осевыми нагрузками, для укрепления балласта в местах контактов зерен щебня применяют клей kтуorit. Благодаря точечному склеиванию частиц щебня между собой дренирующая способность щебеночного балласта и упругость сохраняются. За счет образовавшихся связей между зернами щебня отдельные частицы ограничены в своих перемещениях, что снижает накопление остаточных осадок. Клей kтуorit использовался специалистами различных стран для предотвращения уноса частиц балласта воздушным потоком от движущегося поезда (Япония), повышения сопротивления поперечному сдвигу пути (Япония, Австрия, Великобритания), повышения несущей способности балласта в зоне стыков (Австрия).

В настоящее время укрепление балластного слоя применяется при сооружении мостовых переходов, в зонах перехода от жесткого основания в искусственных сооружениях к щебеночному балласту, зонах изолирующих стыков и стрелочных переводов, а также для общей стабилизации щебеночного балласта, укрепления дренируемых маневровых путей. Укрепление балласта снижает вибрацию пути и защищает от шума.

ИЗМЕНЕНИЕ СЛУЖЕБНЫХ СВОЙСТВ РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЕЙ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

4.1. ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЕЙ ПРИ РАБОТЕ В ПУТИ

В процессе эксплуатации за счет работы сил трения в зоне контакта колес подвижного состава и рельсов происходит износ металла головки. Интенсивность вертикального износа термически обработанных рельсов на прямых участках пути и кривых радиусом более 600—650 м обычно колеблется в пределах 0,3—0,5 мм/100 млн. т брутто, на тормозных участках увеличивается до 0,4—0,9 мм/100 млн. т брутто. При допустимом вертикальном износе 9 мм такая величина удельного износа обеспечивает наработку (до сплошной смены рельсов) 1000 млн. т брутто и более, что существенно превышает существующие нормы периодичности капитального ремонта — 550—700 млн. т брутто.

На кривых радиусом менее 500—600 м, которые обычно расположены на больших уклонах, интенсивность износа существенно возрастает, что вызывается: повышенным проскальзыванием колес вагонов за счет избыточного (для грузовых поездов) возвышения наружной рельсовой нити и колес локомотивов при рекуперативном торможении на спусках и тяговом режиме на подъемах; особенностью взаимодействия рельсов и колес, когда последние набегают на рельсы под повышенным углом, образуя изношенную форму головки, изображенную на рис. 4.1. Боковой износ рельсов на прямых участках пути практически отсутствует, на кривых проявляется, начиная с радиусов 1000 м и менее (табл. 4.1).

В кривых радиусами 300—400 м прослеживается определенная взаимная зависимость бокового $h_б$ и вертикального $h_в$ износов наружного рельса (рис. 4.2). Обычно в кривых радиусами 300—450 м, если не проводится смазка, боковой износ определяет сроки сплошной смены рельсов, достигая максимально разрешенной величины $[h_б] = 15$ мм при относительно меньшем вертикальном износе головки.

Однако могут складываться такие условия эксплуатации, и в первую очередь на участках интенсивного торможения, когда полная потеря служебных свойств рельсов будет определяться величиной приведенного износа $h_{пр} = h_в + 0,5h_б \leq [h]$. На внутренней нитке боковой

износ головки рельсов в 5—7 раз меньше, чем на наружной, вертикальный также не лимитирует сроки службы, хотя за счет перегрузки (по причине излишнего возвышения наружного рельса) образуется местное мягкое поверхности головки и выдавливание металла в зону выкружек (см. рис. 4.1, б).

Приведенные в табл. 4.1 величины удельного бокового износа рельсов относятся к свободному вписыванию двухосных тележек четырехосных вагонов в кривые участки пути. В этом типовом случае центр поворота жесткой базы тележки находится на пересечении радиуса перпендикуляра, совпадающего по направлению с задней осью тележки, и осью жесткой базы. Наружное колесо первой оси "набегают" на внешний рельс под углом α , величина которого определяет интенсивность бокового износа головки. Для кривых $R = 600 \div 300$ м угол α соответственно равен $0^\circ 10'$ — $0^\circ 21,8'$.

Свободное вписывание реализуется (и удерживается) при отсутствии излишнего возвышения наружного рельса, которое вызывает образование непогашенного ускорения $a_{нп}$.

При $a_{нп} > 0,1 \div 0,2$ м/с² происходит поворот двухосной тележки со смещением ее задней оси поперек колеи. Образуется "перекосное" вписывание с увеличением угла набегания α (обозначим его $\alpha_{пер}$) и соответствующим ростом интенсивности бокового износа рельсов.

Исследованиями специалистов ВНИИЖТа было установлено, что в случае непогашенного ускорения $a_{нп} = 0,40 \div 0,45$ м/с² при поперечном перемещении задних осей тележек вагонов на 20—30 мм углы набегания могут возрастать: при $R = 300 \div 350$ м до $\alpha_{пер} = 1^\circ 14' \div 1^\circ 35'$, при $R = 600$ м — до $\alpha_{пер} = 0^\circ 44' — 1^\circ 03'$.

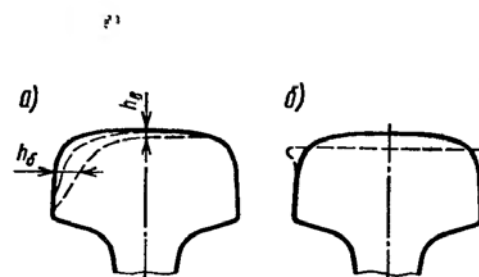


Рис. 4.1. Форма головки рельса после износа в кривой радиусом 300 м.
а — наружный рельс. б — внутренний рельс

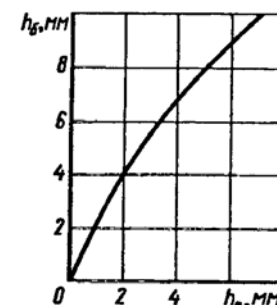


Рис. 4.2. Соотношение вертикального и бокового износа наружного рельса в кривой $R = 300$ м

Таблица 4.2

Рельсы типа Р65		Площадь поперечного сечения, см ²	Момент инерции I , см ⁴ , относительно		Момент сопротивления W , см ³	
			горизонтальной оси	вертикальной оси	по подошве	по головке
Новые		82,65	3540	564	435	358
С приведенным износом, мм	6	78,24	3208	550	417	330
	9	76,08	2998	541	404	310

Интенсивность бокового износа рельсов при таких углах набега на опытных участках составила 0,51—0,60 мм/млн. т брутто при $R = 300 \div 350$ м и 0,070—0,111 мм/млн. т брутто при $R = 600$ м, что значительно превышает интенсивность бокового износа при свободном вписывании (см. табл. 4.1).

Неправильная (обычно излишняя) установка возвышения наружных рельсов в кривых участках бесстыкового пути приводит к ускорению повреждаемости сварных рельсовых плетей и необходимости их досрочной замены.

Специалистами ВНИИЖТа и дорог проведен значительный объем экспериментов и наблюдений за нарастанием бокового износа рельсов в кривых участках пути при различных условиях эксплуатации. В результате проведенного анализа было установлено, что по причине излишнего возвышения наружного рельса при пропуске большинства грузовых поездов с низкими скоростями (40—50 км/ч) в кривых участках образуется перекосное вписывание тележек, вследствие которого интенсивности бокового износа рельсов оказывались в 4—6 раз большими, чем при свободном вписывании.

Следует особо подчеркнуть, что избыточное возвышение наружного рельса имеет место на значительной доле кривых участков пути российских железных дорог. Подобное положение необходимо изменить, назначая обоснованные величины возвышений исходя из конкретных условий работы каждого кривого участка.

Изгибная прочность рельса определяется моментом сопротивления сечения W и моментом инерции I . При износе головки значения W и I уменьшаются (табл. 4.2).

В процессе эксплуатации в результате, в основном, упругого про- скальзывания колес по рельсам, головка изнашивается неравномерно, так как динамические воздействия колес — величины переменные.

Таблица 4.1

Радиус кривой, м	Величина удельного износа, мм/млн. т брутто (рельсы типа Р65, термообработанные) при средних значениях осевых нагрузок вагонов, кН/ось		Радиус кривой, м	Величина удельного износа, мм/млн. т брутто (рельсы типа Р65, термообработанные) при средних значениях осевых нагрузок вагонов, кН/ось	
	160—170	180—190		160—170	180—190
300	0,141—0,150	0,159—0,168	550	0,023—0,025	0,027—0,028
350	0,113—0,120	0,127—0,134	600	0,014—0,015	0,016—0,017
400	0,085—0,088	0,093—0,098	650	0,007—0,008	0,009—0,010
450	0,056—0,060	0,063—0,067	800	0,003—0,004	0,003—0,004
500	0,038—0,040	0,042—0,044	1000	0,001—0,002	0,001

Примечание. На перевальных участках и затяжных руководящих уклонах интенсивность бокового износа возрастает: на подъемах за счет резкого увеличения проскальзывания ведущих колес локомотива (особенно при приближении касательной силы тяги к своему максимуму) на 30—40 %; на спусках — за счет воздушного торможения вагонов и локомотива и особенно значительно при рекуперативном торможении электровозом — на 50—60 %.

Исследованиями ВНИИЖТа установлено, что при проходе по участку пути одноподвижного подвижного состава с приблизительно одинаковыми скоростями максимумы и минимумы динамического воздействия колес неизменно попадают в одни и те же сечения (рис. 4.3). В зонах максимальных давлений более интенсивно истирается и уплотняется металл головки рельса — образуются впадины. Под волнообразным износом понимается определенная последовательность впадин на рельсах, расстояние между которыми зависит от периодичности возникновения максимумов давления колес при сжатии рессорного подвешивания (средние и длинные волны) и аналогично частоты воздействия непрорессоренных масс подвижного состава (короткие волны — рифли). Ряд исследователей на основании обобщения опытных данных определяли закономерности роста глубины волнообразных неровностей. Однако эти зависимости могут быть в какой-то мере справедливы при постоянных условиях эксплуатации. Исследованиями ВНИИЖТа было установлено, что, например, повышение скоростей движения поездов на участке (при неизменных конструкциях пути, вагонов и локомотива) приводит к изменению условий взаимодействия пути и подвижного состава; максимумы воздействия колес смещаются в сторону "горбов", и в результате волнообразный износ уменьшается.

Волнообразный износ незначительно изменяет поперечное очертание рельса, однако он вызывает резко повышенную вибрацию пути и подвижного состава, влияет на комфортабельность пассажиров. При повышении вибрации рельсов и подрельсового основания резко возрастает интенсивность накопления остаточных деформаций железнодорожного пути и соответственно расходы на его текущее содержание.

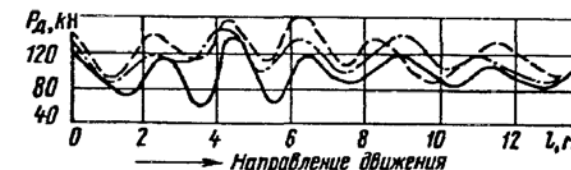


Рис. 4.3. Схема вертикального динамического воздействия колес на рельсы P_d проходящих грузовых поездов со скоростями 50—54 км/ч

Максимально разрешенная величина волнообразного износа быстро уменьшается при росте скоростей движения пассажирских поездов и на скоростных линиях уже при глубине волн 0,05 мм, как правило, требуется начинать шлифовку головки рельса.

Коррозия подошвы рельсов обычно обнаруживается на участках, где под подошвой уложены прокладки-амортизаторы из бакелизированной древесины или кордонита, а также из других материалов в случае "засасывания" воды и ее задержки в зоне между подошвой рельса и основанием. Массовые обследования показывают, что общий коррозионный износ подошвы даже при сочетании наиболее неблагоприятных условий не превышает 1,0—1,5 мм. Однако опасны местные каверны глубиной 0,5—1,8 мм, от которых могут развиваться коррозионно-усталостные трещины, обычно идущие перпендикулярно к поверхности подошвы.

Помимо износов — вертикального, бокового, волнообразного (головки) и коррозионного (подошвы) — на снижение служебных свойств рельсов в процессе эксплуатации весьма сильно влияют контактно-усталостные повреждения головки. При прокатывании колес по расчетному сечению рельса в головке под контактной площадкой практически мгновенно изменяется напряженное состояние металла. Если колесо находится над расчетным сечением, в головке рельса возникают весьма высокие напряжения, формируемые в основном в результате контактного воздействия колес и изгиба рельса. Максимум этих касательных напряжений оказывается обычно на головке в зоне рабочей выкружки на глубине 3—8 мм от поверхности рельса. После смещения колеса на расстояние 12—20 см напряженное состояние металла в расчетном сечении резко меняется вплоть до появления значительных растягивающих напряжений. При известных значениях силы P и формы контактирующих поверхностей колесо—рельс, используя аналитические зависимости Герца—Беляева, представляется возможным определить эти напряжения и построить эпюры их распределения по глубине. Однако указанные зависимости правильны при изотропной структуре материала. В случае наличия неметаллических включений в зоне их образования имеет место резкая концентрация местных напряжений и их фактические максимальные значения существенно превышают величины, полученные по формулам Герца—Беляева. Величины реально возникающих контактных напряжений определяются формой, размером, глубиной залегания, конфигурацией строчек (скоплений) неметаллических включений. Размеры последних у новых рельсов колеблются в пределах от 2 мм (рельсы I группы) и до 8 мм (рельсы II группы) в соответствии с требованиями ГОСТ 24182—80.

Фактические знакопеременные контактные напряжения в зонах концентрации неметаллических включений при высоких осевых нагрузках превышают длительный предел выносливости металла и после

прохода определенного тоннажа в этих зонах скоплений строчек-дорожек неметаллических включений начинают образовываться внутренние продольные трещины (ВПТ). На рис. 4.4 схематично показаны этапы и возможные варианты развития дефектов в зоне рабочей выкружки рельса, начиная от возникновения первичной ВПТ.

На рис. 4.4, а дается картина первого этапа образования ВПТ после наработки 100—120 млн. т брутто. Приводится теоретическая (1—2—3) и фактически имеющая место (1—4—3) эпюры контактных напряжений. В зоне неметаллических включений на глубине обычно 5—6 мм образуется "пик" напряжений и после пропуска 100—120 млн. т брутто с помощью специальной аппаратуры можно наблюдать появление и развитие внутренней продольной трещины 5.

После наработки 250—300 млн. т брутто при неблагоприятных сочетаниях нагрузок и расположения строчек-дорожек неметаллических включений можно наблюдать четыре варианта развития внутреннего дефекта:

вариант 1 — развитие внутренней трещины остановилось, но за счет ослабления этой зоны от действия вертикальной силы произошел спływ металла над трещиной (см. на рис. 4.4, б, участок $a-b-c$) и колеса при проходе этого места не контактируют с зоной "впадины" (участок $c-d-e$). Это и есть "зона темных пятен", косвенно указывающая на наличие в этом месте в головке рельса внутренней трещины;

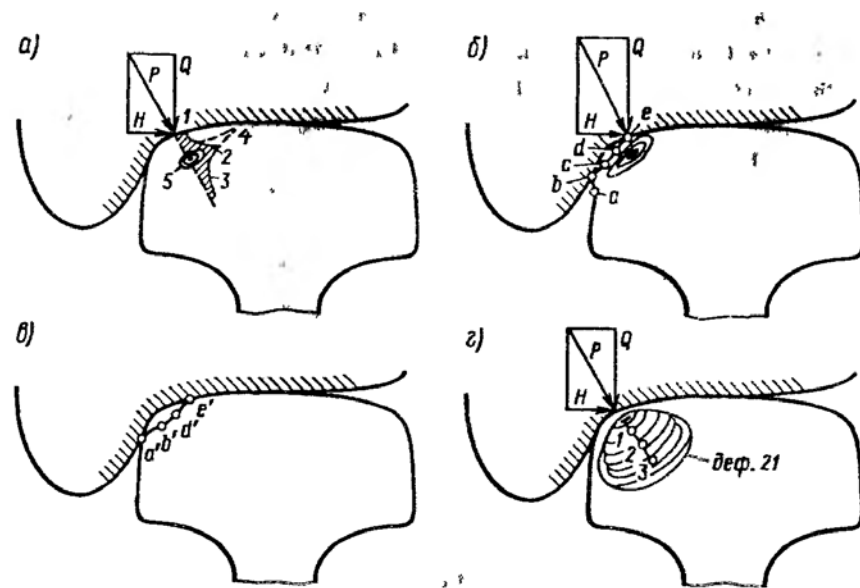


Рис 4.4 Образование дефектов в головке рельса при наличии неметаллического включения

вариант 2 — произошел откол сплыва металла. В зависимости от расположения и размеров строчек неметаллических включений могут образовываться: местная выщербина — дефект 11 (см. рис. 4.4, в — участок $a' - b' - d' - e'$); продольное расслоение головки — дефект 30Г (на рис. не показан) (вариант 3).

Наиболее опасен для развития ВПТ вариант 4, когда разрушение металла идет к середине головки и появляется дефект 21 (см. рис. 4.4, г). Это может быть при наличии скоплений неметаллических включений или других форм ослабления прочности металла, располагающихся от ВПТ к середине головки (зона 1 — 2 — 3), а также связано с особенностями взаимодействия колес и рельса в данном сечении.

Схематично описанная картина возникновения ВПТ и (в последующем) дефектов 11, 30Г и 21 типична для участков с высокими осевыми нагрузками, где не проводится профильная шлифовка рельсов РШП с активными рабочими органами, которая переформирует головку, разгружая металл в местах зарождения ВПТ.

Кроме описанных выше наиболее типичных дефектов в головке рельсов контактно-усталостного происхождения, во время эксплуатации рельсов в пути при периодическом воздействии знакопеременных нагрузок происходят сложные, обычно взаимосвязанные, процессы: наклеп в верхней части головки рельса, изменяющий эпюру распределения остаточных напряжений; старение; возникновение разноориентированных поверхностных и внутренних усталостных трещин (с последующим развитием магистральных трещин); коррозионные процессы и т. д. Эти процессы происходят по всему сечению рельса и сопровождаются общим снижением его физико-механических характеристик по мере увеличения пропущенного тоннажа. Интенсивность развития этих процессов зависит от ряда факторов: уровня осевых нагрузок; плана и профиля пути; климатических условий, а также от текущего содержания железнодорожного пути.

Специалистами ВНИИЖТа многократно проводились комплексные испытания на экспериментальном кольце и специально созданных стендах образцов рельсов, имеющих различную наработку тоннажа. Все эти эксперименты однозначно показывают снижение служебных свойств рельсов в процессе их эксплуатации.

Использование специально созданной аппаратуры для исследования развития усталостных трещин позволило установить, что, например, для рельсов типа Р65 при осевых нагрузках вагонов 190—210 кН и скоростях до 70—80 км/ч уже после прохода 200—280 млн. т брутто на всем протяжении головки плети начинают появляться внутренние

микротрещины. По мере длительной эксплуатации они развиваются неравномерно (рис. 4.5), некоторые из них обычно к моменту прохода 500—600 млн. т брутто достигают около 20 % площади сечения головки. В это время или несколько раньше они обнаруживаются типовыми дефектоскопами и отмечаются как сечения с остродефектными повреждениями. Далее, в зависимости от интенсивности роста дефекта эти части плети либо вырезаются с варкой неповрежденных рубок, либо усиливаются постановкой шестидырных накладок. Однако к моменту сплошной плановой смены плетей, помимо указанных выше двух остродефектных сечений, на всем протяжении сварной плети может быть еще много мест, где внутренние повреждения малы и не обнаруживаются типовыми дефектоскопами.

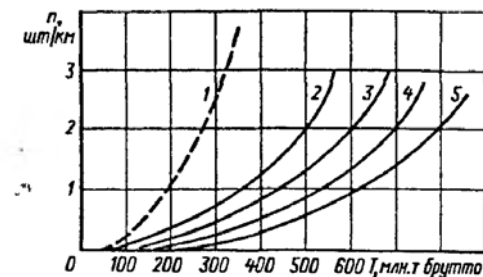


Рис. 4.5. Графики зависимости одиночного выхода уравнильных рельсов и появления остродефектных мест n , шт./км, на плетях бесстыкового пути от наработки тоннажа: 1 — уравнильные рельсы; 2 — плети в прямых и кривых $R = 1000$ м; 3, 4, 5 — плети в кривых радиусами соответственно 1000, 800 и 600 м

4.2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЛЬСАМ И ДЛИНЫ РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЕЙ

В России рельсы изготавливают в основном из мартеновской стали. За рубежом рельсовую сталь производят кислородно-конверторным способом. По этому способу начал изготавливать рельсовую сталь Нижнетагильский металлургический комбинат (НТМК), а Кузнецкий металлургический комбинат освоил выпуск электростали для производства рельсов. Современные рельсы имеют повышенное содержание в стали углерода (до 0,82 %), марганца, хрома, кремния, ванадия и других легирующих добавок. Отечественные заводы из таких сталей выпускают рельсы с пределом прочности не менее 860—900 МПа. Большое внимание уделяется чистоте рельсового металла, термическому упрочнению рельсов. Термическое упрочнение объемной или поверхностной закалкой токами высокой частоты повышает предел прочности и выносливости рельсов. В настоящее время на участках бесстыкового пути России эксплуатируются уравнильные рельсы и рельсовые плети, сваренные в основном из термически упрочненных рельсов с пределом прочности не менее 1100 МПа. В последние годы завершены полигонные испытания рельсов из металла, полученного электрошлаковым переплавом, по которым пропущено более 1 млрд. т груза при нагрузках 270 кН/ось при отсутствии

выхода рельсов по контактно-усталостным дефектам. На дорогах России созданы и внедряются рельсы повышенной прочности для районов с низкими температурами.

На линиях с грузонапряженностью до 15—25 млн. т·км брутто/км в год, на станционных и подъездных путях России укладываются плети, сваренные из старогодных рельсов или переложенные с места первой укладки. Укладка старогодных плетей на малодеятельных участках дает большой эффект. В настоящее время на сети дорог эксплуатируется около 4000 км бесстыкового пути с повторно уложенными плетями, снятыми с главных действующих путей. За рубежом старогодные рельсовые плети также укладывают на главных путях. На дорогах Канады, ФРГ и других стран существует система многократного использования рельсов и рельсовых плетей.

Для сокращения помех движению поездов признается целесообразным изготавливать на заводах (рельсосварочных предприятиях) плети возможно большей длины с последующей перевозкой их к месту укладки на специализированных составах. В Англии сваривают плети длиной по 180 м. В Японии прокатные заводы выпускают рельсы длиной 50 м, сваривают их в 200-метровые плети и перевозят к месту укладки. В Австрии и Германии освоено производство рельсов длиной 120 м, в Италии на рельсосварочном предприятии изготавливают плети длиной 432 м, которые сваривают в пути в более длинные. Во Франции на рельсосварочном заводе изготавливают плети длиной 400 и даже 800 м, в Мексике — длиной 400 м. В России и в других странах СНГ рельсовые плети сваривают длиной до 800 м на рельсосварочных предприятиях, откуда они доставляются к месту укладки на специально оборудованных поездах. Длина поезда не должна мешать движению и превышать длину приемоотправочных путей станций. Выгруженные в пути рельсовые плети перед укладкой, в процессе укладки или после укладки свариваются в плети большей длины. На дорогах США и Японии плети свариваются длиной до 1500 м. На дорогах Югославии, Германии, Чехии, Словакии, Венгрии, Индии и в некоторых других странах плети свариваются длиной до перегона и даже более. При этом стрелочные переводы свариваются с примыкающими к ним концами рельсовых плетей. На железных дорогах России до недавнего времени длины эксплуатируемых плетей в основном соответствовали их длинам, полученным в рельсосварочных предприятиях (500—700 м). Средняя длина плетей по железным дорогам России составила 595 м. На полигоне бесстыкового пути эксплуатируется около 64 тыс. уравнильных пролетов. При увеличении средней длины плетей до 1500 м, что почти соответствует средней длине блокучастка, можно ликвидировать около 40—43 тыс. уравнильных пролетов. В случае доведения средней длины плети до 5000 м (примерно длина перегона) можно ликвидировать еще 50—52 тыс. пролетов.

На дорогах СССР к созданию плетей большой длины приступили в 1971 г. На первом этапе удлинение производилось, преимущественно, за счет сварки уже уложенных плетей в плети длиной до блокучастка (от 1000 до 2500 м) и более. Первые участки с такими плетями появились на Юго-Западной, Южной, Донецкой, Белорусской, Куйбышевской, Западно-Сибирской и Львовской железных дорогах. В настоящее время работы по увеличению длин плетей ведутся почти на всех дорогах России.

В мировой практике сварку рельсов осуществляют различными способами, в том числе электроконтактной стыковой сваркой оплавлением, дуговой ванной сваркой плавящимся электродом, термитным, индукционно-прессовым и газопрессовым способами. В условиях рельсосварочных предприятий сварка плетей осуществляется преимущественно электроконтактным способом. Лишь в отдельных странах наряду с электроконтактной, но в меньших объемах, применяется газопрессовая сварка, а в ЮАР применяется только термитная сварка. Следует заметить, что экстремальные годовые амплитуды температуры рельсов в ЮАР не превышают 70 °С.

На железных дорогах России и стран СНГ как в условиях РСР, так и в условиях линии (удлинение, восстановление плетей), применяется электроконтактная сварка рельсов с механической обработкой и термическим упрочнением сварных стыков. Такое предпочтение этому способу сварки вызвано не только сложными климатическими и эксплуатационными условиями работы железных дорог России, но и более надежной работой стыка, сваренного электроконтактным способом, прочность которого приближается к прочности целого рельса, в то время как при термитной сварке она достигает 60—64 % от прочности целого рельса. В связи с трудностью подвода контактных машин к местам соединений в последнее время, начиная с 1995 г., для изготовления сварных стрелочных переводов на железных дорогах России начали применять термитную сварку. При сварке электроконтактным способом термически упрочненных (закаленных) рельсов в зоне сварки снижаются твердость металла, усталостная прочность и износостойкость в головке. Термическое упрочнение стыков, сваренных электроконтактным способом, позволяет приблизить прочность рельсов в зоне сварки к прочности целого рельса.

При наличии дефектов в сварных стыках могут развиваться усталостные трещины в подошве, шейке и головке рельса с хрупким изломом, особенно при низких температурах. Поэтому весьма важно, что в результате термического упрочнения стыков сварные плети имеют высокую живучесть. Отбраковка сварных стыков по дефектам в подошве и шейке происходит в первый период эксплуатации при пропуске 50—100 млн. т груза брутто. Повреждения сварных рельсов по дефектам в головке наблюдаются после пропуска 100—250 млн. т груза брутто и более. Дефекты и повреждения головки рельсов в зоне свар-

ных стыков в пути встречаются наиболее часто. Реже наблюдаются пороки в шейке (17 %) и подошве (8 %). Упрочнение сварных стыков на отечественных дорогах до последних лет производилось лишь в условиях РСФСР. Оно осуществлялось вначале с контактного, а затем с индукционного нагрева рельсов токами средней частоты и охлаждением металла головки водовоздушной смесью. Широко применяют на рельсосварочных предприятиях "мягкие" режимы местной термической обработки сварных рельсов с широкой зоной нагрева стыков. Такой процесс в наибольшей степени отвечает условиям и темпу сварки рельсов с оплавлением с прерывистым подогревом на контактных стыковых машинах МСГР-500.

Технология и оборудование для сварки рельсов на дорогах России непрерывно совершенствуются. Переходят от сварки с предварительным подогревом к непрерывному, импульсному и пульсирующему оплавлению. Контактные стыковые машины типа МСГР-500 заменяют на К-190, К-355. В последние годы на Псковском заводе тяжелого электросварочного оборудования изготовлены и проходят эксплуатационную проверку отечественные контактные машины типов МСО-6301 и МСО-6303 для сварки рельсов в стационарных и полевых условиях. Разрабатываются более совершенные режимы сварки и термической обработки рельсов, легированных хромом и кремнием, из кислородно-конверторной стали. Проходят эксплуатационные испытания механизмы для термической обработки сварных стыков в полевых условиях. Исследования в области совершенствования контактной сварки активно ведутся в США, Германии, Японии, Великобритании, Канаде, Мексике.

4.3. КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕФЕКТОВ. ПРИЗНАКИ ДЕФЕКТНЫХ И ОСТРОДЕФЕКТНЫХ РЕЛЬСОВ

На железных дорогах России ежегодно на участках бесстыкового пути обнаруживаются и изымаются из пути многие тысячи дефектных и остродефектных мест. Недопущение излома рельсов под поездом или схода подвижного состава по причине выкола части головки обеспечивается отлаженной системой непрерывного дефектоскопирования рельсовых плетей, а также системой классификации дефектов рельсов по степени их опасности. Система классификации дефектов рельсов включает три документа.

Первый документ "Классификация дефектов рельсов" (НТД/ЦП-1-93) объясняет структуру кодового обозначения дефектов рельсов, второй — "Каталог дефектов рельсов" (НТД/ЦП-2-93) дает подробное описание каждого дефекта с его изображением, способы выявления и указания по эксплуатации дефектных рельсов, третий — определяет "Признаки дефектных и остродефектных рельсов" (НТД/ЦП-3-93).

Ниже излагаются основные положения этих документов, которые должны хорошо знать путейцы и работники дорог, связанные с безопасностью движения поездов.

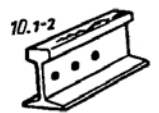
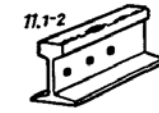
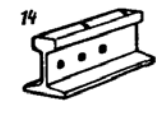
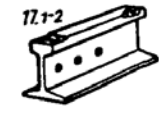
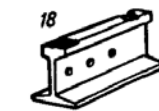

Классификация дефектов рельсов предназначена для статистического учета, анализа уровня эксплуатационной стойкости и надежности рельсов (табл. 4.3). Все дефекты рельсов в классификации кодированы трехзначным числом. Использована следующая структура кодового обозначения: первая цифра определяет вид дефекта рельсов и место его появления по элементам сечения рельса (головка, шейка, подошва); вторая цифра определяет разновидность дефекта с учетом основной причины его зарождения и развития; третья цифра указывает на место расположения дефекта по длине рельса.

Первые две цифры кода дефектов рельсов отделяются от третьей цифры точкой.

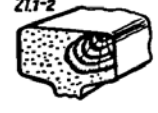
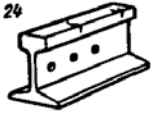
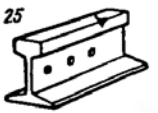
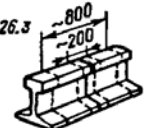

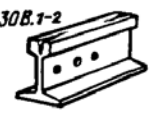
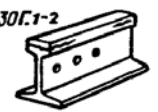
Вид дефекта и место его появления по элементам сечения рельса (головка, шейка, подошва) определяются следующими цифрами: 1 — отслоения или выкрашивания металла на поверхности катания головки рельса; 2 — поперечные трещины в головке рельса и изломы из-за них; 3 — продольные горизонтальные и вертикальные трещины в головке рельса; 4 — пластические деформации (смятие, вертикальный, боковой и неравномерный износ головки рельса, длинные волны и рифли); 5 — дефекты и повреждения шейки рельса; 6 — дефекты и повреждения подошвы рельса; 7 — изломы рельса по всему сечению (исключая изломы, учитываемые в структуре кода под цифрой 2); 8 — изгибы рельса в вертикальной и горизонтальной плоскостях; 9 — прочие дефекты и повреждения рельса.

Разновидности дефекта рельсов, определяемые основной причиной его зарождения и развития (второй знак), обозначаются следующими цифрами: 0 — дефекты, связанные с отступлениями от технологии производства рельсов; 1 — дефекты, зависящие от металлургического качества рельсовой стали (местные неметаллические включения, вытянутые вдоль направления прокатки в виде дорожек-строчек) и связанной с этим недостаточной контактно-усталостной прочностью рельсового металла; 2 — дефекты, связанные с некачественной обработкой концов; 3 — дефекты, связанные с нарушением требований инструкции по текущему содержанию железнодорожного пути, а также с нарушением в технологии обработки болтовых отверстий рельсов металлургическими комбинатами, линейными подразделениями и промышленными предприятиями путевого хозяйства дорог; 4 — дефекты, связанные с усиленным специфическим воздействием подвижного состава на рельсы (боксование, юз, ползуны и др.), в том числе и из-за нарушения режимов вождения поездов или из-за недостатков в содержании экипажной части подвижного состава; 5 — дефекты, полученные в результате механических воздействий на рельсы (удар инструментом, рельса о рельс и т. п.); 6 — дефекты в зоне сварных стыков,

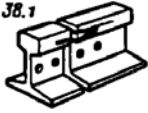

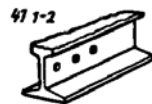
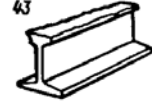
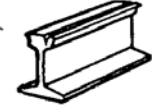

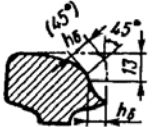
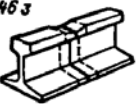
Таблица 4.3

Наименование дефекта и основная причина его появления и развития	Расположение дефекта по длине рельсов	Кодовое обозначение	Схематическое изображение дефекта
Отслоение и выкрашивание металла на поверхности катания головки из-за недостатков технологии изготовления рельсов — волосовин, закатов, плен и т. п.	В стыке Вне стыка	10.1 10.2	
Выкрашивание металла на боковой рабочей выкружке головки из-за недостаточной контактно-усталостной прочности металла	В стыке Вне стыка	11.1 11.2	
Пробоксовка рельсов колесами локомотивов	В любом месте	14	
Отслоение и выкрашивание металла на поверхности катания в закаленном слое головки (при отсутствии наплавки)	В стыке Вне стыка	17.1 17.2	
Выкрашивание наплавленного слоя на поверхности катания головки рельса	В любом месте	18	
Поперечные трещины в головке в виде светлых или темных пятен и изломы из-за них, вызванные внутренними пороками (флокенами, газовыми пузырями и др.)	В стыке Вне стыка	20.1 20.2	


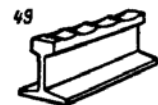
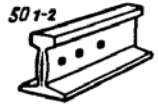
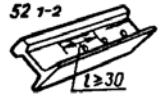
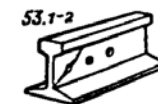

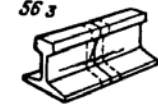
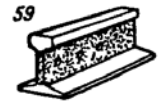
Продолжение табл. 4.3

Наименование дефекта и основная причина его появления и развития	Расположение дефекта по длине рельсов	Кодовое обозначение	Схематическое изображение дефекта
Поперечные трещины в головке в виде светлых или темных пятен и изломы из-за них вследствие недостаточной контактно-усталостной прочности металла	В стыке Вне стыка	21.1 21.2	
Поперечные трещины в головке и изломы из-за них вследствие боксования, юза, прохода колес с ползунами или выбоинами	В любом месте	24	
Поперечные трещины в головке и изломы из-за них вследствие ударов по рельсу (инструментом, рельсом о рельс) и других механических повреждений	В любом месте	25	
Поперечные трещины в головке из-за нарушений технологии сварки рельсов	В месте контактной стыковой сварки	26.3	
Закалочные трещины в закалочном слое металла головки	В стыке Вне стыка	27.1 27.2	
Вертикальное расслоение головки из-за остатков усадочной раковины	В стыке Вне стыка	30В.1 30В.2	
Горизонтальное расслоение головки из-за наличия скоплений неметаллических включений	В стыке Вне стыка	30Г.1 30Г.2	

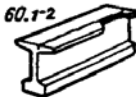
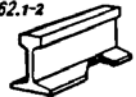
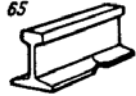
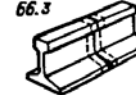

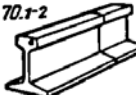

Продолжение табл. 4.3

Наименование дефекта и основная причина его появления и развития	Расположение дефекта по длине рельсов	Кодовое обозначение	Схематическое изображение дефекта
Трещины в головке в месте приварки рельсовых соединителей	В стыке	38.1	38.1 
Волнообразная деформация головки рельса (длинные волны)	По всей длине	40	40 
Смятие и вертикальный износ головки из-за недостаточной прочности металла	В стыке Вне стыка	41.1 41.2	41.1-2 
Смятие головки внутреннего рельса в кривой из-за его перегруза	В любом месте	43	43  43 
Боковой износ головки рельсов сверх допускаемых норм	По всей длине	44	44  44 
Смятие головки из-за неравномерности механических свойств металла в месте сварного стыка	В месте контактной стыковой сварки	46.3	46.3 

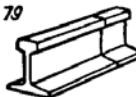
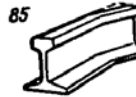
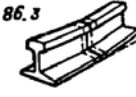
Продолжение табл. 4.3

Наименование дефекта и основная причина его появления и развития	Расположение дефекта по длине рельсов	Кодовое обозначение	Схематическое изображение дефекта
Смятие головки в виде седловины в зоне болтового стыка	В стыке	47.1	47.1 
Короткие (3—12 см) волнообразные неровности на головке рельсов — рифлы	По всей длине	49	49 
Расслоение шейки вследствие дефектов технологии изготовления рельсов	В стыке Вне стыка	50.1 50.2	50.1-2 
Продольные трещины и выколы из-за них в местах перехода головки в шейку	В стыке Вне стыка	52.1 52.2	52.1-2  $l \geq 30$
Трещины в шейке от болтовых и других отверстий в рельсах	В стыке Вне стыка	53.1 53.2	53.1-2 
Трещины в шейке от маркировочных знаков, ударов по шейке и других механических повреждений и выколы из-за них	В любом месте	55	55 
Трещины в шейке в месте сварного шва вследствие дефектов сварки и обработки сварного шва	В месте контактной стыковой сварки	56.3	56.3 
Коррозия шейки рельсов	В любом месте	59	59 

Продолжение табл. 4.3

Наименование дефекта и основная причина его появления и развития	Расположение дефекта по длине рельсов	Кодовое обозначение	Схематическое изображение дефекта
Волосовины в подошве, трещины, выколы части подошвы и изломы из-за этих дефектов	В стыке Вне стыка	60.1 60.2	
Выколы в подошве без видимых дефектов в изломе из-за некачественной ее обработки	В стыке Вне стыка	62.1 62.2	
Трещины и выколы подошвы из-за ударов и других механических повреждений	В любом месте	65	
Трещины в подошве из-за нарушенной технологии сварки рельсов	В месте контактной стыковой сварки	66.3	
Коррозия подошвы рельсов и коррозионно-усталостные трещины	В любом месте	69	
Поперечные изломы рельсов из-за шлаковых включений и других дефектов макроструктуры	В стыке Вне стыка	70.1 70.2	
Поперечные изломы рельсов вследствие прохода колес с большими ползунами или выбоинами	В любом месте	74	

Окончание табл. 4.3

Наименование дефекта и основная причина его появления и развития	Расположение дефекта по длине рельсов	Кодовое обозначение	Схематическое изображение дефекта
Поперечные изломы рельсов без видимых повреждений в изломе	В любом месте	79	
Изгибы рельсов при выгрузке с подвижного состава, ударах по рельсу и т. п.	В любом месте	85	
Нарушение прямолинейности рельсов, допущенное при сварке	В месте контактной стыковой сварки	86.3	
Другие, кроме перечисленных выше, дефекты и повреждения рельсов	В стыке Вне стыка В сварном стыке	99.1 99.2 99.3	99.1-2-3

связанные с недостатками и нарушениями технологии сварки рельсов; 7 — дефекты, связанные с недостатками технологии закалки рельсов; 8 — дефекты, связанные с недостатками и нарушениями технологии наплавки рельсов или приварки рельсовых соединителей; 9 — дефекты, вызванные коррозией или другими, не перечисленными выше причинами.

Буквы "В" и "Г" после второй цифры означают соответственно "вертикальную" и "горизонтальную" ориентацию дефекта (трещины) в рельсе. Цифровое обозначение места расположения дефекта (третья цифра в номере дефекта) принято следующим: 1 — в стыке (на расстоянии до 75 см от торца); 2 — вне стыка; 3 — в зоне контактной стыковой сварки рельсов. Отсутствие третьей цифры в коде означает, что дефект может быть расположен в любом месте по длине рельса.

Согласно классификации, например, дефект 46.3 может быть расшифрован так: смятие головки (4), вызванное недостатком технологии сварки (6), сварка выполнена электроконтактным способом (3).

Дефект рельса характеризуется нарушением, вызвавшим любое отклонение его геометрии или качественных свойств от норм, соблюдение которых обеспечивает работоспособное состояние рельса.

К дефектам рельсов относятся: трещины, отслоения и выкрашивания рельсового металла, все виды износа, величины которого превышают нормированные значения, пластические деформации в виде смятия, сплюсвов металла головки рельса, коррозия, механические повреждения.

Отказ рельса вызывается дефектом, при котором исключается пропуск поездов (полный отказ, например, при изломе рельса) или возникает необходимость в ограничении скоростей движения поездов (частичный отказ, например, образование волнообразных неровностей на поверхности катания головки рельса и т. п.). Рельсы в зависимости от вида их повреждения и дефекта подразделяются на остродефектные и дефектные. Остродефектный рельс — это рельс, представляющий прямую угрозу безопасности движения из-за возможного разрушения под поездом или схода колес с рельса из-за его повреждения. После обнаружения остродефектный рельс подлежит немедленному изъятию из пути (замене). Дефектный рельс — это рельс, у которого в процессе эксплуатации произошло, как правило, постепенное снижение служебных свойств ниже нормативного уровня, однако еще обеспечивается безопасный пропуск поездов, хотя в ряде случаев уже требуется введение ограничения скоростей движения. Такие рельсы заменяются в плановом порядке. Режим их эксплуатации до момента устранения дефектов или планового изъятия решается в зависимости от конкретных условий.

Основными признаками, определяющими остродефектные рельсы в главных и приемоотправочных путях, являются:

поперечные, продольные или наклонные, видимые или внутренние (выявленные дефектоскопными средствами) трещины в головке независимо от их размера (кроме поперечных трещин в головке рельсов типов Р65 и Р75, не выходящих на поверхность и не заходящих за середину головки, взятых в шестидырные накладки на четыре крайних болта), т. е. дефекты второй и третьей групп (20, 21, 24, 25, 26, 27, 30В, 30Г, 38), а также дефекты 14 и 18 при наличии трещин;

продольные трещины и выколы из-за них в местах перехода головки в шейку, начинающиеся с торца рельса с одной или двух сторон шейки, независимо от их размера (дефект 52.1), а также рельсы с выколом части головки или аналогичными трещинами длиной более 30 мм, расположенными вне концов рельса (дефект 52.2);

трещины от болтовых отверстий (дефект 53) и трещины в шейке рельса, независимо от их размеров (дефекты 50, 55 и 56);

местный износ или коррозия кромки подошвы рельсов (дефект 69) глубиной более 8 мм для рельса типа Р75, более 7 мм — Р65 и более 6 мм — Р50 и легче, продольные и поперечные трещины в подошве, независимо от размеров, в том числе трещины коррозионно-усталостного происхождения, выколы части подошвы рельса (дефекты 60, 62, 65, 66);

поперечный излом рельса (дефекты 70, 74, 79).

Признаками, определяющими остродефектные рельсы в станционных путях, являются: рельсы с выколом головки; рельсы с вертикальным износом, при котором реборды колес подвижного состава задевают гайки путевых болтов; рельсы с поперечным изломом; рельсы с другими дефектами, необходимость немедленной замены которых устанавливается дорожным мастером.

Признаками, определяющими дефектные рельсы в главных и приемоотправочных путях, являются: превышение нормативного приведенного, бокового или вертикального износа головки рельса (табл. 4.4); превышение нормированной деформации поверхности катания головки рельса, т. е. при глубине дефектов 14, 40, 46.3, 49 — более 1 мм и дефектов 41, 47.1 — более 1,5 мм; рельсы в главных путях с грузонапряженностью более 25 млн т-км брутто/км в год, имеющие выкрашивание на поверхности катания головки (дефект 10) или на ее выкружке (дефект 11) глубиной более 3 мм при длине более 25 мм, а также в главных при грузонапряженности менее 25 млн т-км брутто/км в год и всех приемоотправочных путях при выкрашивании глубиной более 4 мм и длине более 35 мм; рельсы, имеющие выкрашивание закаленного слоя в стыке (дефект 17.1) на длине более 25 мм при глубине более 3 мм или при глубине более 3 мм на остальной части рельса (дефект 17.2), а также имеющие выкрашивание закаленного слоя на длине более 25 мм на глубину более 3 мм (дефект 18); рельсы с продольной горизонтальной трещиной под головкой длиной до 30 мм, не выходящей в торец (дефект 52.2), или краснотой под головкой как признаком этой трещины; рельсы, пораженные коррозией шейки (дефект 59) на глубину более 2 мм для типа Р50 и легче, более 3 мм — Р65 и более 4 мм — Р75, а также имеющие местный износ подошвы от костылей и других деталей креплений или коррозию подошвы (дефект 69) на глубину более 6 мм для типа Р50 и легче, 7 мм — Р65 и 8 мм — Р75; рельсы, имеющие длину менее 4,5 м (исключая рельсы на стрелочных съездах, где длина рельсов определяется эпюрой, и рельсов с клееболтовым стыком), и "близнецы", в сумме дающие длину 12,5 м и менее; рельсы с отрубленными (неопиленными) или отрезанными газоплазменным способом концами независимо от длины, а также рельсы с прожженными отверстиями.

Таблица 4.4

Вид износа и наименование путей, на которых эксплуатируются рельсы	Значение нормативного износа, мм, для рельсов типа	
	P75, P65	P50
Приведенный (вертикальный плюс половина бокового) износ головки:		
главные пути со скоростями пассажирских поездов, км/ч:		
141—160	8	—
121—140	9	7
главные пути с грузонапряженностью более 25 млн. т-км брутто/км в год и со скоростями не менее 120 км/ч	12	10
главные пути с грузонапряженностью менее 25 млн. т-км брутто/км в год и приемоотправочные пути на линиях с грузонапряженностью менее 25 млн. т-км брутто/км в год со скоростями не менее 120 км/ч:	16	13
остальные приемоотправочные пути	20	16
прочие станционные пути	22	19
Боковой износ головки:		
главные пути со скоростями движения пассажирских поездов, км/ч:		
141—160	6/6	—
121—140	7/6	6/6
главные и приемоотправочные пути с грузонапряженностью более 25 млн. т-км брутто/км в год и скоростями движения 120 км/ч и менее	15/14	13/12
главные пути с грузонапряженностью менее 25 млн. т-км брутто/км в год и остальные приемоотправочные пути	18/17	16/15
прочие станционные пути	—	18/17
Вертикальный износ головки при стыковании рельсов двухголовыми накладками независимо от класса и категории путей, в которых эксплуатируются рельсы	13	10

Примечание. В знаменателе дается значение бокового износа головки при измерении его под углом 45°.

Признаками, определяющими дефектные рельсы в станционных путях, являются: рельсы, имеющие износ, превышающий нормативы, приведенные в табл. 4.4, рельсы с трещинами в головке, шейке, подошве и местах перехода шейки в головку и подошву; рельсы с выколом подошвы; рельсы с "провисшими" концами, включая смятие, на 8 мм и более, а также с уширением головки внутрь колес, которое делает невозможным содержание ее по ширине в пределах допусков; рельсы короче 4,5 м (включая рельсы на стрелочных переводах, длина которых установлена эпюрой).

4.4. МАРКИРОВКА ДЕФЕКТОВ. ПРОПУСК ПОЕЗДОВ ПО ОСТРОДЕФЕКТНЫМ РЕЛЬСАМ

Остродефектные и дефектные рельсы, выявленные при дефектоскопном или другом контроле, маркируют следующим образом:

на шейке с внутренней стороны колес на расстоянии около 1 м от левого стыка (зазора) светлой масляной краской наносят: для остродефектных рельсов — два, а для дефектных рельсов — один косой крест;

на шейке рядом с дефектом с той стороны, с которой виден дефект (или всегда с внутренней стороны колес, если дефект обнаружен дефектоскопными средствами), повторяются два косых креста для остродефектных рельсов и один косой — для дефектных с указанием кода дефекта. Если дефект распространен по всей длине (например, износ), то в середине рельса указывают номер кода этого дефекта с черточками — соответственно перед и после кода (-41.2-).

Если дефект расположен на левом конце в пределах стыка, то код дефекта ставят рядом с первой маркировкой и вторую маркировку не делают. При расположении дефекта на правом конце рельса в пределах стыка дополнительно к первой маркировке повторяют ее на правом конце с указанием кода дефекта.

При замене остродефектного рельса с обнаруженным в нем дефектом маркировку делают сразу же после изъятия его из пути. По остродефектным рельсам с трещинами без полного излома возможен пропуск отдельных поездов со скоростями движения не более 15 км/ч, а в необходимых случаях — с проводником.

По рельсам типов P75 и P65 с внутренними трещинами, не выходящими на поверхность, разрешается пропуск поездов со скоростью до 25 км/ч.

По рельсам с поперечным изломом или выколом части головки без принятия специальных мер пропуск поездов не допускается. Если поезд остановлен у лопнувшего рельса (полный отказ), по которому, согласно заключению бригадира пути, а при его отсутствии — машиниста, возможно пропустить поезд, то по нему разрешается пропустить только один поезд со скоростью не более 5 км/ч. По лопнувшему рельсу в пределах моста или тоннеля пропуск поездов во всех случаях запрещается. При поперечном изломе или трещине рельсовой плети бесстыкового пути, если образовавшийся зазор меньше 25 м, до вырезки дефектного места допускается концы плети соединять накладками, сжатыми струбцинами утвержденного МПС типа. В этом случае поезд в течение 3 ч могут пропускаться по дефектной плети со скоростью не более 25 км/ч. Такой стык должен находиться под наблюдением специально выделенного работника.

4.5. СРОКИ СЛУЖБЫ РЕЛЬСОВ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ

Сроки службы рельсов бесстыкового пути в зависимости от условий эксплуатации определяются или износом головки (в основном боковым — $[h_6] \leq 15$ мм), или интенсивностью одиночного выхода (появлением острodefектных мест на сварных плетях).

В кривых участках пути при радиусах менее 500—550 м объемы наработки тоннажа $T_{\text{изн}}$, млн. т брутто, между сплошными сменами плетей, как правило, определяются износом по формуле $T_{\text{изн}} = \frac{[h_6]}{\gamma_6}$,

где γ_6 — интенсивность нарастания бокового износа, мм/млн. т брутто груза (см. табл. 4.1). На кривых участках пути при радиусах более 500—550 м интенсивность бокового износа становится незначительной и повреждения головки, в том числе вышеуказанными дефектами (см. п. 4.3), являются определяющим фактором сроков службы бесстыкового пути. При этом следует строго различать дефектообразование в рельсах уравнильных пролетов, на участках которых нередко приходится заменять три-четыре уравнильных рельса после наработки 250—350 млн. т брутто, и на сварных плетях (см. рис. 4.5). Следует отметить, что в зоне уравнильных пролетов при длине рельсов 12,38—12,50 м интенсивность одиночного изъятия оказывается существенно большей, чем на участках звеньевое пути при деревянных шпалах, что объясняется меньшей длиной рельсов, повышенной жесткостью пути и худшими условиями эксплуатации, в том числе подвижками коротких рельсов за счет изменения длины концевых участков плетей и увеличенными стыковыми зазорами.

На рис. 4.5 приводятся также зависимости нарастания появления дефектных (острodefектных) мест в сварных плетях на прямых участках пути и кривых радиусом $R > 1000$ м, а также при $R = 1000$ м, $R = 800$ м и $R = 600$ м (рельсы типа Р65 термообработанные, осевые нагрузки — 180 кН/ось). Для прямых участков пути и кривых $R > 1000$ м для линий 1—3-го классов периодичность выполнения капитального ремонта со сплошной сменой плетей рекомендуется после наработки 600—800 млн. т брутто в зависимости от скоростей движения пассажирских и грузовых поездов. К этому времени на плетях с большой степенью вероятности поврежденность дефектами будет на уровне одного-двух мест на длине 1 км.

В Положении о системе ведения путевого хозяйства на дорогах России рекомендуется между плановыми капитальными ремонтами или сплошными заменами рельсов проводить дополнительную смену в кривых, в том числе при $R = 651 \div 1000$ м — один раз; $R = 351 \div 650$ м — два раза; $R = 350$ м и менее — три раза. Дополнительные сплошные замены плетей в кривых $R = 351 \div 650$ м и $R < 350$ м определяются, в основном, быстрым нарастанием бокового износа. Для кривых $R = 651 \div 1000$ м к моменту проведения внеочередной сплошной смены интенсивность выявленных острodefектных мест не должна превышать одного на 1 км. Все эти данные относятся к случаю эксплуатации бесстыкового пути с термоупрочненными рельсами типа Р65 при отсутствии регулярных профильных шлифовок и дозированной лубрикации рельсов в кривых $R < 1000$ м.

Лубрикация рабочих кантов рельсов в кривых может в 4—5 раз снижать коэффициент трения между гребнями колес и рельсом, естественно предположить такое же уменьшение бокового износа головки и гребней колес локомотивов и вагонов. Однако, как показывают результаты комплексных исследований специалистов ВНИИЖТа и дорог, такого большого снижения бокового износа рельсов на дорогах, где проводится лубрикация, не получается. Причиной этого является совмещение смазывания рабочих граней рельсов в кривых малых радиусов, расположенных, как правило, на перевальных участках, с применением локомотивными бригадами песка для повышения сцепной силы тяги. Прилипание песка к рабочим кантам рельсов весьма сильно снижает эффект лубрикации. Применяющиеся на дорогах смазочные материалы в разной мере аккумулируют на боковых рабочих гранях мелкозернистый песок, направляемый с локомотива на поверхность головки рельса. Широкое применение лубрикации на дорогах России позволило в период 1995—1999 гг. снизить удельный выход рельсов по боковому износу более чем в четыре раза.

4.6. ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗНОСА ГОЛОВКИ НА ПОЯВЛЕНИЕ В РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЯХ ДЕФЕКТОВ КОНТАКТНО-УСТАЛОСТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Появление и развитие внутренних продольных трещин в головке рельса характерно для прямых и кривых с $R = 800 \div 1000$ м, когда интенсивность бокового износа незначительна. Износ металла головки и, прежде всего ее боковой износ, вносит коррективы в процесс развития внутренних дефектов.

Внутренние продольные трещины возникают на расстоянии Δ от поверхности головки (ее рабочей выкружки), равном обычно 3—8 мм в зависимости от качества рельсовой стали, уровня осевых нагрузок и условий эксплуатации.

Образование ВПТ имеет место при определенной наработке тоннажа, обозначим его $T_{ВПТ}$. Для того чтобы к моменту возможного зарождения ВПТ боковой износ ликвидировал строчку-дорожку нематаллических включений, в зоне которой могла образоваться зародышевая микротрещина (при боковом износе $h_b = \Delta$), необходимо иметь

его интенсивность $\gamma = \frac{T_{ВПТ}}{h_b}$. Эту интенсивность бокового износа обо-

значим $\gamma_{ВПТ}^6$. Если $\gamma_{факт}^6 > \gamma_{ВПТ}^6$, то боковой износ при наработке $T_{ВПТ}$ проходит по головке рельса за пределами возможного расположения ВПТ (линия 1—2—3 на рис. 4.6) и в процессе эксплуатации внутренние дефекты контактно-усталостного происхождения в головке возникать не будут. На рис. 4.6, б этому условию соответствует линия OA . В случае когда $\gamma_{факт}^6 < \gamma_{ВПТ}^6$, боковой износ головки определяется линией 1'—2'—3' (см. рис. 4.6, а) и при наработке $T_{ВПТ}$ удаления металла при износе в зоне зарождения ВПТ не происходит. Однако развитие зародышевой микротрещины и ее преобразование в ВПТ замедляется,

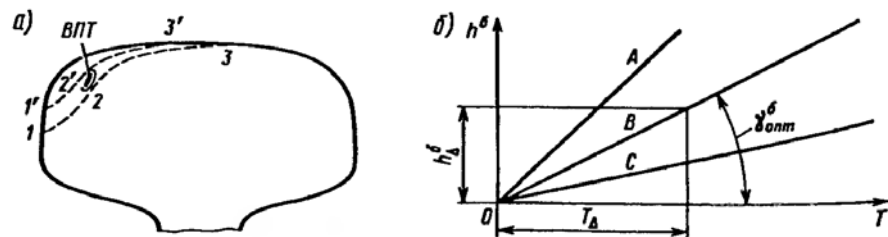


Рис. 4.6. Схема повреждения головки рельса (а) при различной интенсивности бокового износа и график интенсивности бокового износа (б): OA — соответствует линии 1—2—3, OC — соответствует линии 1'—2'—3'; OB — оптимальное решение

так как по мере нарастания бокового износа максимум контактных напряжений перемещается к середине головки, где металл меньше подвергался знакопеременным нагрузкам.

Максимумы касательных напряжений в головке рельса τ_{zx} и τ_{zy} при имеющихся на сети дорог России колесных нагрузках располагаются на расстоянии 3—5 мм от поверхности выкружки, уменьшаясь наполовину на глубине 8 мм. Первые две цифры (3—5 мм) корреспондируются со среднестатистическими значениями глубины залегания ВПТ. Проведенные специалистами ВНИИЖТа комплексные исследования позволили получить количественные значения $\gamma_{опт}$ для термообработанных рельсов типа Р65 (табл. 4.5).

На экспериментальном кольце ВНИИЖТа, которое включает участки круговых кривых радиусами 390—600 м, боковой износ головки практически полностью отсутствует, что объясняется специально организованной избыточной смазкой рельсов. Одиночный выход испытываемых рельсов происходит исключительно по дефектам контактно-усталостного происхождения.

Ежегодный статистический анализ выхода рельсов, выполняемый ВНИИЖТом, показывает, что смазка, активно проводимая на дорогах в последние годы, существенно снизила объемы сплошной смены рельсов в кривых по боковому износу, но уже появились участки, где из-за излишней смазки рабочих кантов наружных рельсов звеньевое пути в кривых $R = 300 \div 400$ м отмечается их одиночный выход по дефекту 21 (появление внутренней трещины в головке). Эти факты подтверждают необходимость постоянного контроля за интенсивностью нарастания бокового износа рельсов в кривых участках пути радиусом 650 м и менее, где и выполняются работы по смазке.

На участках с кривыми $R > 550 \div 650$ м боковой износ обычно не определяет сроки службы рельсов. Их одиночное изъятие или необходимость вырезания поврежденного места плетей бесстыкового пути определяется появлением дефектов контактно-усталостного происхождения, что имеет место при интенсивности бокового износа $\gamma_{факт}^6 < \gamma_{опт}^6$, приведенного в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Радиусы кривых, м	Интенсивность износа головки $\gamma_{опт}$, мм/млн. т брутто, при реализации которой ($\gamma_{факт} > \gamma_{опт}$) ВПТ не возникают	
	Боковой износ	Вертикальный износ
300—400	0,05	0,020
401—500	0,04	0,015
501 и более	0,03	0,010

Проблема исключения появления внутренних контактно-усталостных дефектов в головке плетей бесстыкового пути (а отсюда продление срока их службы) может быть решена дополнительным удалением металла головки до того уровня, когда $\gamma_{\text{факт}}$ становится равным $\gamma_{\text{опт}}$, приведенной в табл. 4.5. Эти работы могут выполняться рельсошлифовальными поездами с активными рабочими органами типа СПЕНО, КРШ-БМЗ и др.

4.7. ПРОФИЛЬНАЯ ШЛИФОВКА РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЕЙ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ

В системе проведения комплекса работ по текущему содержанию бесстыкового пути, профильная шлифовка с применением РШП, имеющих активные рабочие органы, позволяет:

формировать очертание головки рельса согласно заданному ремонтному профилю, обеспечивающему невозникновение дефектов контактно-усталостного происхождения;

ликвидировать волнообразный износ.

При новых рельсах, когда металл головки еще почти не испытывал воздействия знакопеременной контактной нагрузки, задача профильной шлифовки — удалить обезуглероженный слой и заводские геометрические неровности до уровня требований в соответствии с максимально разрешенными скоростями на данном участке. В этом случае ремонтный профиль головки после шлифовки повторяет проектную форму нового рельса и является симметричным. Съем металла по оси рельса обычно не превышает 0,20—0,35 мм.

Профильная шлифовка рельсов, имеющих наработку до 130 млн. т брутто, когда в головке еще не образовались внутренние дефекты, проводится с целью ликвидации неровностей, а также предотвращения появления в головке контактно-усталостных повреждений. Периодичность последующих профильных шлифовок таких рельсов определяется интенсивностью развития волнообразного износа, но не реже, чем: при $R > 1000$ м — 30—40 млн. т брутто; $R = 600 \div 1000$ м — 45—55 млн. т брутто. Профильная шлифовка рельсовых плетей, имеющих наработку большую, чем 130—150 млн. т брутто, и где до этого обработка рельсов РШП с активными рабочими органами не проводилась (у которых в зоне рабочего канта на глубине 3—6 мм образовались усталостные повреждения металла), проводится с целью изменить форму головки и не допустить дальнейшего развития дефектов. В этом случае шлифовка выполняется в такой последовательности: сначала удаляются волнообразные неровности, а далее производится профильная шлифовка, в результате которой будет иметь место двухточечное контактирование колеса и рельса с образованием "про-

света" $\Delta = 0,5—0,8$ мм и разгрузкой того участка поверхности головки, под которым располагается металл, имеющий усталостные дефекты (рис. 4.7).

Периодичность последующих профильных шлифовок в этом случае определяется интенсивностью нарастания волнообразного износа, а при его отсутствии необходимостью предотвращения возникновения внутренних усталостных дефектов. Последнее связано с объемом наработки тоннажа T_{Δ} , достаточного для ликвидации "просвета" Δ за счет износа головки в зонах 1—2 и 3—4. Если после пропуска тоннажа T_{Δ} не делать очередную профильную шлифовку, одиночный выход рельсов по дефектам контактно-усталостного происхождения возобновится (рис. 4.8).

Ремонтные профили, исключая первичную обработку новых рельсов, предусматривают повышенный съем металла в зоне рабочей выкружки головки. Поэтому они проектируются асимметричными. Для их проектирования необходимо иметь очертания головки рельса до начала шлифовки, величину волнообразного износа и уже имевшую место наработку тоннажа, выход рельсов на данном участке, его план и профиль. В технических указаниях по шлифованию рельсов для РШП с активными рабочими органами, разработанных специалистами ВНИИЖТа и Департамента пути и сооружений МПС, приводятся типовые ремонтные профили для различных условий эксплуатации. После их "вписывания" в очертание рельса, фактически имеющее

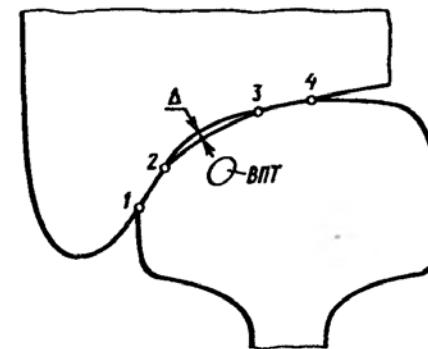


Рис. 4.7. Схема взаимодействия колеса и рельса после образования ремонтного профиля

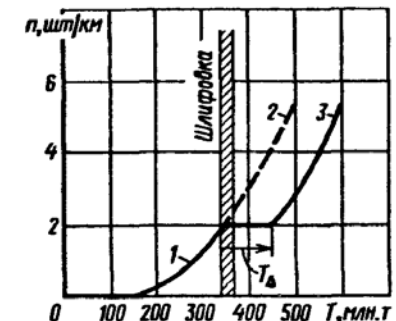


Рис. 4.8. Зависимость выхода рельсов по дефектам n от пропущенного тоннажа T :
1 — до шлифовки; 2 — без шлифовки;
3 — после разовой шлифовки

место на данном участке, начальник и инженер-технолог РШП устанавливают требуемую величину съема металла головки в контрольных сечениях. Имея эти исходные данные, а также зная технические возможности РПШ, совместно с руководством дистанции пути решается вопрос о числе рабочих проходов РШП, размерах и количестве необходимых "окон" в графике движения поездов. Величина съема металла головки за один проход РШП зависит от качества металла, количества рельсошлифовальных вагонов в поезде, рабочей скорости, погодных условий. Для РШП КРШ-БМЗ, состоящего из десяти вагонов, она колеблется от 0,075 до 0,165 мм при термообработанных рельсах Р65.

При волнообразном износе нередко величину съема определяют как уменьшение высоты горбов. Результаты экспериментов показывают, что в этом случае при одинаковых объемах снимаемого металла уменьшение высоты горба Δh идет с затуханием. Так, например, при первом проходе РШП СПЕНО $\Delta h = 0,120$ мм, втором проходе — 0,105 мм, третьем — 0,090 мм. Это необходимо учитывать при установлении потребного количества рабочих проходов РШП в случае его настройки на ликвидацию волнообразного износа.

Эффективность профильной шлифовки РШП с активными рабочими органами оценивается следующими показателями: совпадение фактического очертания головки рельса после шлифовки с заданным ремонтным профилем; сопоставление лент волнообразного износа до и после шлифовки

Кроме указанных двух позиций, на ряде зарубежных дорог к актам приемки требуется приложить справку, в которой указывается, что после проведения профильной шлифовки в течение, например, 6 мес., на данном участке не имел место выход рельсов по дефектам контактно-усталостного происхождения. В этой связи оплата за выполненную работу производится в два этапа: 65—75 % всей договорной суммы заказчик переводит исполнителю РШП сразу после окончания работ и их приемки, остальные 25—35 % спустя 6 мес.

На дорогах России РШП с активными рабочими органами (типа КРШ-БМЗ, СПЕНО и др.) работают на Октябрьской, Горьковской, Московской, Западно-Сибирской и других дорогах. Опыт применения таких рельсошлифовальных поездов на отечественных и зарубежных дорогах, в том числе в США, Германии, Канаде, Австралии, показывает, что периодической профильной шлифовкой рельсов их срок службы можно повысить в 1,5—2,0 раза

Большой эффект достигается тогда, когда шлифовка производится по заранее разработанным программам (режимам), составленным в соответствии с техническими требованиями на производство данного вида работ на конкретном участке пути или групп аналогичных участков. Современные рельсошлифовальные поезда типа СПЕНО и другие оборудованы автоматикой. На них установлены бортовые ЭВМ, реализующие заданные программы. Также автоматизированы записи (и их обработка) продольного и поперечного профиля головки обрабатываемых в пути рельсов. Обычно поезд формируется из двух секций (четырёх-, пятивагонных), каждая из которых является автономной самоходной единицей, имеющей 48—56 поворачивающихся рельсошлифовальных головок.



БЕССТЫКОВОЙ ПУТЬ ИЗ СТАРОГОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

5.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В процессе эксплуатации бесстыкового пути, уложенного из новых материалов, по мере наработки тоннажа происходит постепенное снижение служебных свойств рельсов, рельсовых скреплений, балластного слоя.

Для того чтобы правильно вторично использовать все элементы снимаемой рельсошпальной решетки, необходимо знать:

1) условия, в которых эксплуатировался бесстыковой путь до его перекладки, — план, профиль пути, объем наработки, уровень осевых нагрузок;

2) для рельсов, помимо величины износа и формы поверхности, необходимо знать степень развития в головке внутренних продольных трещин, которые (по малости) еще не могут быть обнаружены типовыми дефектоскопными средствами. Это можно установить, сопоставляя объемы наработки с величинами вертикального и бокового износа. ВПТ не успевают появиться (и развиваться), если интенсивность бокового износа, мм/млн. т брутто, будет: при $R = 300+400$ м больше 0,005; при $R = 400+500$ м больше 0,004 и при $R \geq 500$ м — 0,003. Износ головки может образоваться или только за счет работы сил трения колес и рельса, или же за счет двух факторов: уже упомянутого выше и удаления металла головки при профильной шлифовке;

3) помимо износа головки, необходимо знать имеющую место периодичность профильных шлифовок, а также очертания ремонтных профилей, по которым она производилась РШП с активными рабочими органами;

4) состояние скреплений и железобетонных шпал, которое оценивается согласно действующим инструкциям, а также требованиям, изложенным ниже;

5) результаты обследования балластной призмы и грунтов основной площадки земляного полотна.

Начальник службы и дистанции пути также должны иметь информацию, для каких путей предназначается перекладываемая рельсошпальная решетка, какие поезда и с какими скоростями будут по ней обращаться.

Специалистами ВНИИЖТа были проведены испытания на стандах и на опытных участках (с использованием электронагрева рельсов) устойчивости бесстыкового пути, уже имевшего наработку 200—400 млн. т брутто, уложенного на песчано-гравийном балласте. В табл. 5.1 приводятся расчетные значения $[\Delta t_y]$ максимально возможного повышения температуры плетей бесстыкового пути, допускаемого по условию устойчивости на гравийном и песчано-гравийном балластах.

Допускаемое понижение температуры рельсовых плетей определяют расчетом прочности рельсов, основанном на условии, что сумма растягивающих напряжений, возникающих от воздействия подвижного состава и изменения температуры, не должна превышать допускаемого напряжения материалов рельсов:

$$k_{п}\sigma_k + \sigma_t \leq [\sigma],$$

где $k_{п}$ — коэффициент запаса прочности, равный 1,4 для рельсов, пропустивших нормативный тоннаж; σ_k — напряжения в кромках подошвы рельса от изгиба и кручения под нагрузкой от колес подвижного состава, МПа; σ_t — напряжения в поперечном сечении рельса от действия растягивающих сил, возникающих при понижении температуры рельса по сравнению с температурой его закрепления; $[\sigma]$ — допускаемое напряжение, равное 300—350 МПа в зависимости от наработки тоннажа.

Таблица 5.1

Тип рельса	Экюра шпал	Повышение температуры рельсовой плети $[\Delta t_y]$, °С, допускаемое по условию устойчивости пути на гравийном и песчано-гравийном балласте					
		в прямых участках	в кривых радиусом, м				
			2000	1200	1000	800	600
<i>При деревянных шпалах</i>							
P75, P65	2000	40	35	32	30	28	24
	1840	37	32	29	28	26	22
	1600	32	28	25	24	22	19
P50	2000	44	38	35	33	30	26
	1840	40	35	32	30	28	24
	1600	35	31	28	26	24	21
<i>При железобетонных шпалах</i>							
P75, P65	2000	45	40	36	34	32	27
	1840	42	37	33	32	29	25
	1600	36	32	29	28	25	22
P50	2000	49	44	40	38	35	30
	1840	46	40	36	35	32	27
	1600	39	35	32	30	28	24

5.2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К РЕЛЬСАМ И СКРЕПЛЕНИЯМ ПРИ ИХ ВТОРИЧНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ

Один из источников получения материалов для усиления малодеятельных и станционных путей — старогодная путевая решетка с железобетонными шпалами, снимаемая при капитальном ремонте с главных путей.

В 60—70-х годах на дорогах СССР, имевших бесстыковой путь, наработка тоннажа стала достигать нормативной, а иногда и превышать ее. Начался массовый капитальный ремонт колеи. Снимаемую, отработавшую свой первый срок путевую решетку использовали сначала плохо. На базах ПМС образовались штабели 25-метровых звеньев с железобетонными шпалами. В пути старые рельсы разрезали автогенном и звенья убирала кранами УК-25/18 или УК-25/9. При этом на каждом километре теряли до 5 т рельсовой стали, так как при повторной укладке этих рельсов их концы обрезали.

Появление передвижных рельсосварочных машин позволило сваривать электроконтактным способом снятые старогодные рельсы снова в плети с предварительной обрезкой концов электропилой. Эти плети укладывали на неглавных станционных и прочих малодеятельных путях. Зачастую снятые звенья с железобетонными шпалами возвращали в малодеятельные пути целиком, без обрезки пилой и без сварки.

Усиление станционных и малодеятельных путей укладкой старогодных рельсов тяжелых типов, снятых с главного пути, позволило более широко разрабатывать идею бесстыкового пути с материалами повторного применения.

Опыт железных дорог США, Канады, Австралии, а также стран Европы показал, что там давно действует система неоднократного использования материалов верхнего строения. Так, в США ведется специальная статистика ежегодного устройства бесстыкового пути (с новыми и старогодными материалами). По этим данным еще 15 лет назад плети из старогодных рельсов служили на 3,8 тыс. км путей из общего протяжения около 130 тыс. км (3,1 %). На дорогах Канады их доля составляет 4 %, на линии Квебек — Лабрадор — 10 %.

В Италии ежегодно ремонтируют по 600 км бесстыкового пути, причем заменяют устаревшие рельсы типа UIC54 рельсами UIC60, вырезают стыки термитной сварки, а затем эти же рельсы сваривают электроконтактным способом в 36-метровые, которые укладывают в звеньевой путь на малодеятельных линиях.

В Германии принята трехступенчатая система использования рельсов.

В Польше с 1969 г. старые маломощные рельсы на главных линиях заменяют новыми тяжелыми UIC60 и P65, а на второстепенных линиях — старогодными UIC54 и P65.

В Бельгии после первого срока службы плети при реконструкции пути заменяют полностью, независимо от наработки тоннажа на разных участках. Отрезки по 240 м, вырезанные из "длинных" плетей, вывозят на завод, где после ремонта и вырезки стыков, сваренных термитным способом, вновь сваривают, но уже электроконтактным способом, в плети и укладывают на второстепенных линиях.

Кроме рельсов, на зарубежных дорогах повторно используют (при необходимости — с ремонтом) скрепления и шпалы. Из непригодных для путевой решетки шпал устраивают настилы переездов, тротуаров, ограждений. Из части таких деревянных шпал после их измельчения формируют композиционные шпалы (смесь древесной крошки с полимерным вяжущим), а из железобетонных — щебень. Сжигать деревянные шпалы запрещено по всех развитых странах.

Совместными усилиями ученых ВНИИЖТа и железнодорожных ВУЗов, работников дорожных станций и линейных путейцев к настоящему времени выстроена довольно стройная система повторного использования элементов рельсошпальной решетки бесстыкового пути. Юридическое оформление она получила в инструкциях МПС.

В 1982 г. были повторно утверждены Технические указания по применению старогодной решетки с железобетонными шпалами, старогодными рельсами и скреплениями. Во ВНИИЖТе проведены исследования устойчивости такого пути с балластом из мелкозернистого щебня и гравия, а также с гравийно-песчаным балластом. Они показали, что в определенных эксплуатационных и климатических условиях возможна эксплуатация бесстыкового пути из материалов повторного применения.

В последнее десятилетие значительно изменилась обстановка на железнодорожном транспорте. Прогрессирует дефицит новых материалов верхнего строения и путевых машин, что существенно затрудняет и удорожает ведение путевого хозяйства.

В эти же годы сокращается объем грузовых перевозок. Сейчас в стране нет линий не только со сверхвысокой грузонапряженностью (170 млн. т·км брутто/км в год), но и с высокой (80 млн. т·км брутто/км в год и более). Везде уменьшилась нагрузка на путь, увеличились сроки нормативной наработки тоннажа. Все это позволило пересмотреть нормативы применения старогодной путевой решетки в сторону их увеличения на главных магистральных и на менее деятельных линиях.

Использование в бесстыковом пути старогодных материалов выполняется в соответствии с ТУ-2000, Указаниями об использовании старогодных рельсов на железных дорогах МПС России (1999 г.), Техническими условиями "Рельсы железнодорожные старогодные отремонтированные сварные" (1999 г.), Техническими указаниями на переборку и применение старогодной путевой решетки на железобетонных шпалах (1998 г.).

На путях 1-го и 2-го классов, где скорость движения поездов не превышает 100 км/ч, при укладке бесстыкового пути могут применяться плети, сваренные из старогодных рельсов, прошедших в РСР ре-

монт с профильной обработкой поверхности катания головок на профильно-строгальном, фрезерном и рельсошлифовальном станках. Шпалы и крепления должны быть новыми.

На путях 3—5-го классов для замены верхнего строения на более мощное или менее изношенное укладывается рельсошпальная решетка, собранная либо полностью из старогодных материалов, либо в сочетании старогодных материалов с новыми.

Рельсовые плети, предназначенные к укладке в пути 3-го класса, а также в главные пути 4-го класса шлифуются в пути рельсошлифовальным поездом, производящим профильную шлифовку головки рельсов. В остальные пути 4-го и 5-го классов рельсовые плети могут перекладываться без шлифовки.

В зависимости от пропущенного тоннажа, износов и повреждений старогодные рельсовые плети делятся на три группы годности. Признаки, определяющие группу годности старогодных неремонтированных рельсовых плетей типа Р65, приведены в табл. 5.2. Величины этих показателей приняты такими же, как для одиночных неремонтированных рельсов. В табл. 5.3 даются величины этих же показателей для плетей, отремонтированных в пути с обработкой головки рельсошлифовальными поездами.

При обнаружении в плети, подготавливаемой для перекладки, опасных дефектов, относящих рельс в разряд острodefekтных, требующих вырезки и последующего восстановления сваркой, а также при наличии в ней мест, не восстановленных сваркой (см. п. 4.5.2 ТУ-2000), если общее число их в плети длиной 600—800 м превышает пять штук, в плети длиной 400—599 м — три и в плети длиной 400 м — две, такая плеть, как правило, повторно не укладывается, а разрезается на рельсы длиной 25 м. При меньшем числе опасных дефектов и мест, не восстановленных сваркой, дефектные места вырезаются, и плеть восстанавливается сваркой. Плетей, имевшие хотя бы один излом по рис. 69 или с выявленными местами возможного зарождения этого дефекта, могут быть переложены только в пути 5-го класса.

Группы годности плети определяются оставшимися дефектами поверхности катания. Если размеры большей части этих дефектов не превышают величин, по которым рельсы относятся к I группе годности (см. табл. 5.2), а размеры остальных соответствуют II группе годности и число их в плети длиной 600—800 м не превышает пяти штук, в плети длиной 400—599 м — трех штук и длиной менее 400 м — двух, то дефекты, по которым рельсы относятся ко II группе годности, удаляются, а плети относятся к I группе годности. Если число дефектов с размерами, по которым рельсы относят ко II группе годности, в плети длиной 600—800 м превышает пять, в плети 400—599 м — три и менее 400 м — два, то эти плети относят ко II группе годности. Подобные же требования могут быть предъявлены к плетям при разграничении их между II и III группами годности.

По рельсовым плетям, подлежащим перекладке, рельсошлифовальный поезд пропускается в течение года до их снятия или в течение 6 мес. после их укладки на место повторной эксплуатации.

Не ранее, чем за 10 дней до снятия должны проводиться наружный осмотр плетей и проверка дефектоскопами. Дефектные места помечают на шейке рельса для последующей вырезки.

Окончательно старогодные плети ремонтируют внутри колеи на месте их повторной укладки или на станционных путях станций, прилегающих к перегонам, с которых снимаются или на которые будут укладываться старогодные плети.

В уравнительных пролетах путей 3—5-го классов, как правило, должны укладываться отремонтированные старогодные рельсы типа, группы годности и вида закалки, соответствующие примыкающим плетям. Как исключение, допускается укладка рельсов, имеющих более высокую группу годности. Несовпадение стыкуемых концов рельсов не должно превышать по высоте и ширине головки на путях 1—3-го классов 1 мм, а 4—5-го классов — 2 мм.

Таблица 5.2

Показатель	Величина показателя для старогодных неремонтированных рельсовых плетей Р65 по группам годности				
	I-A	I	II	III	III-T
Наработка тоннажа, млн. т брутто	Менее 300	Более 300, но менее нормативной	До 20 % сверх нормативной	До 50 % сверх нормативной	Более 50 % сверх нормативной
Износ головки, мм, не более:					
приведенный	6	9	12	15	
горизонтальный	6	6	8	10	
вертикальный	3	6	8	10	
Плавные вмятины и забоины, мм, не более	1	2	3	4	
Уменьшение толщины подшвы от коррозии, мм, не более	1	2	3	4	
Равномерный наплыв металла без трещин и расслоений, мм, не более:					
со стороны рабочей грани	0,5	1	2	2	
со стороны нерабочей грани	1,5	2	3	4	
Глубина волнообразного износа поверхности катания головки на длине 1 м, мм, не более	0,5	1	1,5	2	
Седловинны, мм, не более	0,5	1	1,5	2	
Вертикальное смятие головки в сумме с провисанием концов, мм, не более	0,8	1	1,5	2	

Таблица 5.3

Показатель	Величина показателя для старогодных рельсовых плетей Р65, отремонтированных в пути с обработкой головки РШП			
	по группам годности			
	I-A-ШП	I-ШП	II-ШП	III-ШП
Наработка тоннажа, млн. т брутто	Менее 300	Более 300, но менее нормативной	До 20 % сверх нормативной	До 50 % сверх нормативной
Износ головки после обработки, мм, не более:				
горизонтальный	6	6	8	10
вертикальный	6	6	7	10
Плавные вмятины и забоины на подошве рельса, мм, не более	1	2	3	4
Уменьшение толщины подошвы от коррозии, мм, не более	0,5	0,5	1	2
Равномерный наплыв металла без трещин и расслоений со стороны нерабочей грани, мм, не более	0,5	1,5	2	2,5
Глубина волнообразного износа поверхности катания головки на длине 1 м, мм, не более	0,3	0,3	0,8	1,0
Седловины и локальные неровности на поверхности катания головки, мм, не более	0,3	0,5	0,8	2
Вертикальное смятие головки в сумме с провисанием концов, мм, не более	0,5	1,5	1,8	2

На подавляющем протяжении бесстыкового пути отечественных дорог на железобетонных шпалах в качестве промежуточных креплений приняты клеммные подкладочные типа КБ. Эти крепления, при наличии в них ряда существенных недостатков (в том числе многодетальность, частые изломы пружинных клемм и т. д.), обеспечивают устойчивую работу бесстыкового пути.

В последние годы в порядке широкой эксплуатационной проверки жесткая клемма КБ (плюс двухвитковая шайба) заменяется на пружинную скобу торсионного типа (рис. 5.1).

Для вторичного использования в РСП после разборки старогодной решетки (для рассортировки по степени износа) поступают промежуточные крепления типа КБ-65. На дорогах в РСП созданы цеха для обследования, рассортировки и ремонта этих креплений.

Обобщение опыта дорог (в том числе Октябрьской, Горьковской, Московской) позволило разработать технические требования к старогодным креплениям типа КБ-65, в которых по основным деталям даются рекомендации по их вторичному использованию (табл. 5.4).

Исследования ВНИИЖТа (Ю. Ф. Шварц, Н. В. Петров), ЛИИЖТа (Г.Е. Андреев, Т.А. Лапидус), ХИИТа (А. Н. Даренский, В. И. Ангелейко) показали, что к моменту первого капитального ремонта большинство деталей крепления КБ способны еще длительное время работать в пути.

Измерениями установлено, что 60 % старогодных клемм и 62 % подкладок удовлетворяют требованиям повторной перекладки. Старогодные болты могут быть полностью повторно использованы для укладки в путь, кроме болтов с поврежденной резьбой.

Повторно использовать нащпальные и подрельсовые прокладки нельзя. Около 70 % изолирующих втулок можно использовать повторно. Целесообразные сферы повторного использования деталей зависят от характера и величины их износа. Металлические детали крепления

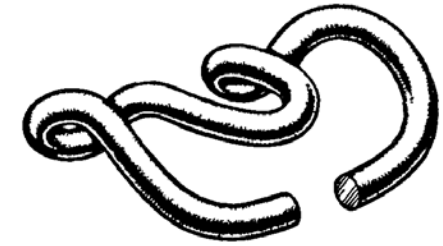


Рис. 5.1. Пружинная (торсионного действия) клемма, устанавливаемая вместо жесткой на крепление КБ-65

Таблица 5.4

Элемент крепления	Вид дефекта	Требования к деталям креплений по группам годности	
		I	II
Подкладка	Усталостные трещины (морщины) в подкладке	Не допускаются	Допускаются
	Высота реборды в зоне клеммного болта, мм	До 37	Не нормируется
Клемма	Вогнутость подрельсовой части подкладки, не более, мм	1,0	2,0
	Износ короткой (внутренней) опоры, мм	До 2,0	Не нормируется
Болт закладной, болт клеммный	Уменьшение диаметра болта в месте износа, мм	До 18,0	До 16,0
	Болт закладной	Уменьшение диагонали подголовка, мм	До 30,0	Не нормируется
Шайба двухвитковая	Бывшая в эксплуатации	Не допускается	Допускается без признаков разрушения
Втулка изолирующая	Трещины	Не допускаются	Допускаются без признаков разрушения
Прокладка нащпальная, прокладка подрельсовая	Бывшая в эксплуатации	Не допускается	Допускается без признаков разрушения

КБ, предназначенные для повторной укладки, разделены на две группы годности (см. табл. 5.4). Детали I группы годности можно использовать для повторной укладки на деятельных линиях (главные пути, пути сквозного прохода поездов на станциях), а детали II группы — на сортировочных, подъездных и прочих станционных путях. Кроме того, подкладки, клеммы и болты I группы годности можно использовать также при одиночной замене элементов креплений в пути в процессе текущего содержания.

5.3. ТЕХНИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ НА ПОВТОРНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛ

Повторное применение железобетонных шпал регламентируется Техническими указаниями по ведению шпального хозяйства с железобетонными шпалами (разработчик В. В. Серебrenников, ВНИИЖТ).

При капитальном ремонте пути все железобетонные шпалы должны быть обследованы и в зависимости от их состояния отнесены либо к одной из двух групп годности, либо к негодным шпалам с соответствующей дополнительной маркировкой. К I группе годности относят шпалы, не имеющие дефектов. Ко II группе годности относят шпалы с дефектами первой степени развития (табл. 5.5). К негодным относят шпалы с дефектами второй степени развития.

Шпалы I группы годности дополнительной маркировке не подлежат. Шпалы II группы годности обозначают поперечной полосой, наносимой краской в средней части шпалы. Негодные шпалы обозначают двумя поперечными полосами в средней части шпалы.

Старогодные железобетонные шпалы I группы годности следует применять для линий 3-го класса, а также для выборочной или одиночной замены негодных железобетонных шпал при среднем и подъемном ремонтах и текущем содержании всех путей.



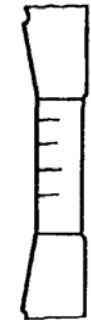



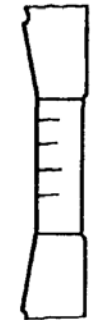




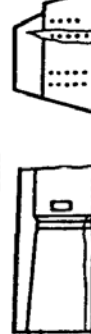



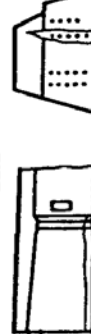
Старогодные шпалы II группы годности могут повторно применяться только на путях 4-го и 5-го классов. Негодные шпалы повторной укладке в действующие пути не подлежат.





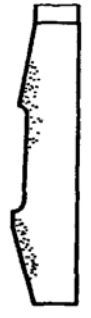

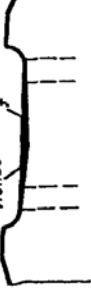

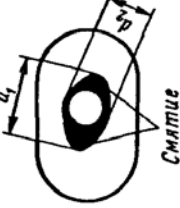
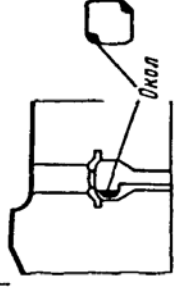
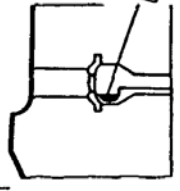



При выполнении капитального ремонта пути с полной разборкой на базе снятой путевой решетки с железобетонными шпалами обследование и сортировка шпал по группам годности производится до сборки новой решетки со старогодными шпалами.

Если снятую при капитальном ремонте пути рельсошпальную решетку с железобетонными шпалами укладывают повторно без разборки, то ее можно уложить только в станционные или подъездные пути. До укладки в ней должны быть заменены все негодные шпалы.

При выполнении капитального ремонта главного пути без снятия рельсошпальной решетки в ней должны быть заменены все обнаруженные шпалы II группы годности и негодные.

Таблица 5.5

I группа. Поперечные трещины и изломы		II группа. Продольные трещины	
11.1		11.1	
11.2		11.2	
12.1		12.1	
12.2		12.2	
21.1		21.1	
21.2		21.2	
22.1		22.1	
22.2		22.2	

III группа. Околы бетона	
31.1	31.2 32.1 32.2
	
	
<p>Первая степень развития</p> <p>Окол бетона на упорной кромке углубления в подрельсовой площадке длиной (l) от 40 до 100 мм и глубиной (h) от 10 до 20 мм</p>	<p>Вторая степень развития</p> <p>Окол бетона по всей длине (l) и высоте (h) упорной кромки углубления в подрельсовой площадке</p>
<p>Первая степень развития</p> <p>Околы бетона на ребрах и плоскостях шпалы (кроме упорных кромок) глубиной (h) не более 60 мм с обнажением арматуры на длине (l) не более 100 мм</p>	<p>Вторая степень развития</p> <p>Крупные околы бетона на ребрах и плоскостях шпалы глубиной (h) более 100 мм, обнажающие арматуру на длине (l) более 300 мм</p>
IV группа. Разрушение и износ бетона	
41.1	41.2 42.1 42.2
	
	
<p>Первая степень развития</p> <p>Множество раковин на поверхности бетона. Начальное разрушение бетона (шелушение) в пределах толщины защитного слоя бетона над арматурой</p>	<p>Вторая степень развития</p> <p>Полное разрушение структуры бетона на отдельные составляющие (щебень, раствор) с обнажением арматуры</p>
<p>Первая степень развития</p> <p>Местная выработка (износ) бетона на глубину (f) до 2 мм на подрельсовых площадках в местах опирания подкладок или рельсов</p>	<p>Вторая степень развития</p> <p>Неравномерная выработка (износ) бетона глубиной (f) более 5 мм на подрельсовых площадках в местах опирания стальных подкладок</p>
V группа. Повреждения закладных деталей	
51.1	51.2 52.1 52.2
	
	
<p>Первая степень развития</p> <p>Смятие материала (древесины) дробеля с образованием вокруг шурупного отверстия зазора более 5 мм</p>	<p>Вторая степень развития</p> <p>Разрушение материала дробеля, при котором шуруп при завинчивании его в дробель вытасывается. Излом шурупа в дробеле</p>
<p>Первая степень развития</p> <p>Провертывание закладного болта при завинчивании гайки (завинчивание выполняемо при подтягивании болта вверх)</p>	<p>Вторая степень развития</p> <p>Невозможность завинчивания гайки закладного болта за отверсти шпалы даже при подтягивании болта вверх</p>
53.1	53.2
	
<p>Первая степень развития</p> <p>Загрязнение каналов в шпалах засорителями, затрудняющими извлечение и установку закладных болтов</p>	<p>Вторая степень развития</p> <p>Невозможность извлечения из шпалы поврежденных закладных болтов вследствие затвердения засорителей в каналах шпалы</p>

Негодные железобетонные шпалы могут использоваться для железнодорожных обустройств или реализовываться для нужд дистанций пути, ПМС и других организаций железнодорожного транспорта, а также транспортных организаций.

При организации на производственных базах ПМС специализированных мастерских по ремонту железобетонных шпал, имеющих дефекты, поддающиеся ремонту, часть негодных шпал может быть восстановлена и использована для укладки на станционных и подъездных путях. Ремонт шпал выполняется в соответствии с Техническими указаниями по ремонту железобетонных шпал.

Шпалы с дефектами, превышающими первую степень развития, могут быть выборочно использованы в малодеятельных станционных путях.

Железобетонные шпалы для повторной укладки должны соответствовать требованиям, приведенным в табл. 5.6.

Т а б л и ц а 5.6

Показатель	Значение показателя для старогодных железобетонных шпал по группам годности	
	I	II
Пропущенный тоннаж с момента первой укладки шпал в путь	Не нормируется	
Срок службы шпал с момента первой укладки в путь, лет	Не нормируется	
Поперечные трещины в бетоне	Не допускаются	Наибольшее раскрытие трещин до 1 мм без разрушения бетона
Продольные трещины в бетоне	Не допускаются	Наибольшее раскрытие трещин до 3 мм без разрушения бетона
Околы бетона:		
на краях подрельсовых площадок	Допускаются длиной не более 30 мм и глубиной не более 10 мм	Допускаются длиной не более 100 мм и глубиной не более 20 мм
на прочих краях шпалы	Допускаются длиной не более 100 мм и глубиной не более 30 мм без обнажения арматуры	Допускаются длиной не более 300 мм и глубиной не более 60 мм
Дефекты в отверстиях для закладного болта, ведущие к его проворачиванию (сколы рабочих кромок, износ закладной шайбы и др.)	Не допускаются	Допускаются не более 10 % общего числа шпал и не более 5 штук подряд
Непрямолинейность (вогнутость) подрельсовой площадки, измеряемая наибольшей стрелой прогиба	Не более 1 мм	Не более 5 мм

5.4. ПЕРЕКЛАДКА ПЛЕТЕЙ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ С ЗАМЕНОЙ РАБОЧЕГО КАНТА

Доля эксплуатационных расходов путевого хозяйства на железных дорогах России колеблется от 24 до 28 % общих эксплуатационных затрат. Значительная часть затрат в путевом хозяйстве приходится на рельсовое хозяйство, если учесть, что стоимость рельсов колеблется от 25 до 30 % стоимости капитального ремонта 1 км пути. Это свидетельствует об актуальности разработки и внедрения ресурсосберегающих технических решений, позволяющих снизить затраты на рельсы. К перечню таких решений можно отнести перекладку рельсов и рельсовых плетей бесстыкового пути с заменой рабочего канта в кривых участках, где наблюдается интенсивный боковой износ головки.

Боковой износ головки рельсов, как и износ гребней колес подвижного состава, наиболее активно начал проявляться в середине 80-х годов. Выход рельсов по боковому износу в начале 80-х годов не превышал 1,5 шт. на 1 млрд. т·км груза. В 1985 г. он уже составил 3, в 1988 г. — 7, в 1993 г. — 12, в 1996 г. — 11 и в 1997 г. — 8 рельсов. В 1996 г. было заменено около 1000,4 км рельсовых нитей со сверхнормативным боковым износом. Для этого потребовалось почти 65 тыс. т рельсов. В 1997 г. план замены рельсов со сверхнормативным боковым износом был уменьшен до 643 км, а в 1998 г. план замены составил 746 км.

Еще в начале 70-х годов отечественными специалистами (Л. П. Мелентьев, С. П. Линев) было установлено, что в рельсах с интенсивностью бокового износа не менее 2—3 мм на 100 млн. т брутто пропущенного груза в рабочей зоне головки не появляются внутренние дефекты контактно-усталостного происхождения. Более поздние исследования показали, что боковой износ до 12—17 мм почти не влияет на уровень напряжений и крупную прочность рельса. Они выполнялись с рельсами, наработка которых не превышала 20—40 % нормативной.

Исследования рельсовой лаборатории ВНИИЖТа позволили уже в 1983 г. рекомендовать перекладку рельсов наружной рельсовой нити звеньевого пути в кривых на примыкающие к ним прямые участки пути (без перемены рабочего канта), а с прямых участков — на место снятых с наружной рельсовой нити кривых. Это позволило увеличить срок службы рельсов со значительным боковым износом головки за счет их повторного использования в условиях пониженного динамического воздействия подвижного состава на рельсы. Предлагалось также в отдельных случаях разрешить перекладку рельсов типа Р50 и тяжелее с наружной рельсовой нити на внутреннюю и обратно. Ограничение на начальном этапе объяснялось спецификой развития дефектов в рельсах кривых и прямых участков пути.

При интенсивном боковом износе не менее 3 мм на 100 млн. т брутто пропущенного груза дефекты от ВПТ в наружных рельсах кривых не появляются, так как металл из зон по рабочей выкружке, где наиболее вероятно появление ВПТ, снимается износом. В 1993 г. были утверждены Временные указания на перекладку термоупрочненных рельсов. Однако они регламентировали лишь перекладку рельсов звеньевом пути. Для распространения их на бесстыковой путь были проведены дополнительные исследования, послужившие основанием для разработки Технических указаний на перекладку рельсовых плетей бесстыкового пути, сваренных из термоупрочненных рельсов типа Р65 и Р75 (1998 г.).

Опытная проверка технических норм, технических средств и технологии на перекладку плетей бесстыкового пути проводилась на Арзамасской дистанции пути Горьковской железной дороги при активном участии специалистов ПЧ-16, ПМС-73, службы пути и руководства дороги. Было разработано устройство для перекладки плетей бесстыкового пути с заменой рабочего канта в кривых участках, на которое в 1995 г. получен патент.

Рельсовые плети с наружных нитей кривых могут перекладываться с переменной рабочей канта на внутренние нити кривых и в прямые участки пути, а рельсовые плети с внутренних нитей кривых и из прямых участков — на наружные нити.

Перемена рабочего канта при укладке в наружные нити кривых разрешается только для рельсовых плетей, снятых с внутренних нитей.

Для замены рельсовых плетей наружных нитей кривых подбираются на прямых участках пути или внутренних нитях кривых рельсовые плети, сваренные из термически упрочненных рельсов, с таким расчетом, чтобы при стыковании без сварки переложенных плетей с лежащими в пути рельсами вертикальные и горизонтальные ступеньки по рабочему канту не превышали 2 мм. При сварке переложенной плети с лежащими в пути плетями несовпадение их концов в месте сварки не должно превышать по высоте 1 мм и по ширине головки 2 мм.

Решение о перекладке плетей с заменой рабочего канта в кривых, где наблюдается интенсивный боковой износ головки рельсов, должно приниматься после оценки их технического состояния, обмеров и дефектоскопирования. Оценка состояния плетей производится комиссией в составе главного инженера дистанции пути, старшего дорожного мастера или мастера и дефектоскописта. При оценке измеряется боковой и вертикальный износ, определяются интенсивность износа (мм/млн. т брутто груза), наличие внешних дефектов как на внутренней, так и на наружной плети, положение их относительно начала плети, а также осуществляется дефектоскопирование плетей. Результаты оценки с решением о возможности или невозможности перекладки плетей хранятся в виде дефектных ведомостей в техотделе дистанции пути и у мастера. Если величина бокового износа не превышает 15 мм,

а в отдельных случаях и 18 мм (при условии, что износ в интервале от 15 до 18 мм имеет место на ограниченном протяжении плети), интенсивность износа соответствует значениям, приведенным в табл. 5.7, внешние дефекты не превышают величин, требующих в соответствии с НТД/ЦП-1-93 ограничения скорости движения поездов, дефектоскопирование не выявило внутренних дефектов, то принимается решение о возможности перекладки плетей.

В отдельных случаях, если на протяжении 5—20 м плети имеются участки с боковым износом более 18 мм, то перед перекладкой эти участки должны быть вырезаны и заменены рельсовыми вставками с таким же износом, что и на соседних участках плети.

Места начала и конца перекладки рельсовых плетей определяются сечениями по наружной нити, в которых боковой износ головки не превышает 1—2 мм. Непосредственно перед перекладкой плетей необходимо провести еще одно дефектоскопирование. Особое внимание при этом должно быть обращено на состояние сварных рельсовых стыков, а также на наличие дефекта 69, возникающего вследствие коррозии подошвы рельсовой плети. Если при эксплуатации в плети имели место изломы по дефекту 69 или этот дефект обнаруживается при дефектоскопировании и осмотре подошвы рельса, то такие плети исключаются из перекладки. Не допускаются к перекладке плети с выколами металла на нижней кромке изношенной боковой грани головки рельса и при отсутствии нижней прямолинейной неизношенной боковой рабочей грани (оплыв металла в подголовочную часть рабочей грани).

Не допускаются к укладке в наружные нити кривых рельсовые плети с невырезанными дефектами, по которым рельсы относят в разряд дефектных, или с вырезанными дефектами, но не восстановленные сваркой, а также с наплывами металла на боковую (будущую рабочую) грань свыше 2 мм, если эти наплывы перед укладкой не сошлифованы.

Таблица 5.7

Радиусы кривых, м	Интенсивность износа головки рельса, мм/млн. т брутто груза	
	Боковой износ	Вертикальный износ ¹
300—400	0,05	0,020
401—500	0,04	0,015
501—600	0,03	0,010

¹ Допускается, что интенсивность вертикального износа может быть ниже приведенных значений.

В том случае когда дефекты находятся на концах перекладываемых плетей (не более 12,5 м от концов плети), при перекладке концы плетей с дефектами отрезаются, а вместо них могут привариваться рельсы с таким же боковым износом.

Перекладку плетей и сварку их с плетями, лежащими в пути, целесообразно выполнять при температурах, близких к температуре закрепления плети — ± 5 °С. При выполнении работ выше или ниже разрешенного интервала в дальнейшем в соответствии с Техническими указаниями по устройству, укладке и содержанию бесстыкового пути принимаются меры по введению плетей в необходимый температурно-напряженный режим. После перекладки производится профильная шлифовка головок рельсов по соответствующим ремонтным профилям.

В Журнал учета службы и температурного режима рельсовых плетей дистанции пути заносятся дата, температура перекладки и длина перекладываемой части или всей плети, а также температура ее сварки.

На участках с переложенными рельсовыми плетями должен вводиться дефектоскопный контроль, позволяющий отслеживать развитие дефектов в нерабочей грани головки рельса. Он включает проверку рельсов ультразвуковыми дефектоскопами через каждые две недели со схемой установки резонаторов с разворотом в сторону нерабочей грани, например, у дефектоскопов "Поиск-2" на 34°.

Перекладка рельсовых плетей с внутренней нити кривых на наружную и наоборот производится в один этап, а замена плетей наружных нитей кривых на плети с прямых участков пути — в несколько этапов.

Рассмотрим последовательность работ, когда плеть с боковым износом с упорной нити кривой и плеть с внутренней нити (на обеих нет опасных дефектов) одновременно перекладывают с заменой рабочих кантов на близко расположенный прямой участок (рис. 5.2). Плетки перемещают по роликам, установленным попарно в середине колеи на каждой 15-й шпале. Тяга — мотовозом, дрезиной или тепловозом, с зацеплением тяговых тросов за болтовые отверстия или клещевыми захватами за головки рельсов. Ролики и захваты в теперешних условиях, когда замена плетей без применения путеукладчиков и рельсовозных спецсоставов будет обычным явлением, следует иметь всем дистанциям пути и путевым машинным станциям.

Вначале лежащие в пути плети разрезают пилами в соответствии с проектной длиной наружной и внутренней нитей (если плети длиннее кривой) или же по фактическим длинам, когда имеются стыки на концах кривой (см. рис. 5.2, а). Одновременно плети на прямом участке, уже освобожденные от закрепления, вручную (ломами) передвигают на ролики (см. рис. 5.2, б). Эти плети тяговой единицей перемещают в кривую (см. рис. 5.2, в), "меняют местами" с плетями, лежащими на подкладках (1-Л с 2-Л; 1-П с 2-П) и

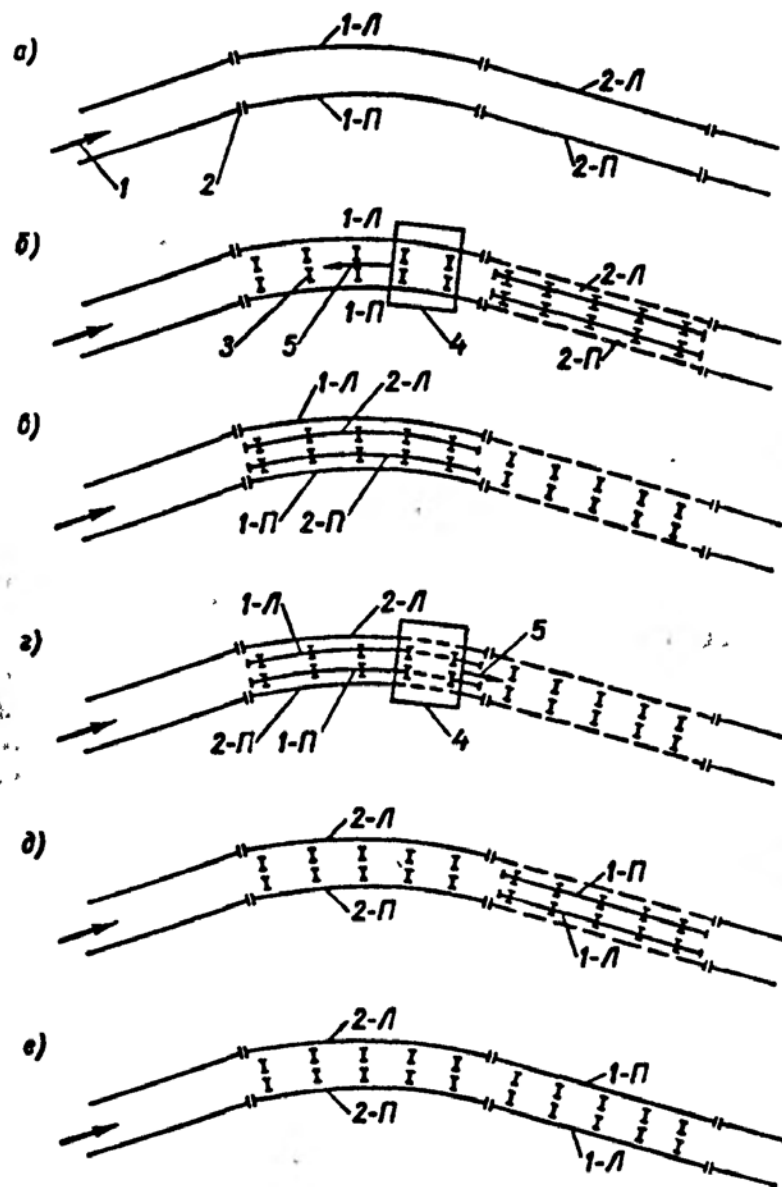


Рис. 5.2. Последовательность перемещения плетей при их перекладке из прямого участка в кривую:

а — е — этапы работ; 1-Л, 2-Л, 1-П, 2-П — левая и правая рельсовые нити первой и второй пар плетей; 1 — направление движения поездов; 2 — стыки (концы плетей); 3 — роликовые опоры на шпалах; 4 — средство тяги; 5 — направление работ

5.5. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПЕРЕКЛАДКИ РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЕЙ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ С ЗАМЕНОЙ РАБОЧЕГО КАНТА

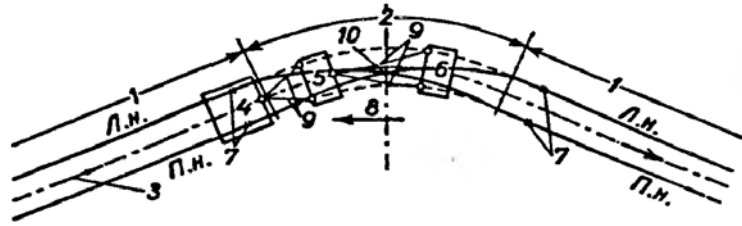


Рис. 5.3. Схема перекладки плетей в кривой с переменной рабочей канта: 1 — прямой участок; 2 — кривая; 3 — направление движения поездов; 4 — тяговая единица; 5 — устройство для подъема плетей из реборд прокладок; 6 — устройство для перекрестывания плетей; 7 — стыки плетей; 8 — направление работ; 9 — тросы; 10 — место перекрещивания плетей (смены рабочего канта); Л.п. и П.п. — левая и правая рельсовые нити

"прихватывают" (см. рис. 5.2, з). Изношенные плети из середины колеи по тем же роликам перемещают в прямой участок (см. рис. 5.2, д) и вручную надвигают на подкладки: левую плеть 1-Л на место бывшей 2-П, а правую 1-П на место бывшей 2-Л, т. е. меняют рабочие канты (см. рис. 5.2, е).

Снимать плети с подкладок и надвигать их из середины колеи на подкладки иногда (если радиус кривой больше 1200 м) можно при помощи "салазок", скользящих по краям подкладок. При перемещении плетей из кривой на прямой участок, где рельсов в этот момент нет, тяговая единица должна располагаться сначала в середине кривой, сдвигая плеть частично "толканием" (переднюю половину плети), частично — "тягой" (заднюю половину). По достижении конца кривой "тягач" возвращают к середине кривой (к концу плети) и оттуда толкают уже всю плеть. После этого концы всех вновь уложенных плетей соединяют уравнительными рельсами с болтовыми стыками, а при возможности — сваривают (в то же или отдельное "окно"). Для сварки могут потребоваться рельсовые "коротыши" без отверстий того же типа, что и плети.

Возможен вариант, когда не полностью изношенную плеть с упорной нити кривой перекладывают без замены рабочего канта по той же нити на близко расположенный прямой участок, откуда неизношенную плеть перемещают на упорную нить кривой.

Наиболее приемлем вариант, когда изношенную плеть с упорной нити кривой перекладывают на внутреннюю нить, а с внутренней — на наружную (упорную) той же кривой с заменой рабочего канта (рис. 5.3). ВНИИЖТ совместно с дорогами и другими организациями разработал для этого случая механизированный вариант замены плетей. При этом используют комплект приспособлений для снятия в кривой плетей на наружной и внутренней нитях, перемены их рабочих кантов и надвигки вновь на подкладки, но уже в "перевернутом" виде — изношенной кромкой внутренней нити в полевую сторону.

Устройство (рис. 5.4) включает в себя двое салазок с роликовыми опорами. Первые салазки предназначены для плавного подъема рельсовых плетей из рельсовых подкладок. Вторые салазки с роликовыми опорами, расположенными в разных по высоте уровнях, служат для перекладки наружной рельсовой нити на место внутренней и наоборот. Разность уровней расположения опорных роликов по высоте составляет минимум 200 мм, что делает возможным перекрестное движение одного рельса над другим без сопротивления. Салазки оснащены полозьями, выполненными из стального углового проката, на которых смонтированы их рамы и которые являются их опорами, скользящими по рельсовым подкладкам. Во время работы салазки соединены друг с другом и локомотивом тяговыми тросами.

Салазки также оснащены четырьмя транспортными колесами с ребордами на откидных фиксирующих осях, позволяющими перемещать салазки до места работы и места их погрузки по окончании ремонтных работ по рельсам.

В кривых участках пути внутренняя рельсовая нить короче наружной, поэтому внутренняя нить на месте наружной находится в состоянии натяжения, а наружная рельсовая нить на месте внутренней образует избыточную петлю. Натяжение компенсируется подталкиванием вновь уложенной наружной плети гидравлическим разгонным или ударным прибором, а избыточная петля вновь уложенной внутренней нити вытягивается с помощью троса дрезиной или локомотивом в зависимости от длины перекладываемых плетей.

Для уменьшения сопротивления продольным перемещениям плетей (за салазками для перекладки) на каждой 15-й шпале под подошву рельса устанавливаются катки или роликовые обоймы высотой не более 20—22 мм.

По мере насыщения сети устройствами для перекладки плетей с заменой рабочего канта (рис. 5.5) будут возрастать и объемы перекладки (рис. 5.6).

В 2003—2004 гг. все плети бесстыкового пути, у которых боковой износ головки приблизился к 15 мм и в которых нет других дефектов, исключаяющих возможность перекладки, планируется перекладывать с заменой рабочего канта. Это мероприятие позволит ежегодно экономить около 20 тыс. т рельсов, необходимых для замены плетей на участках с интенсивным боковым износом.

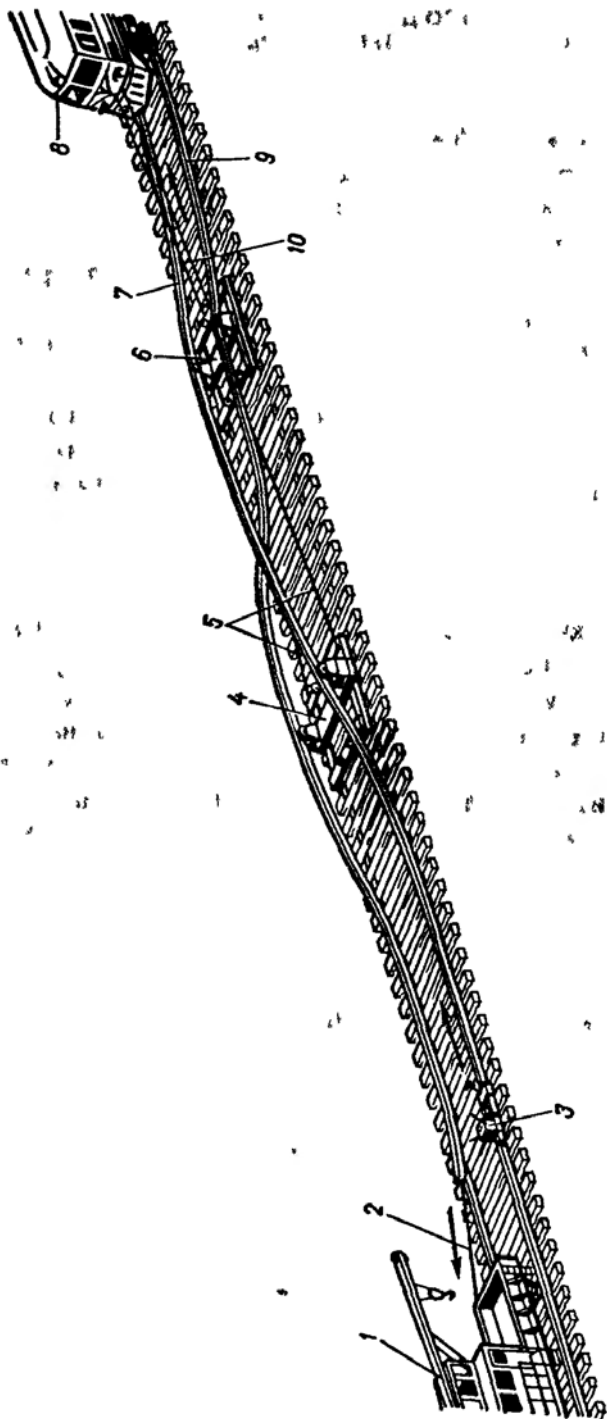


Рис 5 4 Схема устройства для перекладки рельсовых плетей бесстыкового пути с заменой рабочего канта (УППВ-1).
 1 — дрелина, 2 — трос, 3 — гидравлический разгонщик, 4 — салазки перекладки, 5 / 10 — тросы тяговые, 6 — салазки подъема, 7 — внутренняя рельсовая нить, 8 — локомотив, 9 — наружная рельсовая нить

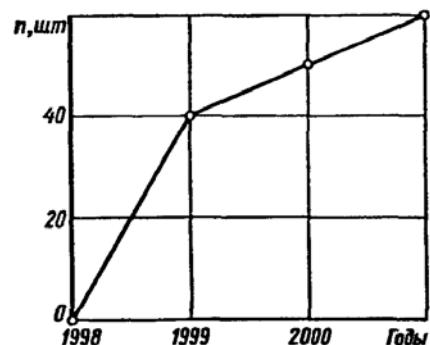


Рис 5 5 Кривая планируемого увеличения количества устройств (n) для перекладки плетей на железных дорогах

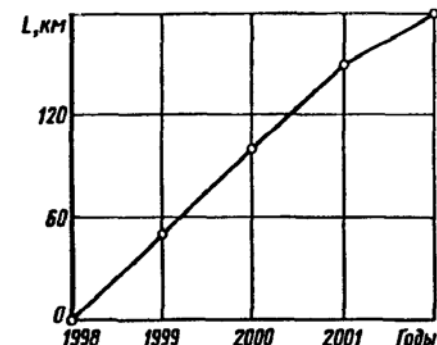


Рис. 5 6 Кривая планируемого объема перекладки плетей L с заменой рабочего канта до 2002 г

Экономический эффект от перекладки 1 км плетей с заменой рабочего канта может составить около 30 тыс. руб. (в ценах 1998 г.). По мере увеличения числа устройств для перекладки будет увеличиваться и объем перекладываемых плетей. Годовой экономический эффект при включении в работу всех устройств в 2002 г. может составить около 5,4 млн. руб.

5.6. БЕССТЫКОВОЙ ПУТЬ С ДЕРЕВЯННЫМИ ШПАЛАМИ И КОСТЫЛЬНЫМИ СКРЕПЛЕНИЯМИ

Резко возросшие в последние годы дефицит и стоимость деревянных шпал вызвали необходимость существенного продления сроков их службы. Один из способов решения этой задачи — ликвидация рельсовых стыков, так как в этой зоне рельсового пути деревянные шпалы служат в несколько раз меньше, чем в средней части звена. Кроме этого, перевод звеньевого пути с деревянными шпалами на бесстыковую конструкцию позволяет по крайней мере в 1,5 раза уменьшить число отказов пути из-за его выплесков. Наконец, ликвидация стыков в пути с деревянными шпалами существенно расширяет сферу рационального применения бесстыкового пути, так как практически единственный сейчас тип подрельсового основания такого пути — железобетонные шпалы — еще не скоро станет основным на большей части сети дорог РФ, в том числе на станционных путях. Кроме того, во многих местах железобетонные шпалы применяются ограниченно, например, в крутых кривых, на засоряемых и засоляемых участках.

Бесстыковой путь с деревянными шпалами в свое время прошел широкую проверку за рубежом. В Западной Европе он был единственным вариантом до начала широкого распространения железобетонных шпал. В США, Канаде, Австралии и некоторых других странах деревянные шпалы до сих пор почти исключительный вид подрельсового основания бесстыкового пути. При этом превалируют нераздельные костыльные скрепления.

В СССР бесстыковой путь с деревянными шпалами был также первым вариантом верхнего строения со сварными рельсовыми плетями и юридически являлся равноправным с бесстыковым путем на железобетонных шпалах. В 1956—1961 гг. на советских железных дорогах было уложено 380 км бесстыкового пути с деревянными шпалами, щебеночным балластом и раздельными промежуточными скреплениями типа К. Условия его эксплуатации были весьма различными: климат от мягкого (Северо-Кавказская дорога) до сурового (Западно-Сибирская дорога); грузонапряженности от малых (до 10 млн. т·км брутто/км в год) до очень больших (80—90 млн. т·км брутто/км в год на Донецкой дороге); грузы — всех видов, включая угольно-рудные.

На первом бесстыковом пути с большой грузонапряженностью (перегон Гродовка — Красноармейское Донецкой дороги) рельсовые плети типа Р65 на деревянных шпалах позволили пропустить 850 млн. т груза брутто, что для сырых рельсов составляет около полутора нормативных сроков. Никаких нарушений нормальной работы магистрали по причинам, связанным с особенностями работы бесстыкового пути, не было. К 1967 г. грузонапряженность на этом участке превысила 93,5 млн. т·км брутто/км в год, а средняя нагрузка от колесной пары грузового вагона на путь — 191 кН. На звеньевом пути этого перегона практически ежегодно проводился средний ремонт с очисткой щебня. На шестикилометровом участке бесстыкового пути объем таких работ был в 1,5—2 раза меньше. Показания путеизмерителей на участке бесстыкового пути были все время отличными, тогда как на звеньевом постоянно отмечались просадки и выплески в зоне стыков. Выход рельсов по дефектам в бесстыковом пути был в 1,5—2 раза меньше, чем на смежных звеньевых участках. После пропуска по участку 680 млн. т брутто груза средний боковой износ рельсов в кривой радиусом 2125 м на бесстыковом пути составил 0,9 мм, тогда как на соседнем звеньевом такого же радиуса — 1,5 мм. Среднее число дефектов по рис. 11 на 100 м бесстыкового пути в прямом участке составило 5,75 шт., в кривой — 18,8 шт., тогда как на звеньевом пути — соответственно 22,6 и 55,5 шт.

Принятая в 1956 г. конструкция бесстыкового пути с деревянными шпалами, раздельными жесткими скреплениями Д2, щебеночным балластом, шестидырными накладками в стыках уравнильных рельсов зарекомендовала себя как эталон и должна была развиваться дальше.

Одним из направлений этого развития было применение упругих клемм вместо жестких с целью облегчения работы шурупов и шпал, более постоянного прижатия рельсов к основанию и уменьшения ударных воздействий подвижного состава на путь.

Практически была проверена в условиях нормальной эксплуатации конструкция бесстыкового пути с рельсами типа Р50, деревянными шпалами и раздельными скреплениями Д4 с пластинчатыми упругими клеммами. Этот бесстыковой путь был уложен на грузонапряженном участке Армавир — Невинномысская Северо-Кавказской железной дороги. На участке была вначале паровая тяга (с паровозами серии ФД-20), затем — тепловозная (ТЭЗ). Состояние пути было отличным и можно было ожидать хороших перспектив для такой конструкции. Опытная эксплуатация продолжалась с 1961 по 1964 г., затем участок был ликвидирован в связи с заменой рельсов типа Р50 на тип Р65 с нераздельными костыльными скреплениями (звеньевой путь) при электрификации линии.

В те же годы бесстыковой путь со скреплениями Д4 успешно эксплуатировался в Бескидском тоннеле на грузонапряженном направлении Львовской дороги. Ликвидация стыков в тоннеле наряду с другими преимуществами бесстыкового пути способствовала уменьшению коррозии подошвы рельсов. Этот дефект в звеньевом пути — один из основных в тоннелях. Плетки здесь были заменены звеньевым путем также при переходе на рельсы типа Р65 при реконструкции участка.

В последующие годы ВНИИЖТом были разработаны и другие модели пружинных скреплений для бесстыкового пути на деревянных шпалах. Они были испытаны в лаборатории, на экспериментальном кольце ВНИИЖТа и в действующем звеньевом пути. Для массового применения в бесстыковом пути было выбрано раздельное скрепление Д4у с пружинной прутковой клеммой. Была подготовлена необходимая техническая документация. Однако отсутствие необходимых производственных возможностей металлургической промышленности в то время сдерживало массовый выпуск скреплений Д4у, что в свою очередь не позволяло применять бесстыковой путь на большой протяженности сети дорог СССР.

Другим существенным обстоятельством, ограничившим применение бесстыкового пути с деревянными шпалами, стало начавшееся в 1962—1963 гг. массовое внедрение железобетонных шпал.

Конструкции отечественных железобетонных шпал, применявшиеся в те годы и ставшие затем стандартными, предусматривают использование модификаций жесткого раздельного промежуточного скрепления по типу марки К (К4, затем К2, наконец КБ). Это весьма металлоемкое, сложное в изготовлении, дорогое скрепление и при существующем в те годы дефиците черных металлов его приходилось выделять только для железобетонных шпал. Деревянные шпалы допускают использование любых скреплений, в том числе простых не-

раздельных костыльных. Но, поскольку костыльные скрепления в бесстыковом пути в 60-х годах не допускались, произошла автоматическая монополизация бесстыкового пути железобетонными шпалами. Практически с 1963 г. поставки раздельных скреплений для деревянных шпал были прекращены, из-за чего была прекращена укладка вновь бесстыкового пути с деревянными шпалами.

Бесстыковой путь целесообразен и на линиях с малой грузонапряженностью (малодеятельные, станционные и прочие пути). Однако не только из-за дефицита промежуточных раздельных скреплений, но и из-за дороговизны применение их на таких путях долго считалось экономически нецелесообразным. Поэтому ВНИИЖТ провел всесторонние исследования возможности и целесообразности применения на малодеятельных путях удешевленной, более простой, чем применяемая на главных путях, конструкции бесстыкового пути. Она предусматривает использование плетей из старогодных рельсов, стандартных нераздельных костыльных промежуточных скреплений, деревянных шпал, щебеночного балласта. Для восприятия продольных сил, действующих в бесстыковых плетях при изменениях температуры, уgone пути и по другим причинам, предлагалось использовать стандартные пружинные противоугоны, устанавливаемые "в замок" с обеих сторон шпалы по различным схемам.

Подобный вариант бесстыкового пути, как указывалось ранее, широко применяется в США, Канаде и других странах. На отечественных железных дорогах было уложено 12 опытных участков такого пути на перегонах с грузонапряженностью до 25 млн. т-км брутто/км в год. Эффект от его применения особо высок благодаря низкой цене старогодных материалов. Усиление пути таким способом повысило его надежность, продлило межремонтные сроки, а в ряде случаев позволило повысить допускаемые скорости движения поездов.

На основе исследований ВНИИЖТа и опыта зарубежных и отечественных дорог (например, Октябрьской, бывших Прибалтийской и Львовской) Министерство путей сообщения в 1975 г. допустило более широкое применение бесстыкового пути облегченной конструкции, но с некоторыми ограничениями условий эксплуатации: грузонапряженность — до 15 млн. т-км брутто/км в год; скорости поездов — до 100 км/ч; годовые амплитуды изменения температур рельсов — до 100 °С; минимальные радиусы кривых — 800 м. Эти условия характерны для значительной части сети железных дорог. По нынешней классификации это пути 3Д3, 3Д4, 4Д5, 4Д6, 5Д7 и часть путей с грузонапряженностью выше 10 до 15 млн. т-км брутто/км в год — 3Г3, 3Г4, 4Г5, 4Г6, 5Г7. Пока на этих линиях эксплуатируется звеньевой путь с рельсами типа Р50 и легче, что существенно снижает эксплуатационные показатели работы дорог.

Однако облегченный бесстыковой путь на главных линиях до последнего времени применялся на незначительном полигоне. Причины этого не только технические (например, низкое качество пружинных противоугонов, поступающих на дороги от промышленности), но и психологические, связанные с недостаточной информированностью линейных работников об особенностях такого пути, инерция мышления, приученного в течение 30 лет к тезису, что бесстыковой путь — это обязательно и железобетонные шпалы и т. д.

В связи с этим ВНИИЖТом еще в 80-х годах были проведены дополнительные исследования применения бесстыкового пути с деревянными шпалами и костыльными скреплениями. При этом были учтены параметры прочности и живучести старогодных рельсов. Это позволило расширить сферы применения бесстыкового пути с такими рельсами.

Анализ паспортов железных дорог показал, что по всем малодеятельным главным путям обращаются те же локомотивы, что и на магистралях с такими же нагрузками от колесной пары на путь и со скоростями движения пассажирских поездов до 100 км/ч, грузовых — до 80 км/ч. Это привело к выводу, что требования к балластному слою бесстыкового пути на главных малодеятельных линиях должны быть такими же, как и на магистральных.

На основании проведенных исследований были сформулированы требования к конструкции пути. При костыльных скреплениях сварные плети и уравнильные рельсы должны быть прикреплены к шпалам пятью костылями на каждом конце шпалы. Для закрепления плетей от продольных перемещений необходимо на путях всех категорий устанавливать пружинные противоугоны по четыре штуки у каждой шпалы "в замок" (с двух сторон на каждом конце шпалы) в пределах 100-метровых концевых участков плети, а на остальной протяженности плети — через одну шпалу. На уравнильных рельсах, а также на плетях длиной 250 м и менее должно быть установлено по четыре противоугона у всех шпал, кроме стыковых.

На главных путях эпюра шпал должна быть 1840 шпал на 1 км в прямых и кривых радиусом более 1200 м и 2000 шпал на 1 км в кривых радиусом 1200 м и менее. В путях 3-го класса, по крайней мере, половина шпал должны быть новыми, а в кривых 1000 м и менее — новыми все шпалы. Старогодные шпалы допускаются первой группы годности. В путях 4-го класса и ниже 100 % шпал могут быть старогодными первой группы годности. Противоугоны к укладке допускаются только новые.

Установлены допускаемые по условию устойчивости бесстыкового пути против выброса повышения температуры рельсовых плетей типа Р65 на деревянных шпалах по сравнению с температурами при закреп-

лении рельсов (табл. 5.8). Эти данные необходимы для проверки возможности применения бесстыкового пути с деревянными шпалами в различных условиях и практического проектирования.

Допускаемые по условию прочности пути на щебне понижения температуры рельсов для различных категорий путей приведены в табл. 5.9 (категория 3 — $v_{\max} = 100$ км/ч; категория 4 — $v_{\max} = 80$ км/ч; категория 5 — $v_{\max} = 60$ км/ч; категория 6 — $v_{\max} = 40$ км/ч).

Допускаемые температурные амплитуды для путей категорий, где могут использоваться материалы повторного применения, приведены в табл. 5.10. Сопоставляя их с фактическими амплитудами температур рельсов на сети дорог МПС (табл. 5.11), можно видеть, что на всех дорогах есть широкие возможности применения бесстыкового пути с деревянными шпалами и костыльными скреплениями, особенно на путях 4-го класса и ниже. Приведенные в табл. 5.10 данные относятся к пути с неупрочненными рельсами типа Р65; доля такого пути составляет около 50 % протяженности главных путей. Использование объемнозакаленных рельсов позволяет повысить допускаемые амплитуды на 20 °С, что фактически снимает ограничения применения бесстыкового пути с деревянными шпалами.

Таблица 5.8

Эюра шпал, шт/км	Балласт	Повышения температуры рельсовой плети $[\Delta t_r]$, °С, допускаемые по условию устойчивости путн				
		в прямом участке	в кривых радиусом, м			
			2000	1200	1000	800
2000	Щебень из скальных пород	51	46	44	43	41
1840	То же	49	43	41	40	38
1600	"	41	38	36	35	33
2000	Асбестовый	50	46	43	42	40
1840	"	46	42	40	38	36
1600	"	40	36	34	33	31
2000	Щебень из валунов и гальки	46	41	38	36	34
1840	То же	42	38	35	33	31
1600	"	36	33	30	29	27
2000	Гравийный и песчано-гравийный	40	35	32	30	28
1840	То же	37	32	29	28	26
1600	"	32	28	25	24	22

Таблица 5.9

Локомотив	Понижения температуры рельсовой плети $[\Delta t_r]$, °С, допускаемые по условию прочности рельсов для путей категорий							
	3		4		5		6	
	$R = \infty$	$R = 800$	$R = \infty$	$R = 800$	$R = \infty$	$R = 800$	$R = \infty$	$R = 800$
ВЛ8	61	64	61	64	70	73	79	82
ВЛ10	69	60	76	68	83	75	90	82
ВЛ11	72	61	78	68	84	75	90	82
ВЛ23	63	62	71	70	80	78	88	86
ВЛ60, ВЛ60 ^к	68	57	76	65	83	73	90	81
ВЛ80, ВЛ80 ^к , ВЛ82	70	57	77	65	84	73	91	81
ВЛ80 ^т , ВЛ80 ^р , ВЛ80 ^с	68	61	75	69	82	76	89	84
ЧС2, ЧС2 ^т	85	69	91	75	97	81	103	87
ЧС4, ЧС4 ^т	76	71	82	77	88	83	94	89
ЧС7, ЧС8	78	63	84	69	90	75	96	81
М62, 2М62	83	78	89	84	93	89	97	94
ТГ102	84	74	89	80	94	86	99	92
ТЭ2	69	67	75	73	83	80	91	87
ТЭ3, 2ТЭ3, 3ТЭ3	71	63	78	71	85	79	92	87
ТЭ10, 2ТЭ10	68	60	76	68	83	75	90	82
ТЭ10В, 2ТЭ10М	75	65	81	72	87	79	93	86
2ТЭ10Л, 3ТЭ10Л	66	60	74	68	81	75	88	82
ТЭ109	76	77	82	83	88	89	94	95
2ТЭ116	76	67	83	74	89	81	95	88
ТЭП10, ТЭП10Л	72	65	79	73	86	81	95	89
ТЭП60	83	72	89	78	95	84	101	90
ЭР1, ЭР2	85	78	90	83	95	88	100	93
ЭР22	76	70	81	76	86	82	91	88

Таблица 5.10

Локомотив	Допускаемые температурные амплитуды, °С, для путей категорий							
	3		4		5		6	
	R = ∞	R = 800	R = ∞	R = 800	R = ∞	R = 800	R = ∞	R = 800
ВЛ8	100	95	100	95	109	104	118	113
ВЛ10	108	91	115	99	122	106	129	113
ВЛ11	111	92	117	99	123	106	129	113
ВЛ23	102	93	110	101	119	109	127	117
ВЛ60, ВЛ60 ^к	107	88	115	96	122	104	129	112
ВЛ80, ВЛ80 ^к , ВЛ82	109	88	116	96	123	104	130	112
ВЛ80 ^г , ВЛ80 ^р , ВЛ80 ^с	107	92	114	100	121	107	128	115
ЧС2, ЧС2 ^г	124	100	130	106	136	112	142	118
ЧС4, ЧС4 ^г	115	102	121	108	127	114	133	120
ЧС7, ЧС8	117	94	123	100	129	106	135	112
М62, 2М62	122	109	128	115	132	120	136	125
ТГ102	123	105	128	111	133	117	138	123
ТЭ2	108	98	114	104	122	111	130	118
ТЭ3, 2ТЭ3, 3ТЭ3	110	94	117	102	124	110	131	118
ТЭ10, 2ТЭ10	107	91	115	99	122	106	129	113
ТЭ10В, 2ТЭ10М	114	96	120	103	126	110	132	117
2ТЭ10Л, 3ТЭ10Л	105	91	113	99	120	106	127	113
ТЭ109	115	108	121	114	127	120	133	126
2ТЭ116	115	98	122	105	128	112	134	119
ТЭП10, ТЭП10Л	111	96	118	104	125	112	134	120
ТЭП60	122	103	128	109	134	115	140	121
ЭР1, ЭР2	124	109	129	114	134	119	139	124
ЭР22	115	101	120	107	125	113	130	119

Таблица 5.11

Дорога	Протяженность бесстыкового пути, % протяженности главных путей	Расчетная температурная амплитуда, °С
Октябрьская	56,1	89—109
Московская	66,4	94—107
Горьковская	29,6	98—109
Северная	14,0	90—108
Северо-Кавказская	39,1	74—100
Юго-Восточная	45,6	94—104
Приволжская	49,2	94—106
Куйбышевская	31,1	98—110
Свердловская	18,8	100—110
Южно-Уральская	39,5	103—114
Западно-Сибирская	9,4	106—113
Красноярская	0,2	108—119
Восточно-Сибирская	0	91—112
Забайкальская	1,0	104—116
Дальневосточная	1,5	84—118

При проектировании бесстыкового пути для условий движения поездов со скоростями 80 км/ч и менее может оказаться, что отсутствует верхняя граница интервала закрепления. В этом случае путейцы вправе закрепить плетъ при любой температуре в интервале от $t_{\max \max}$ до $\min t_3$. Однако при этом следует учитывать, что закрепление плетей при очень высоких температурах может в отдельных случаях привести к образованию большого зазора при сквозном изломе плети в холодную погоду или к разрыву болтов в стыках уравнильных пролетов с большим расхождением концов рельсов. Для обеспечения прочности стыковых болтов уравнильных пролетов бесстыкового пути с костыльными скреплениями при действии низких температур рекомендуется закреплять плети с учетом данных табл. 5.12.

Таблица 5.12

Число уравнильных рельсов	Температура закрепления, °С, при которой обеспечивается прочность стыковых болтов в районах с минимальными температурами, °С		
	-46 и ниже	-45...-26	-26 и выше
1	—	15	30
2	25	30	40
3	30	35	40
4	30	35	50

**УСИЛЕНИЕ И ОЗДОРОВЛЕНИЕ ОСНОВНОЙ ПЛОЩАДКИ
ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА И БАЛЛАСТНОГО СЛОЯ**

При выполнении ремонтных работ с применением путевых машин допускаемые отклонения температуры рельсовых плетей с костыльными скреплениями от температуры закрепления в сторону повышения не должны превышать 5 °С при работе щебнеочистительных, балластировочных и рихтовочных машин и 10 °С — при работе выправочно-подбивочно-отделочных машин. Допускаемые понижения температуры составляют 20 °С.

При выполнении работ ручным способом превышения температуры относительно температуры закрепления пути, °С, в прямом участке и в кривой радиусом до 800 м не должны быть больше значений, приведенных ниже:

Исправление просядок, толчков и перекосов:	
при вывеске решетки до 2 см	10 и 10
при вывеске решетки до 6 см	10 и 5
Рихтовка:	
со сдвижкой до 1 см	15 и 10
со сдвижкой до 6 см	10 и 5
Вырезка балласта на длине до 25 см	15 и 10
Одиночная смена шпал	15 и 10
Одновременная смена не более четырех смежных шпал:	
без вывески решетки	15 и 5
с вывеской до 2 см	10 и 10

Внедрение бесстыкового пути с деревянными шпалами позволяет расширить сферы рационального применения сварных старогодных рельсовых плетей и усилить путевое хозяйство железных дорог.

6.1. СПОСОБЫ УСИЛЕНИЯ ОСНОВНОЙ ПЛОЩАДКИ

Обобщение большого отечественного и зарубежного опыта эксплуатации бесстыкового пути показывает, что при деформирующихся грунтах основной площадки земляного полотна и загрязненном щебнеочистительном балласте, да еще неудовлетворительном водоотводе, нельзя добиться устойчивой работы бесстыкового пути. В Германии, Италии усиление грунтов основной площадки, в том числе повышение их несущей способности, — первый этап технологического процесса реконструкции "больных" участков бесстыкового пути.

Для оценки степени влияния состояния земляного полотна на частоту и стоимость работ по текущему содержанию пути Ассоциация американских железных дорог (ААЖД) провела опытные работы на кольцевом полигоне Транспортного исследовательского центра в г. Пуэбло (штат Колорадо). Наряду с земляным полотном полигона, сложенным из плотных грунтов прочностью 31,5 МПа, уложили опытный участок кольцевого пути с подрельсовым основанием из слабых миссисипских глин прочностью 14 МПа. Результаты опытных работ подтвердили имеющиеся сведения об интенсивном расстройстве проектного профиля пути на слабом несущем основании и большом объеме потребных ремонтных работ по сравнению с их объемом на более прочном и устойчивом подрельсовом основании.

С целью упрочнения земляного полотна на участках пути с низкой несущей способностью применяют различные методы и в том числе: инъектирование известкового раствора золы, ограничивающего набухание грунта при увеличении его влажности; укладку под слоем балласта толщиной 127—254 мм упрочняющей асфальтоцементной прослойки, отводящей от подрельсового основания атмосферные осадки; отделение балласта от земляного полотна с высоким уровнем грунтовых вод защитным синтетическим покрытием, предотвращающим загрязнение балласта выплесками грунта.

В целях улучшения условий работы балластной призмы, предохранения ее от загрязнения грунтом земляного полотна, повышения устойчивости пути в Германии применяют укладку на ответственных линиях защитного подбалластного слоя из геотекстиля, крупнозернистых материалов, шлака, извести или асфальта.

Для повышения эффективности работ по оздоровлению подшпального основания железнодорожная компания Конрейл применяет бурильную диагностическую машину фирмы Plasser American Corp., которая отбирает пробы из балластной призмы, подрельсового основания и земляного полотна. На основе результатов анализа прочностных характеристик этих проб принимаются решения о планировании необходимых работ по очистке балласта на плечах и откосах балластной призмы или по всему сечению пути, укладке геотекстиля.

По нормам СНиП и другим нормативным документам МПС Российской Федерации укладку бесстыкового пути необходимо производить только после стабилизации земляного полотна.

При усиленном капитальном ремонте бесстыкового пути необходимо планировать и уплотнять грунты основной площадки, под балластной призмой устраивать защитный слой из дренирующих грунтов (при использовании для сооружения земляного полотна глинистых грунтов повышенной влажности); использовать геотекстильные материалы (на основной площадке, под защитным слоем); предотвращать деформации морозного пучения, в том числе использовать теплоизоляционные материалы (пенопласты, шлаки, торфы); обеспечивать отвод поверхностных и подземных вод от земляного полотна. В отдельных случаях приходится укладывать на основную площадку земляного полотна покрытия из бетонных или железобетонных плит. Все эти работы производятся в соответствии с разработанной технической документацией, составляемой на основании комплексного обследования участка пути.

Перед укладкой бесстыкового пути земляное полотно должно быть обследовано, имеющиеся деформации (пучины, просадки пути, сплывы и оползания откосов насыпей и т. п.) устранены.

При промерзании наиболее распространенных на сети железных дорог России глинистых увлажненных грунтов земляного полотна происходит их пучение на различную высоту. Оттаивание мерзлых грунтов земляного полотна в весенний период сопровождается снижением их несущей способности. В отдельных случаях на участках образования пучин или большого (свыше 50 мм) равномерного пучения происходят просадки пути. Просадки характеризуются быстропотекающими неравномерными оседаниями и сдвигами рельсовой колеи, разжижением глинистого грунта с выплесками из-под шпал, выдавливанием масс этого грунта на поверхность с образованием бугров выпирания по оси пути, на обочинах или в междупутье со смещением

откосов кюветов. В результате указанных деформаций на основной площадке образуются неровности в виде балластных корыт и лож различной глубины. Необеспеченный сток влаги из этих углублений приводит к неравномерному повышенному увлажнению глинистых грунтов.

Для ликвидации пучин в районах с сезонным промерзанием грунтов и с несливающейся мерзлотой в земляном полотне применяются пенопласты в комплексе с другими мероприятиями. Слой пенопласта располагают на глубине не менее 0,4 м ниже подошвы шпал на остающиеся невырезанными балластные материалы. В случае залегания под пенопластом глинистых грунтов глубину вырезки увеличивают и размещают здесь дополнительно дренирующую подушку из песка толщиной не менее 0,1 м.

При укладке пенопласта в комплексе с усиленным капитальным, капитальным и средним ремонтами верхнего строения пути при использовании машин для глубокой очистки щебня щебень размещают непосредственно на плитах пенопласта без защитного слоя (рис. 6.1, а). Расчетная толщина слоя тепловой изоляции из пенопласта должна быть увеличена на 1 см при ее толщине $h_T < 10$ см и на 2 см при толщине $h_T > 10$ см.

При выполнении работ со снятием рельсошпальной решетки применяют пенопласт с пределом прочности (при 10 % деформации сжатия) не менее 50 Н/см². В этом случае поверх пенопласта укладывают защитный слой из песка, асбестовых отходов или щебня с размером частиц 10—25 мм (рис. 6.1, б).

Для устранения просадок пути и расстройств рельсовой колеи по уровню и в профиле на неустойчивых участках земляного полотна с деформациями основной площадки применяют покрытия из нетканого материала. В местах, где глубина балластных корыт и лож менее 0,5 м, покрытие из нетканого материала размещают на всю ширину земляного полотна поверху на глубину не менее 0,4 м ниже подошвы шпал. Его укладывают на срезанную и спланированную с уклоном не менее 0,04 в полевую сторону поверхность балластной призмы (рис. 6.2).

При использовании в балластном слое щебня фракции 25—60 мм на нетканый материал укладывают слой песка, асбестовых отходов или щебня фракции 10—25 мм толщиной 5—10 мм. На участках с выдавливанием разжиженного грунта через балласт нетканый материал в покрытие укладывают в два слоя, в этом случае щебень можно размещать непосредственно на этот материал.

При глубине балластных корыт и лож на основной площадке земляного полотна более 0,5 м для устранения просадок пути применяют комбинированное покрытие из нетканого материала и гидроизоляционной пленки. Пленку размещают между двумя слоями нетканого материала (рис. 6.3, 6.4).

На европейских и американских дорогах также применяют геотекстиль для упрочнения основания пути, особенно в районах с холодным климатом, где грунты земляного полотна замерзают. Снег с пути убирается в стороны и, накапливаясь на обочинах, препятствует оттаиванию грунта при повышении температуры. Таким образом, в средней части пути с оттаявшим грунтом будет застаиваться вода. При

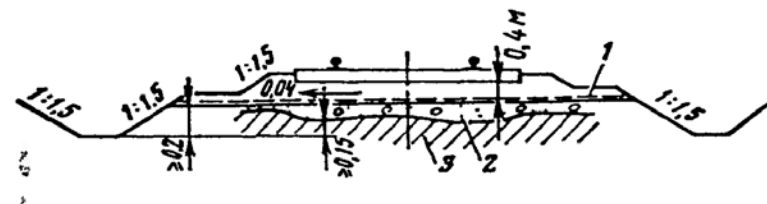


Рис 6.2 Схема усиления неустойчивого земляного полотна:
1 — нетканый материал, 2 — балласт, 3 — глинистые грунты

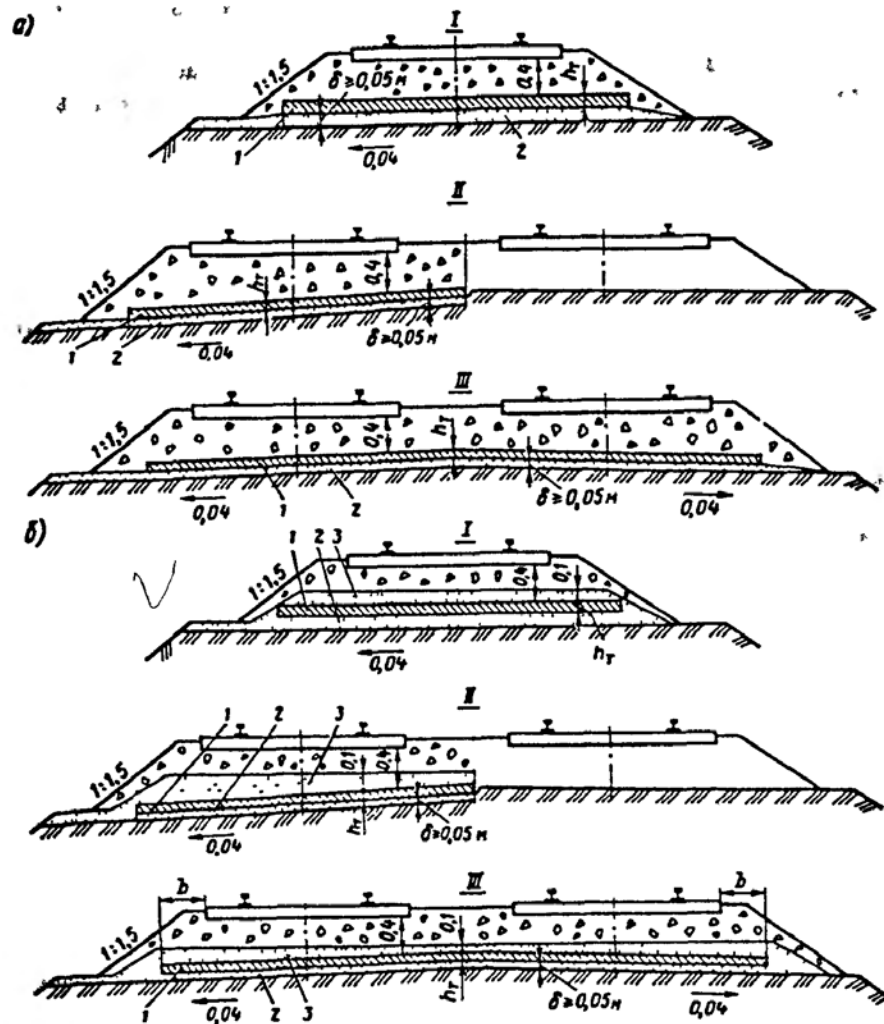


Рис. 6.1. Схема устройства тепловой изоляции из пенопласта без защитного слоя (а) и с защитным слоем (б):
I — на однопутном участке, II — под один путь; III — под два пути на двухпутном участке,
1 — слой тепловой изоляции; 2 — дренажирующая подушка, 3 — защитный слой

исправности дренажных устройств вода, появившаяся в результате таяния льда и снега, поднимается вверх и отводится от пути, а подстилающий слой балласта остается влажным, что способствует проникновению в него мелкозернистых частиц. Уложенный в основание пути геотекстиль улучшает работу дренажей, ускоряет высыхание и стабилизацию увлажненного земляного полотна.

В ФРГ для защиты от переувлажнения и промерзания грунтов между балластным слоем и земляным полотном укладывают защитный слой из смеси минеральных дренирующих грунтов.

Конструктивно защитный слой должен исключать возможность загрязнения балласта грунтом основания, быть маловодопроницаемым, морозоустойчивым, обладать необходимой прочностью и распределяющей способностью, виброустойчивостью. В качестве материала защитного слоя в ФРГ применяются песчано-гравийные смеси, допускается использовать металлургические шлаки. При сооружении в ФРГ новых линий укладка защитного слоя обязательна. Расходы на усиление основной площадки земляного полотна укладкой защитного слоя окупаются за 10 лет.

В ФРГ традиционный путь на балласте совершенствуется использованием сварных рельсовых плетей, внедрением рельсов UIC60, железобетонных шпал В70W длиной 2,6 м и дополнительного слоя в основании пути, также утеплительного слоя на новых и реконструированных линиях, где обращаются поезда со скоростями до 200 км/ч (рис. 6.5). Результаты наблюдений показывают, что по сравнению с более старыми линиями упругость пути на новых значительно ниже, что вызвано хорошим уплотнением земляного полотна и основания балласта.

Таким образом, основной функцией подбалластного слоя является обеспечение дополнительного рассеивания и ослабления напряжений от прикладываемых нагрузок. У основания балластного слоя напряжения частично рассеиваются, и ниже уже не требуется укладывать такой же прочный материал, как и балласт. Однако у основания балластного слоя напряжения слишком велики, чтобы относительно слабое земляное полотно могло выдержать их без деформаций. Снижение общих расходов может быть достигнуто заменой очень прочно-

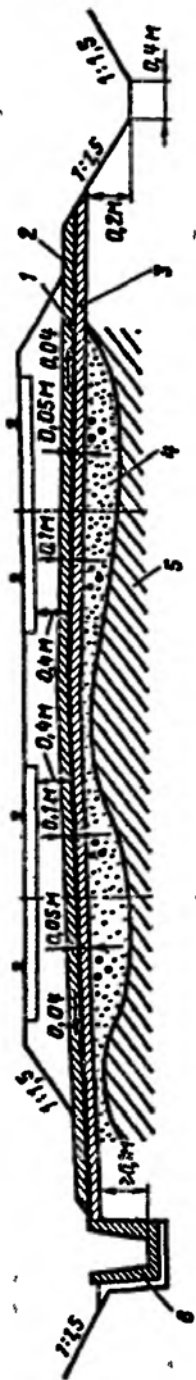


Рис. 6.3. Схема конструкции гидроизоляционного покрытия на двухслойном участке: 1 — гидроизоляция; 2, 3 — верхний и нижний защитные слои; 4 — невырезанная часть старого балласта; 5 — глинистый грунт; 6 — лоток

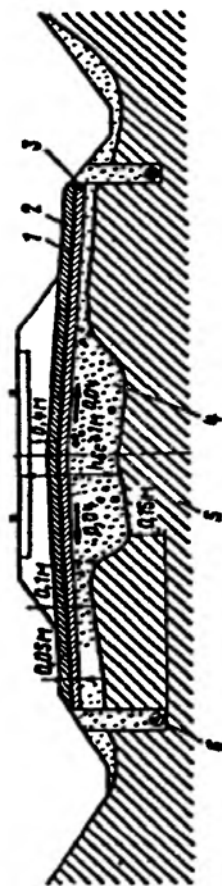


Рис. 6.4. Схема конструкции гидроизоляционного покрытия при общей толщине балластного слоя $h_{бс} > 1$ м: 1 — гидроизоляция; 2, 3 — верхний и нижний защитные слои; 4 — невырезанная часть старого балласта; 5 — глинистые грунты; 6 — дренаж мелкого заложения

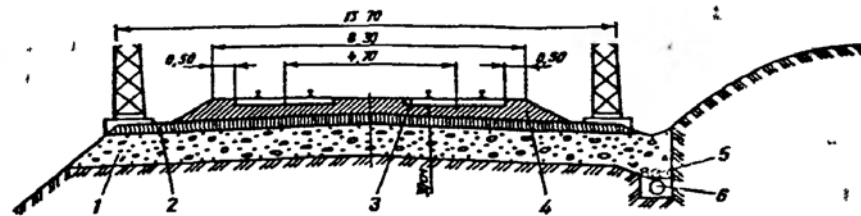


Рис. 6.5. Поперечное сечение пути на балласте на участках скоростного движения в Германии:

1 — утеплительный слой, 2 — подбалластный слой, 3 — железобетонные шпалы В70W (шаг 0,6 м); 4 — балласт; 5 — дренажная труба; 6 — кабельный канал

го балласта материалом с меньшей прочностью, но более прочного, чем нижележащий природный грунт или материал земляного полотна. Подбалластный слой отсыпается непосредственно на основную площадку земляного полотна при строительстве пути и может уплотняться пневматическими или вибрационными катками до относительно плотного состояния.

Применение геотекстиля в качестве разделительного слоя обеспечивает снижение остаточных деформаций балласта за счет ограниченного перемещения частиц и перераспределения напряжений на большую поверхность. Геотекстиль обеспечивает отвод воды, разделяет грязный и чистый слой балласта, пропускает сквозь себя воду, задерживая засорители и препятствуя их проникновению в нижележащие слои.

6.2. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОПЛАСТМАСС В ПОДШПАЛЬНОМ ОСНОВАНИИ

Геопластмассы — тканые или пленочные синтетические материалы (геотекстиль и геопластик) — хорошо зарекомендовали себя при строительстве железнодорожных линий, где их применяют для разделения слоев грунта, фильтрации, дренажирования и усиления. При реконструкции действующих линий также зачастую возникают проблемы, которые можно решать, используя геопластмассы в качестве средства повышения несущей способности, надежности и долговечности земляного полотна.

Ослабленную основную площадку восстанавливают, укладывая несущие и защитные слои (например, противоморозный), а также промежуточные между грунтом и балластом. Общая требуемая толщина несущего слоя d на дорогах Германии определяется скоростью движения поездов, нагрузками от подвижного состава, толщиной зоны промерзания и может колебаться от 0,2 до 0,6 м.

В процессе ремонта путей с заменой рельсошпальной решетки при $d > 0,85$ м на двухпутных линиях в междупутье приходится устанавливать подпорную стенку, например из деревянного бруса, чтобы во время строительных работ гарантировать безопасность движения поездов по соседнему действующему пути. Это трудоемкое и дорогостоящее мероприятие.

При ремонте пути без снятия рельсов и шпал можно укладывать слой ограниченной толщины без сооружения подпорной стенки. В этом случае применение геопластмасс особенно целесообразно, так как они одновременно с выравнивающим эффектом повышают прочность грунта основной площадки, что позволяет снизить требуемую толщину несущего слоя.

В Дрезденской высшей школе техники и экономики провели всесторонние испытания системы "верхнее строение пути — земляное полотно" с моделированием эксплуатационных нагрузок. Между мелкозернистым балластом и защитным слоем земляного полотна укладывали геопластмассы различных видов.

Анализ результатов показал следующее:

в пути с новыми несущими слоями влияние геопластмассы невелико;

во всех 16 экспериментах реконструированное полотно с геопластмассами после длительного нагружения сохраняло более высокую несущую способность;

с уменьшением несущей способности грунта влияние геопластмассы усиливается;

геопластмассы с высокопрочной (на растяжение) основой дают заметное повышение несущей способности.

Испытания геопластмасс различных типов в эксплуатационных условиях выполнили на отремонтированном участке. Результаты измерений позволили сделать следующие выводы:

применение геопластмасс дает более заметные результаты при слабых грунтах;

с увеличением прочности земляного полотна влияние геопластмасс уменьшается и становится заметным упругое сжатие компонентов геотекстиля, снижающее несущую способность.

Измерения, выполненные после нагружения, показали:

происходит заметное увеличение несущей способности и стабилизация несущих слоев под действием нагрузки, дополнительно уплотняющей полотно;

на участках с геопластмассами наблюдается большая равнопрочность земляного полотна и частичное повышение несущей способности.

Как лабораторные, так и полевые испытания выявили, что при динамической нагрузке основной площадки, геопластмассы, как указано выше, должны выполнять одновременно несколько функций.

Только при этом достигается требуемая прочность земляного полотна, выравнивается и повышается его несущая способность. Композиционные геопластмассы в виде ткани или сетки отвечают всем этим требованиям. Кроме того, геотекстиль в течение длительного времени препятствует перемещению и перемешиванию частиц мелких фракций балласта. Грунтовые воды могут проходить через геотекстиль, и для их отвода необходимо создавать поперечный уклон. Основа материала, обладающая высокой прочностью на растяжение, препятствует деформациям и способствует выравниванию нагрузки.

На участках сети DBAG (Германия) с низкой несущей способностью грунтов, в тех местах, где модуль деформации земляного полотна варьируется в пределах $10-25 \text{ МН/м}^2$, предложено вводить геопластмассы в качестве элемента несущего слоя соответствующей толщины. Для выбора геопластмассы разработаны следующие технические требования, предъявляемые к ней:

эффективная величина отверстий — $0,1-0,2$ мм;

толщина — не менее 25 мм при давлении в процессе испытаний 2 кПа;

масса — не менее 300 г/м^2 ;

водопроницаемость — не менее 10^{-3} м/с при том же давлении;

прочность на растяжение — не менее 40 кН/м;

изотропность исполнения, т. е. неравенство параметров в поперечном и продольном направлениях — не более 25 %;

удлинение — не более 3 % при растягивающем усилии не менее 10 кН/м;

достаточное трение между композиционным материалом и грунтом, определяемое при испытаниях на сдвиг.

Существующие линии сооружали более 100 лет назад. В связи с возросшими нагрузками и изменившимися требованиями к профилю возникает необходимость в расширении насыпей или выемок, что обуславливает значительную перестройку земляного полотна. При этом используемые технические решения должны предусматривать более крутые откосы без уменьшения несущей способности и возможность озеленения. Если невозможно устроить откос с крутизной не более 1:1,5, то его можно выполнить более крутым, установив подпорную стенку или используя в основании грунт, армированный геопластмассой.

Если желательно в максимальной мере сохранить существующий высокий откос с растительностью, то в случае расширения земляного полотна или устройства контрбанкета можно поставить подпорную стенку или отсыпать крутые откосы с армированным геопластмассой грунтом. Верхние армирующие слои при этом могут быть настолько растянуты в грунте, что выйдут за пределы контура и будут создавать дополнительную удерживающую силу. Необходимость укладки геопластмассы в земляное полотно или выполнения промежуточных уступов в каждом отдельном случае должна быть обоснована.

6.3. БЕЗБАЛЛАСТНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПОДРЕЛЬСОВОГО ОСНОВАНИЯ НА УЧАСТКАХ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ

На отечественных дорогах и за рубежом отдельные участки бесстыкового пути на плитном основании применялись в основном на искусственных сооружениях: мостах, эстакадах, тоннелях, а также метрополитенах, т. е. инженерных сооружениях, где практически не имеет место накопление остаточных деформаций. Было установлено, что при укладке плитного или сплошного монолитного основания на участках земляного полотна резко снижается накопление остаточных деформаций по сравнению с бесстыковым путем на балласте. Однако за счет больших затрат на ликвидацию этих деформаций в целом безбалластные конструкции оказывались неэффективными.

Поиски экономически эффективной конструкции бесстыкового пути на безбалластном основании шли в основном по двум направлениям: найти способ уплотнения грунтов, при котором практически не будут иметь место остаточные деформации; создать экономически целесообразные конструкции, на которых будут располагаться сварные плети бесстыкового пути. Большая часть этих исследований проводилась и проводится в Японии и Германии.

До начала широкомасштабного применения плитного основания пути типа RCRS на земляном полотне были проведены опытные работы в 1980 г., а в последующем — в период с 1987 по 1992 г. С этой целью на нескольких участках линии Хокурику Синкансэн плитное основание уложили в выемках и на насыпях земляного полотна, чтобы оценить его эксплуатационные характеристики в условиях регулярного движения поездов. Предварительно были проведены исследования процесса осадки земляного полотна насыпей в течение длительного периода времени на трех линиях системы Синкансэн. Насыпи на опытных участках имели высоту 8, 13,6 и 16 м и были сложены из вулканических грунтов, песка и гравия на глинистом, суглинистом и песчано-гравийном основании. Общая величина осадки насыпей достигала 26,10 и 9 мм соответственно. В результате исследований было установлено, что осадка грунтовой насыпи может быть сведена к нулю за счет укладки уплотненного подбалластного слоя песка или гравия. Поэтому на опытных участках пути под сплошное плитное основание как на насыпях, так и в выемках уложили стабилизирующий уплотненный песчано-гравийный слой. При укладке его уплотняли виброкатком массой 10 т и пневмокатками массой 15,5 т до достижения величины 0,9 стандартной плотности и более. Проведенные после 6 мес. эксплуатации измерения показали, что общая осадка насыпи высотой 6,5 м с уложенным плитным подрельсовым основанием не превысила 4,2 мм. Для оценки устойчивости и надежности пути на плитном подрельсовом основании провели дополнительные его испытания с динамическим нагружением циклической нагрузкой 116 кН, эквивалентной осе-

вой нагрузке на линии Хокурику Синкансэн. В результате нагружения пути 2 млн. циклов этой нагрузки в течение 20 ч не было обнаружено какого-либо изменения сравнительно невысокого уровня внутренних напряжений в бетоне и арматуре плитного основания, а также в теле земляного полотна.

При годовом объеме нагружения 10 млн. т брутто допустимая величина осадки пути за десятилетний период эксплуатации для линий системы Синкансэн установлена не более 1 мм. Таким образом, результаты испытаний опытных участков пути с плитным подрельсовым основанием на земляном полотне показали его соответствие принятым нормативам устойчивости, поскольку реальная величина осадки порядка 4,2 мм может быть легко компенсирована за счет регулирования рельсовых скреплений в вертикальной плоскости. После проведения удачных опытов безбалластное плитное основание пути в Японии стали укладывать не только на эстакадах и в тоннелях, но и на насыпях и в выемках земляного полотна. Основной целью применения плитного основания пути на земляном полотне является уменьшение затрат на его текущее содержание.

Разработанная японскими железнодорожниками универсальная конструкция усиленного плитного основания пути RCRS может использоваться как в тоннелях и на эстакадах, так и на земляном полотне. Основание состоит из двух предварительно напряженных железобетонных плит, обеспечивающих равномерное распределение поездажной нагрузки и устойчивость подрельсового основания. Трещиностойкость и надежность нового плитного основания находятся на уровне, обычном для безбалластного основания пути. Стоимость сооружения плитного основания RCRS выше стоимости обычного пути на балласте на 18 % в выемках и на 24 % на насыпях, но среднегодовые эксплуатационные затраты на текущее содержание 1 км безбалластного пути в 3—5 раз меньше, чем пути на балласте. Таким образом капитальные затраты на укладку бесстыкового пути на плитном основании RCRS окупаются в течение 10 лет.

В Японии безбалластное основание пути получило широкое распространение на первой в мире высокоскоростной линии Токайдо между городами Токио и Осака, а впоследствии и на других линиях системы Синкансэн. В безбалластном или плитном основании пути балластная призма заменена монолитным или сборным асфальтом или бетоном, укладываемым на подстилающий слой гидравлически связанного крупнозернистого материала (HBS). Благодаря жесткой конструкции подрельсового основания осадки пути под действием поездных нагрузок сведены к минимуму или даже отсутствуют. Необходимая степень упругости пути, обычно обеспечиваемая балластной призмой, достигается за счет применения упругих рельсовых прокладок.

Вплоть до 1990 г. на западноевропейских железных дорогах было уложено в общей сложности 90 км безбалластного пути, в ряде случаев небольшой протяженности. В настоящее время железные дороги Германии уложили несколько более протяженных участков безбалластного пути, и в том числе четыре участка в тоннелях новых высокоскоростных линий Ганновер — Вюрцбург и Мангейм — Штутгарт.

Общая протяженность безбалластного пути в Германии к настоящему времени достигла 142 км. В основном использованы три типа плитного основания пути (рис. 6.6): Реда, Зюблин и АТД.

Новые типы безбалластного основания пути предварительно испытывались в лабораторных условиях, где имитировались погодные условия и поездные нагрузки. Затем испытания безбалластного пути продолжались в эксплуатационных условиях под воздействием квазистатических и динамических нагрузок.

6.4. КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ ОСНОВНОЙ ПЛОЩАДКИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА И БАЛЛАСТНОЙ ПРИЗМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

При реконструкции основной площадки земляного полотна и балластной призмы железнодорожных линий с целью обеспечения устойчивой и безопасной работы пути должны быть ликвидированы деформации морозного пучения как в виде пучин, так и равномерного пучения; ограничен темп накопления остаточных деформаций в балласте и грунтах основной площадки земляного полотна; обеспечена длительная поперечная устойчивость рельсошпальной решетки.

Для ликвидации деформаций морозного пучения по условиям технологичности проведения работ в 6—8-часовые "окна" единственным приемлемым вариантом является укладка пенопластового покрытия без снятия рельсошпальной решетки при глубокой очистке щебня машинами RM-80 или "Самсон". Укладка теплозащитного слоя из пенопласта назначается на всех участках, где пучинистые грунты входят в зону возможного промерзания с вероятностью его повторения один раз в 10 лет.

Пенопласт располагается на глубине не менее 0,4 м ниже подошвы шпала с поперечным уклоном 0,04 в полевую сторону. Сверху на пенопласт допускается укладка непосредственно щебня. Толщина и ширина покрытия определяются теплотехническим расчетом из условия полного выведения границы промерзания из пучинистых грунтов. Толщина покрытия, полученная расчетом, увеличивается на 1 см в запас на возможное уменьшение защитных свойств покрытия при вдавливании в него отдельных щебенков. Минимальная толщина покрытия принимается 4 см, а ширина 4 м под один путь. Срезка обочин земляного полотна до уровня пенопласта для возможности отвода воды и балласта обязательна.

Для ограничения темпа накопления остаточных деформаций в балласте и грунтах основной площадки земляного полотна должны быть выполнены условия по обеспечению их прочности, что может достигаться снижением максимальных напряжений на слабые грун-

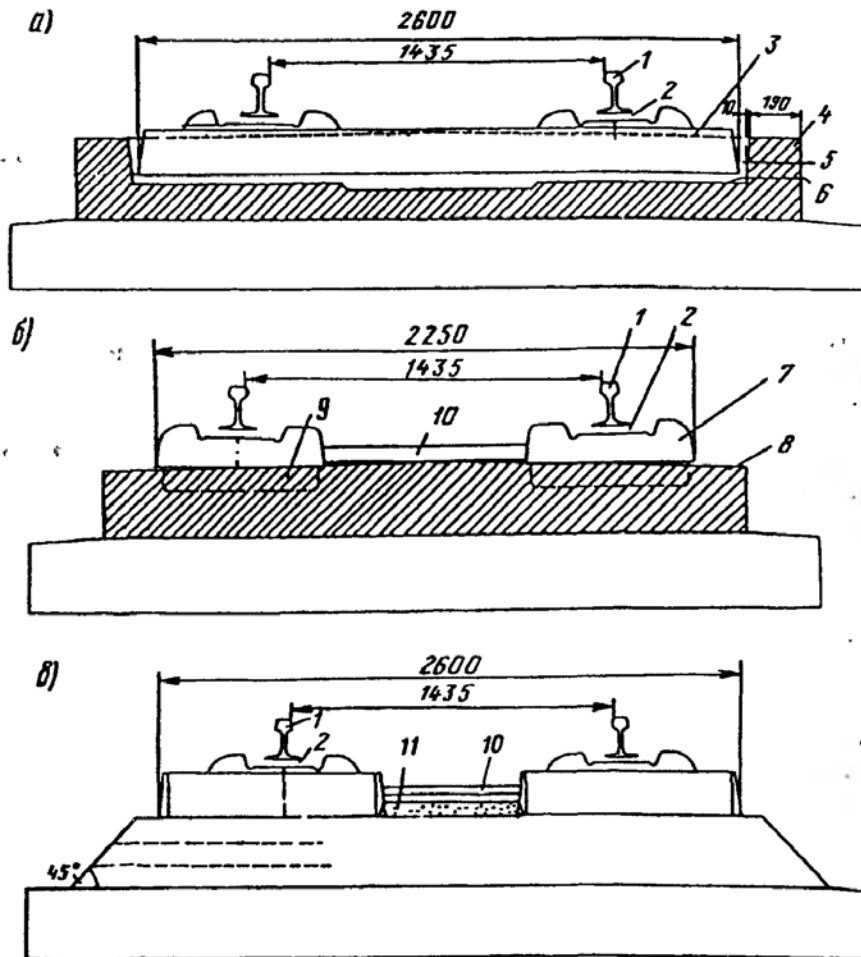


Рис. 6.6. Типы безбалластного пути железных дорог Германии: а — Реда; б — Зюблин; в — АТД; 1 — рельс; 2 — крепления (условно не показаны); 3 — одноблочная шпала; 4 — бетонный несущий слой; 5 — разделительная прокладка; 6 — нижняя часть шпалы и подошва на битумном слое; 7 — двухблочная шпала; 8 — асфальтовый несущий слой; 9 — выравнивающая прокладка; 10 — поперечные связи; 11 — слой грунта, укрепленный вяжущими материалами

ты основной площадки, уменьшением их влажности и предотвращением возможности поступления мелких частиц из нижних слоев загрязненного балласта и грунтов земляного полотна в верхние чистые слои балласта.

Для этого на всем протяжении линии должна быть проведена очистка или полная замена старого балласта при его недостаточной несущей способности на глубину, обеспечивающую создание балластной призмы из чистого слоя щебня толщиной не менее 40 см под шпалой и под ней подбалластной подушки или защитного слоя, выполняющих разделительную и распределительную функции.

В качестве технических решений могут быть приняты следующие варианты:

1 вариант. Очистка щебня на глубину 60 см с устройством подушки из крупно- и среднезернистого песка либо из щебня мелких фракций. Этот вариант технологически возможен при работе машины "Самсон", обеспечивающей послойную укладку материалов и уплотнение подушки без снятия путевой решетки. Вариант требует дополнительное количество балластных материалов и ограничивается темпом производства работ.

2 вариант. Очистка щебня на глубину не менее 40 см с укладкой геотекстиля. Геотекстиль укладывается на ширине 4,5 м под один путь с уклоном 0,04 в полевую сторону при работе машин типа RM-80 или "Самсон" без снятия путевой решетки и замедления темпа работ. На геотекстиль допускается укладка непосредственно щебня. Срезка обочин земляного полотна до уровня геотекстиля для возможности отвода воды из балласта обязательна. Для предотвращения повреждений геотекстиля щебнем к укладке допускается геотекстиль с повышенными прочностными характеристиками.

3 вариант. Очистка щебня на глубину не менее 45 см с укладкой защитного слоя из пенопласта толщиной 4 см на ширине 4 м под один путь с уклоном 0,04 в полевую сторону при работе машин RM-80 или "Самсон" без снятия путевой решетки. На пенопласт непосредственно укладывается щебень. Срезка обочин земляного полотна до уровня пенопласта для возможности отвода воды из балласта обязательна. Пенопласт позволяет в большей степени (чем геотекстиль) распределить напряжения на нижележащие слои, является лучшей преградой для проникновения мелких частиц-засорителей и выполняет дополнительно гидроизоляционные функции. Поэтому этот вариант имеет более высокую надежность, но и стоимость пенопласта выше, чем геотекстиля.

Для распределения сфер применения вариантов защитных слоев может быть рекомендовано следующее.

Защитный слой из пенопласта применяется в более неблагоприятных условиях: затрудненный поверхностный водоотвод (сырые выемки и нулевые места, станционные пути и пассажирские платформы), повышенные силовые воздействия (стрелочные переводы, зоны рельсовых стыков).

Защитные слои по вариантам 1 и 2 применяются в остальных более облегченных условиях, выбор между ними делается исходя из наличия материалов и возможности работы машины "Самсон", необходимой в варианте 1.

При выполнении работ со снятием рельсошпальной решетки производят срезку слоя старого балластного материала на глубину не менее 40 см ниже подошвы шпал (до проектных отметок) и планируют основание, на которое укладывают полимерный материал (плиты пенопласта, гидроизоляционную пленку или нетканый материал). Поверх полимерного материала отсыпают слой балласта толщиной не менее 20 см (для предохранения полимерного материала при работе выправочно-подбивочных машин), на который укладывают рельсошпальную решетку.

Устройство покрытий из полимеров при реконструкции балластной призмы в комплексе с работой современных щебнеочистительных машин без снятия рельсошпальной решетки предъявляет к этим материалам жесткие требования по прочностным характеристикам и ряд ограничений по геометрическим размерам. По прочности материалы должны выдерживать напряжения, возникающие при укладке на них щебеночного балласта, а геометрические размеры — обеспечивать совместимость их укладки в комплексе с щебнеочистительными машинами. Надежность и долговечность работы пенопласта определяется пределом прочности его на сжатие и водопоглощением (высокое водопоглощение приводит к быстрому старению). Длину плит пенопласта по технологии укладки лучше принимать равной ширине покрытия (4—5 м). Допускается длина плит не менее половины ширины покрытия. По боковым поверхностям плиты должны иметь пазы для перекрытия швов.

Геотекстиль должен иметь достаточную прочность на разрыв и продавливание щебнем, а по геометрическим размерам рулон геотекстиля должен иметь ширину 4,5 м (ширина покрытия) и диаметр не более 38 см. Для реконструкции балластной призмы рекомендуется в качестве защитных слоев применять покрытия из плит экструдированного пенополистирола (не допускается к укладке полистирольный пенопласт, изготовленный по беспрессовой технологии) и термоупрочненного геотекстиля типа "спандбонд" (нетканый волокнистый материал из расплава полимеров).

БЕССТЫКОВОЙ ПУТЬ НА СКОРОСТНЫХ МАГИСТРАЛЯХ

7.1. ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ И ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ

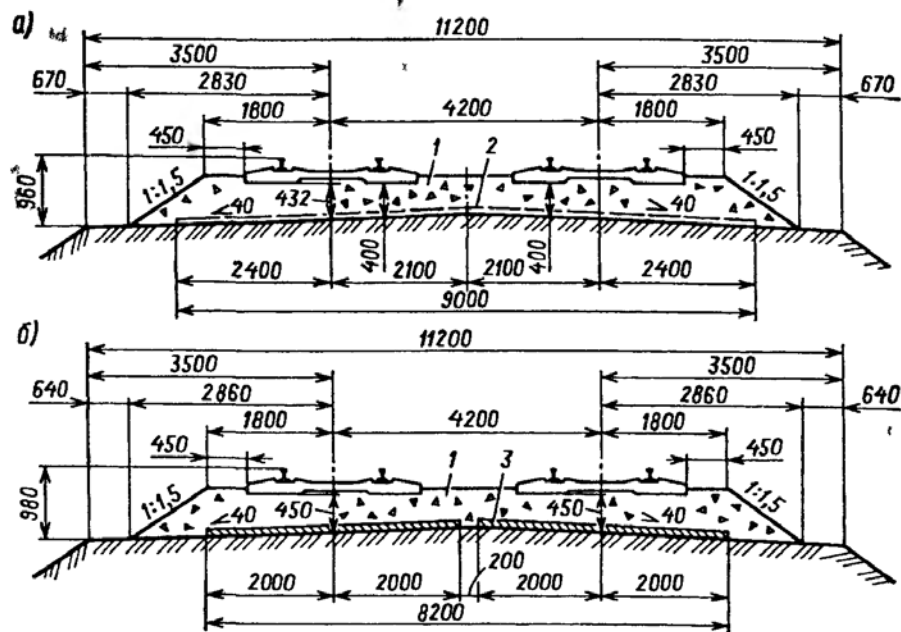


Рис 6.7 Поперечники балластной призмы на реконструированном участке линии Санкт-Петербург—Москва с применением геотекстиля (а) и пенополистирола (б)
1 — очищенный щебень 2 — слой геотекстиля 3 — экструдированный пенополистирол толщиной 40 мм

При реконструкции линии Санкт-Петербург — Москва в качестве защитных слоев были приняты варианты устройства покрытий из плит пенополистирола и геотекстиля (рис. 6.7).

С целью обеспечения плавного перехода по жесткости и теплофизическим свойствам вдоль оси пути по концам пенопластового покрытия устраиваются сопряжения. Для покрытий толщиной 4 см (минимальная толщина покрытия) они выполняются за счет постепенного уменьшения ширины покрытия. При покрытиях толщиной более 4 см сопряжение вначале осуществляется уменьшением его толщины до 4 см при неизменной ширине, а далее располагается участок сопряжения, как для покрытий с толщиной 4 см. Уменьшение толщины покрытия производится ступенчато с шагом 1 см. Длина каждого участка с неизменной толщиной плит принимается равной 5—6 м.

В конце XX в. во многих странах ставилась задача обеспечить доставку пассажиров на расстояние 1000 км поездами за такое же время, как авиация. Для этого *техническая* скорость железнодорожных экспрессов должна быть не менее 250—380 км/ч. Поскольку такие перевозки осуществляются не только между мегаполисами одного государства, но и между странами, высокими должны быть и *коммерческие* скорости. Для этого нужна высокая организованность всех звеньев транспортного конвейера, т.е. слаженная работа всех служб.

По-особому должна строиться и работа основного элемента железной дороги — железнодорожного пути. Его конструкция должна:

быть увязана с силовыми воздействиями на него скоростного подвижного состава;

отвечать требованиям современных видов автоматики, разработанной для регулирования пассажиропотоков;

иметь необходимые устройства для безусловного обеспечения полной безопасности проезда пассажиров;

быть "особо ремонтпригодной";

не нарушать экологии в полосе отвода.

И при всем этом скоростной путь должен быть достаточно экономичным, учитывая его большую протяженность.

Стремление к повышению скоростей пассажирских (главным образом) поездов началось с самого начала существования железных дорог. Это касалось всех звеньев рельсового транспорта: совершенствовались локомотивы и вагоны, улучшались способы "общения" между отдельными пунктами, ускорялись операции оформления и отправления пассажиров и грузов. Но главным требованием для повышения скоростей движения всегда оставался прочный, гладкий, всепогодный, удобоустраиваемый и ремонтпригодный рельсовый путь.

Следует отметить, что скоростное движение пассажирских поездов при скоростях более 100 км/ч началось значительно раньше, чем появился бесстыковой путь со сварными рельсовыми плетями. На первых скоростных испытаниях 1936—1937 гг. в СССР планировалось использовать паровозы ИС с осевой нагрузкой 200 кН со скоростями до 130 км/ч. Путь при этом был типовой: рельсы П-А, шпалы дере-

вянные, 1600 шт./км, балласт — крупнозернистый песок. Кроме ИС, испытывались и более легкие паровозы С^У. В том же 1937 г. в СССР был изготовлен "обтекаемый" паровоз 2-3-2 (с соответствующим числом направляющих, ведущих и поддерживающих осей). Он испытывался на Октябрьской железной дороге. Воздействие его на путь описанной конструкции изучали сотрудники Института пути, МИИТа, специалисты-железнодорожники (среди них были Б. Н. Веденисов, Н. Т. Митюшин, К. Н. Мищенко и Е. М. Бромберг — будущий руководитель лаборатории бесстыкового пути). На испытаниях были достигнуты скорости до 170 км/ч.

В США еще в начале XX в. на отдельных линиях были пропущены по железным дорогам экспрессы со скоростями более 100 км/ч. В 1902 г. поезд "Бродуэй Лимитед" с паровозом, имевшим осевую нагрузку 28,6 кН, развил скорость 137 км/ч по звеньевому пути с рельсами массой 41,16 и 49,60 кг/м.

В Германии в 1913 г. на 1147 км сети (при общей ее длине тогда 53 тыс. км) пассажирские поезда имели скорость более 100 км/ч.

В 1935 г. многие страны были готовы к введению скоростей до 200 км/ч. Имелись уже скоростные электропоезда: в Италии — "Бугатти" (98 км/ч), в Англии — "Летучий Шотландец" (160 км/ч), во Франции — "Лазоревый Берег" (96 км/ч). Однако конструкция железнодорожного пути не соответствовала требованиям скоростного движения поездов и, прежде всего, по мощности рельсов и наличию множества стыков.

Чтобы сократить число стыков в пути, в Германии начали прокатывать рельсы "двойной" длины — 30 м при 15-метровых стандартных. Во Франции стали применять рельсы длиной 24 м, в Бельгии — 30 м, а в США на железной дороге Дэлзвэр-Хадсон уложили первые сварные рельсовые плети длиной 500 и 900 м. Удачные опыты позволили дороге применять плети и длиной до 2000 м. Сварку стыков проводили термитом, а вскоре и электроконтактным способом. На этой линии были успешно применены раздельные упругие промежуточные скрепления типа ML (прототип отечественных Д4).

Проведенными в США экспериментами было установлено, что стыки при рельсах длиной 11,9 м "съедают" 40—50 % эксплуатационных расходов на путь и тягу поездов (текущее содержание, энергетические расходы и т.д.).

В послевоенные годы (1950—1970 гг.) к проблеме высокоскоростного движения вновь обратились специалисты всего мира, включая советских. Широко поставленные исследования сделали Октябрьскую железную дорогу особо ценным полигоном новых конструкций бесстыкового пути. Еще в 1950-х годах на разных дистанциях здесь "опробовали" бесстыковой путь с плетями из рельсов Р50 с сезонными разрядами температурных напряжений, в крутых кривых, с костыль-

ными скреплениями, с разными способами разрядок напряжений (по П. Е. Помогаеву и др.), на мостах разных видов, на станционных путях и т.д.

В 1951 г. (при участии автора данной главы — дипломного практиканта МИИТа) на Октябрьской железной дороге велась реконструкция пути для пуска скоростного дизель-поезда венгерской фирмы "Маваг". В путь укладывались рельсы Р50 длиной 25 м на деревянных шпалах I и II типов. Щебень почти по всей трассе имел толщину слоя ("с Николаевских времен") такую, что добавлять его почти не приходилось (за 100 лет из-за подъемов-выправок его толщина достигала метра). Это была первая советская скоростная магистраль. В конце 1960-х годов линию Москва—Ленинград электрифицировали и тогда же уложили бесстыковой путь с рельсами Р65 (800 м) на деревянных, а затем железобетонных шпалах, с отечественными жесткими скреплениями К2 и КБ. В опытном порядке испытывались и упругие бесподкладочные французские скрепления RN. Богатейший практический опыт путейцев Октябрьской дороги, а также практически идеальная трасса главного хода (без крутых кривых и подъемов) способствовали очень быстрому введению здесь скоростного (до 140, а затем до 200 км/ч) движения пассажирских поездов. В качестве локомотивов использовались чешские электровозы ЧС-1, ЧС-2 (при скоростях до 140 км/ч) и специальный высокоскоростной электропоезд Рижского завода ЭР-200 (при скоростях до 200 км/ч). Бесстыковой путь описанного типа вполне обеспечивает по своей конструкции пропуск указанного подвижного состава с наибольшими скоростями до 200 км/ч практически на всем протяжении рассматриваемой линии. Однако ряд обстоятельств сдерживал внедрение скоростей 200 км/ч. Одно из них — "смешанные" (пассажирские и грузовые) перевозки по одному направлению, а значит, и разные нормы устройства колеи (возвышенные наружного рельса в кривых и др.). Поэтому повышать скорости сверх 200 км/ч на магистрали было затруднительно, несмотря на льготные план и профиль пути.

В связи с этим в 1980-х годах был рассмотрен вопрос о сооружении между двумя столицами новой специализированной высокоскоростной магистрали (ВСМ) Санкт-Петербург — Москва. Она должна проходить по обособленной трассе с расчетом на особый подвижной состав, способный преодолевать "межстоличное" расстояние за 3,0—3,5 ч.

На основании технико-экономических сравнений нескольких вариантов трассы был выбран "Новгородский", проходящий западнее существующей линии. Новая ВСМ рассчитывается на обращение по ней специального электрического подвижного состава ЭПС-350 со скоростями до 350 км/ч. Для проектирования и постройки этой линии было создано Акционерное Общество РАО ВСМ. Вопросы пути для ВСМ решались с участием ВНИИЖТа.

Поскольку действующие в системе МПС Технические указания по устройству, укладке и содержанию бесстыкового пути рассчитаны только на обычные линии (со скоростями до 200 км/ч), для ВСМ потребовался новый самостоятельный документ, определяющий основные положения постройки и последующей эксплуатации бесстыкового пути. Этот документ, по заказу РАО ВСМ, был разработан специалистами ВНИИЖТа в 1993—1994 гг.

При проектировании ВСМ были детально изучены примеры подобных магистралей за рубежом: Токио — Осака (Япония), Париж — Лион — Средиземное море (Франция), Рим — Флоренция (Италия) и многие другие. Все названные магистрали проходят по самостоятельным трассам, обходят заповедники, курорты, особо ценные земли, густо заселенные территории, залежи полезных ископаемых и т.д. ВСМ имеют преимущественно электрическую тягу.

Трасса ВСМ Санкт-Петербург — Москва пересекает заболоченные низины на севере и возвышенности (Валдай) в средней части. Это определило руководящий уклон 24 ‰ в среднем по линии и 35 ‰ в особо трудных условиях. Радиусы кривых — 5—7 тыс. м. Большое количество водных препятствий (в том числе — судоходных рек) определило и большое количество мостов. Особый вид искусственных сооружений на ВСМ — путепроводы и эстакады, обилие которых связано с отсутствием здесь в будущем переездов и других пересечений в одном уровне.

По условиям высокоскоростных поездов, а также обслуживания всей территории в зоне ВСМ, линия разделяется (по проекту) станциями и диспетчерскими постами на перегоны и участки. На их границах предусматриваются стрелочные переводы пологих марок с непрерывной поверхностью катания, которые должны обеспечивать проезд по ним без ограничения скорости (или с очень малым ограничением). Для этого переводы должны быть сварены в бесстыковые рельсовые плети.

7.2. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И РАБОТЫ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ НА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МАГИСТРАЛЯХ

Опыт эксплуатации скоростных магистралей (специально сооруженных для скоростей до 300—350 км/ч и реконструированных для движения с повышенными до 160—200 км/ч скоростями) на дорогах Японии, Европы, США, Австралии и других стран позволяет сформулировать общие требования к конструкции бесстыкового пути при движении по нему пассажирских экспрессов.

Первое требование — это практически полная ликвидация стыковых соединений как на границах блок-участков, так и в зоне стрелочных переводов. В отдельных случаях при $v_{\max} \leq 200$ км/ч до введения

тональной блокировки сварные плети на границах блок-участков могут быть соединены изолирующими накладками специальной конструкции, выдерживающими на растяжение продольные силы не менее 800 кН.

Поверхность катания головки рельсовых плетей должна иметь высокую прямолинейность, что достигается повышенными требованиями к рельсам, выпускаемым с заводов, и систематической профильной шлифовкой сварных плетей в действующем пути.

В табл. 7.1 приводятся существующие требования к прямолинейности рельсов, выпускаемых отечественными заводами, и перспективные показатели, необходимые для скоростных линий. Здесь приведены только три основных показателя, относящихся к прямолинейности рельсов и свидетельствующих о том, что технологическое отставание отечественной металлургии особенно заметно в обеспечении геометрического качества рельсов.

Крайне неблагоприятное влияние на плавность движения экипажей и повреждаемость рельсов оказывают вертикальные неровности на головке рельсов, допустимые значения которых, как видно из табл. 7.1, в настоящее время на отечественных рельсах в 2—2,5 раза превышают соответствующие перспективные показатели.

Проведенные обследования скоростных линий показывают, что за счет периодических профильных шлифовок рельсов рельсошлифовальными поездами с активными рабочими органами можно добиться снижения глубины коротких неровностей до 0,03—0,05 мм. Однако для скоростных линий наиболее неблагоприятны длинные неровности протяжением 20—40 и более метров. При этом, чем выше скорости движения, тем более длинными (в процессе эксплуатации) образуются неровности на поверхности рельсов. На них накладывается "местный" волнообразный износ, ликвидация которого обеспечивается рельсошлифовальными поездами типа СПЕНО.

Таблица 7.1

Показатель	Значение показателя, мм	
	по существующим требованиям	на перспективу для скоростных линий
Концевая искривленность:		
вертикальная вниз	0,5	0,0
горизонтальная	1,0	0,5
Вертикальная волнообразная неровность по длине головки	0,6—1,0	0,2—0,4

Таблица 7.2

Оценка хода вагона	Коэффициент динамики	Вертикальное ускорение (в долях g)
Отлично	0,09—0,12	0,09—0,12
Хорошо	0,11—0,15	0,11—0,15
Удовлетворительно	0,15—0,20	0,15—0,20

Нарушение плавности хода снижает комфортабельность поездки для пассажиров. На скоростных магистралях различных стран мира, в зависимости от условий эксплуатации, имеются свои нормативы. Например, для японских линий "Синкансен", где накоплен наибольший опыт эксплуатации скоростного пути, ускорения кузова вагона не должны превышать: в плоскости, перпендикулярной к оси пути, 0,20g, в вертикальной плоскости — 0,25g, где g — ускорение свободного падения.

Специалисты ВНИИЖТа на основании проведенных экспериментов и расчетов рекомендуют предельные значения параметров динамики, ускорений подпрыгивания и галопирования для оценки качества хода вагона по неровностям в вертикальной продольной плоскости, приведенные в табл. 7.2.

Анализ движения подвижного состава по пути с неровностями длиной более 20 м, на которые накладываются короткие неровности, позволил определить предельные величины уклонов неровностей для оценки состояния пути в профиле на скоростных линиях (табл. 7.3).

Обследование пути на линии Санкт-Петербург — Москва показало, что при хорошем состоянии линии и длинах неровностей 30 м и более встречаются уклоны неровности до 1,5 ‰, а на участках удовлетворительного состояния пути — до 2,0 ‰ и более.

Таблица 7.3

Скорость движения пассажирских поездов, км/ч	Оценка хода вагона	Величина уклона, ‰, при длине неровности, м				
		20	30	40	50	60
161—200	Отлично	0,25	0,25	0,30	0,35	0,40
	Хорошо	0,30	0,30	0,40	0,45	0,50
	Удовлетворительно	0,40	0,40	0,60	0,75	1,00
141—160	Отлично	0,45	0,45	0,60	0,75	1,00
	Хорошо	0,60	0,60	0,75	0,90	1,20
	Удовлетворительно	1,00	1,00	1,50	1,80	2,20

Таблица 7.4

Параметр	Отклонения рельсовой колеи от проектного положения, мм, на длине 10 м по категориям					
	I	II	III	IV	V	VI
Продольный профиль	4	6	7	10	15	20
План	3	4	4	6	8	10
Оценка отклонений	Паспортные значения отклонений	Допускаемые после выполнения работ по выправке пути	Максимально допускаемые по условию комфортабельности езды	Максимально допускаемые по условию обеспечения безопасности езды	Требуемые ограничения скоростей до 160 км/ч	Требуемые ограничения скоростей до 110 км/ч

Помимо длинных неровностей, на всех скоростных магистралях жестко лимитируются отклонения от проектного положения рельсовой колеи. Приводим в качестве примера нормативы японских скоростных магистралей (табл. 7.4). Оценка состояния пути производится по данным прохода вагона-путеизмерителя с периодичностью не реже одного раза в 10 суток.

Мощность рельсов практически на всех скоростных линиях колеблется от 60 до 66 кг/м. Учитывая повышенное динамическое воздействие скоростных поездов на путь, на заводах России и за рубежом проводятся работы по повышению качества рельсовой стали. По мнению доктора технических наук Е. А. Шура (ВНИИЖТ), имеется возможность существенно повысить показатели механических свойств отечественных рельсов (табл. 7.5).

Таблица 7.5

Показатели механических свойств рельсов	Значение показателя	
	действующее	перспективное
Временное сопротивление, МПа, не менее	1166	1300
Предел текучести, МПа, не менее	784	850
Относительное удлинение, %, не менее	6	12
Относительное сужение, %, не менее	25	35
Ударная вязкость, МДж/м ² , не менее	0,25	0,25
Твердость на поверхности катания, НВ	311—388	341—405
Твердость в головке на глубине 12—20 мм, НВ, не менее	300	340
Разброс твердости по длине, НВ	50	30

Подрельсовое основание скоростных линий — это железобетонные шпалы различных модификаций, уложенные на щебеночную балластную призму. Проведенные специалистами ВНИИЖТа исследования уровней изгибных напряжений в рельсовых плетях при использовании типовых железобетонных шпал типа ШС-1 и специально изготовленных для укладки на опытных участках "тяжелых шпал" ШСТ-1 под воздействием скоростного поезда ЭПС-350 показали незначительное влияние массы шпал на напряжения. Такая же зависимость прослеживалась при измерении динамических напряжений в рельсовых плетях типа Р65 на различных железобетонных шпалах и щебеночном балласте при обращении по пути поезда ЭПС-350 (табл. 7.6).

За границей все большее распространение получает плитное (блочное, монолитное) основание пути на специально сооружаемых высокоскоростных линиях (рис. 7.1). До начала 1990-х годов железобетонное блочное основание применялось в основном на эстакадах, в тоннелях, т.е. там, где практически не может быть накопления остаточных деформаций в вертикальной плоскости. В период 1991—1995 гг. в результате анализа работы бесстыкового пути на опытных участках, уложенных на грунтовые основания, были разработаны технологические приемы, реализация которых позволяет свести к минимуму накопление остаточных деформаций пути в вертикальной плоскости и на участках с земляным полотном.

Таблица 7.6

Радиус кривой, м	Напряжение в наружной кромке подошвы рельса, МПа, при скоростях, км/ч				
	150	200	250	300	350
<i>Путь на железобетонных стандартных шпалах ШС-1</i>					
∞	...	...	97,4	118,4	134,4
7000	...	...	108,138	138,9	142,4
5000	...	92,6	128,5	129,1	...
4000	79,9	104,7	111,0	...	...
2000	82,1	113,6	...	...	...
<i>Путь на "тяжелых" шпалах ШСТ-1</i>					
∞	...	...	98,0	125,9	124,3
7000	...	...	107,6	141,9	132,6
5000	...	91,2	127,2	136,1	...
4000	75,4	102,9	111,2	...	...
2000	78,0	111,5	...	...	22

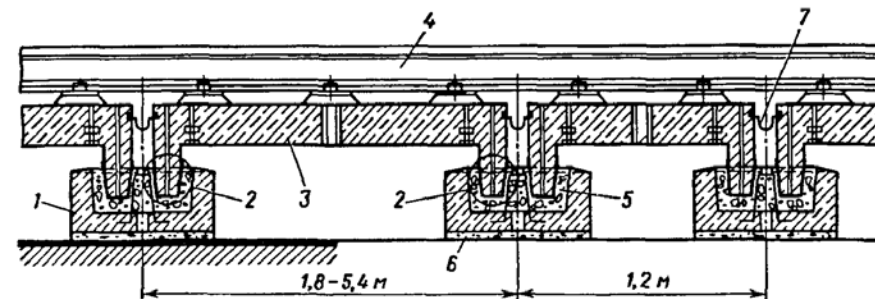


Рис. 7.1. Плитное основание пути типа AFP для высокоскоростной магистрали: 1 — лоток; 2 — зона упругого сочленения; 3 — плита; 4 — рельс UIC60; 5 — заливающая масса в лотке; 6 — слой раствора под лотком; 7 — дренажный желоб

Например, для новых скоростных линий Германии к земляному полотну предъявляются следующие требования:

несущая способность верхней части насыпи — модуль упругости после двухкратного (последнего) уплотнения должен быть не менее 80 МН/м^2 , степень уплотнения по Проктору — 1,03;

несущая способность защитного слоя земляного полотна — модуль упругости после двухкратного уплотнения должен быть не менее 120 МН/м^2 , степень уплотнения по Проктору — 1,03.

Для верхнего строения пути на железных дорогах Западной Европы, в частности в Германии, приняты следующие нормативы: модуль упругости подрельсового основания — $400\text{—}800 \text{ Н/мм}^2$; коэффициент постели (коэффициент податливости основания) C , равный отношению давления на единицу площади основания шпалы $\sigma_{\text{шп}}$ к ее упругой просадке y ($C = \sigma_{\text{шп}}/y$), должен быть в пределах $0,1\text{—}0,2 \text{ Н/мм}^3$; напряжения в подошве рельса — не более 70 Н/мм^2 ; прогиб рельса под колесной нагрузкой 10 тс — не более 2 мм.

На новых скоростных линиях Германии коэффициент постели равен $0,3\text{—}0,4 \text{ Н/мм}^3$, прогиб рельса под колесной нагрузкой — $0,4\text{—}1,0 \text{ мм}$. Принятые на линиях Германии нормативы жесткости пути позволяют не только предупредить изломы рельсов из-за коррозионно-усталостных трещин в подошве, но и повысить скорости поездов до 200 км/ч и более снижением динамических сил, возникающих при движении по неравноупругому пути, а также улучшением плавности хода подвижного состава.

На новой высокоскоростной линии Германии Кельн — Майн на основном участке магистрали длиной 135 км бесстыковой путь уложен на жесткое безбалластное основание. Такой путь рассчитан на скорости до 300 км/ч с учетом пропуска пяти—восьми пар поездов в час.

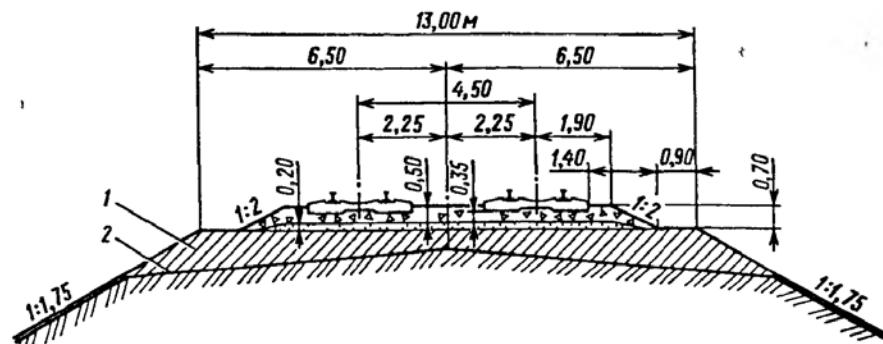


Рис 7.2. Поперечный профиль верхней части насыпи высокоскоростной магистрали Санкт-Петербург—Москва
1 — защитный слой; 2 — геотекстиль

На проектируемой высокоскоростной магистрали Санкт-Петербург — Москва подшпальное основание также будет отличаться от обычного типового. На рис. 7.2 приведен поперечный профиль верхней части насыпи для ВСМ Санкт-Петербург — Москва. Ширина насыпи — 13,00 м, расстояние между осями путей — 4,5 м, откосы насыпи имеют уклон 1:1,75; защитный слой под балластом по всей ширине насыпи отделен от остального тела насыпи геотекстилем. Защитный слой устраивается, если существующее земляное полотно сложено недренными грунтами. Толщина его должна быть достаточной, чтобы глинистый грунт не промерзал: при суглинистых грунтах — 0,8—1,0 м, супесях — 0,5—0,7 м. Сам защитный слой выполняется из различных песчаных смесей с коэффициентом фильтрации не менее 0,5 м/сут. Грунт насыпи уплотняется согласно действующим нормативам, поверхность основной площадки земляного полотна двухскатная. Этот вариант поперечного профиля высокоскоростной магистрали Санкт-Петербург — Москва учитывает местные климатические условия, в том числе возможность появления зимних экстремальных температур до минус 30—35 °С.

Параметры линий, ставших скоростными (до 200 км/ч) после реконструкции, конечно, более льготные, чем параметры высокоскоростных линий. Эти магистрали, как правило, повторяют в основном план существующей линии. В отдельных местах при реконструкции выполняют увеличение радиусов кривых до 2000 м с досыпкой земляного полотна. Подшпальное основание каждой линии имеет свои особенности в зависимости от вида верхней части насыпи и балластной призмы, сложившейся к началу реконструкции. Общим для всех таких "постреконструированных" скоростных линий является широкое применение в зоне подшпального основания различных типов (и конструкций) полимерных материалов.

Покажем это на примере реконструкции существующей линии Санкт-Петербург — Москва, где завершаются работы по превращению ее в скоростную магистраль с максимальными скоростями 200 км/ч. Здесь реализована следующая конструкция подшпального основания: под железобетонными шпалами находится слой нового и очищенного щебня толщиной 40 см; между этим слоем и ниже-расположенным старогодным (хорошо уплотненным) щебнем уложена прослойка из полимерных материалов. Ее назначение — не допустить проникновения нижележащего загрязнителя в очищенный щебень, а зимой служить надежным теплоизолирующим материалом. В этой связи полимерные слои в зависимости от климатических и других местных условий могут быть различной толщины и конструкции.

И, наконец, о различиях в параметрах плана и профиля скоростных и высокоскоростных линий. Человеческий организм начинает чувствовать дискомфорт при достаточно длительном действии непогашенного ускорения, равного 0,4—0,5 м/с² и более. На высокоскоростных линиях, предназначенных только для пассажирских перевозок, при расчетных радиусах кривых 3000—4000 м вопрос комфортабельности езды решается правильным подбором возвышения наружного рельса в зависимости от скоростей движения пассажирских экспрессов. Затруднений здесь серьезных нет.

При смешанных перевозках, которые типичны для линий с максимальными скоростями пассажирских поездов до 250 км/ч, выбор радиусов кривых базируется на согласованной программе перевозок. Например, на линии Берлин — Ганновер при скоростях пассажирских поездов до 250 км/ч, а грузовых — от 100 до 160 км/ч критерии комфорта и условия текущего содержания пути потребовали иметь возвышение наружного рельса 80 мм (при недостатке для скоростных поездов возвышения 70 мм), и "компромиссный" радиус для данного конкретного случая был установлен 4400 м.

В заключение необходимо отметить, что высокоскоростная линия должна быть огорожена от возможного проникновения на нее скота и диких животных. Защита окружающей среды от шумовых эффектов магистрали, а также вибрации строго регламентированы. При этом учитывается самочувствие жителей в близлежащих домах (это особенно важно при прокладке трассы в зоне городских застроек). Защитные стенки вдоль железнодорожного пути, а также конструкция "живой защиты" проектируются с учетом местных условий и норм, определяющих допустимые уровни шума и вибрации на организм человека.

БЕССТЫКОВОЙ ПУТЬ В СУРОВЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

8.1. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЛЕТЕЙ ПРИ БОЛЬШИХ СУТОЧНЫХ И ГОДОВЫХ КОЛЕБАНИЯХ ТЕМПЕРАТУР

Железные дороги Сибири и Дальнего Востока обеспечивают перевозку грузов и пассажиров на огромном расстоянии от Южного Урала до берегов Японского моря (Тихого океана). До недавнего времени из всех железных дорог Сибирского и Дальневосточного региона, куда в настоящее время входят Западно-Сибирская, Красноярская, Восточно-Сибирская, Дальневосточная и Сахалинская железные дороги, бесстыковой путь укладывался только на Западно-Сибирской. Задержки с укладкой бесстыкового пути на других дорогах объясняются целым рядом факторов, к которым, в первую очередь, относятся:

- сложные климатические условия;
- сложные эксплуатационные условия;
- отсутствие материально-технической базы для укладки и эксплуатации бесстыкового пути;
- наличие сырьевой, материально-технической базы для изготовления, пропитки деревянных шпал.

Сюда же можно отнести высокую (до последних двух лет) грузонапряженность основных линий дорог (кроме Сахалинской), при которой сроки службы рельсов опережали или были близки к срокам службы деревянных шпал. Нельзя не учитывать и психологический фактор, в основе которого бытовало мнение, что бесстыковой путь неприемлем для суровых климатических условий.

Регионы Сибири и Дальнего Востока характеризуются умеренно холодным климатом. Лишь на побережье Японского моря незначительная часть (прибрежная) Дальневосточного региона попадает в зону умеренного влажного климата (см. рис. 1.5). На большей части Сибири климат резко континентальный с большими суточными и годовыми перепадами температуры воздуха и рельсов.

Годовые перепады температуры рельсов на большем протяжении железных дорог Сибири и Дальнего Востока колеблются от 105 до 119 °С. Исключением являются западные (прибрежные) участки Дальневосточной железной дороги с годовыми перепадами темпе-

ратуры рельсов от 87 до 105 °С и участок Восточно-Сибирской железной дороги южнее озера Байкал, где годовые перепады температуры рельсов колеблются от 101 до 106 °С.

В близких климатических условиях эксплуатируются лишь отдельные участки железных дорог Канады (между 50 и 60° северной широты), где годовые перепады температуры рельсов на ограниченном протяжении могут достигать 115 °С, а в основном не превышают 105 °С, Аляски — между 60 и 65° северной широты с годовыми перепадами температуры рельсов не более 105 °С, а также северной части Китая, примыкающей к южным границам России в районе Забайкальской и западной части Дальневосточной железных дорог. Следует отметить, что на этих участках эксплуатируется звеньевой путь с деревянными шпалами, изготовленными преимущественно из древесины твердых пород (бук, граб, дуб) и лишь на севере Китая — с железобетонными шпалами.

Особое внимание при рассмотрении возможности укладки бесстыкового пути в регионах Сибири и Дальнего Востока было уделено установлению экстремальных летних и зимних температур рельсов ($t_{\max \max}$ и $t_{\min \min}$). Исследованиями температуры рельсов в этих регионах занимались многие специалисты, в том числе М. С. Боченков, Е. М. Бромберг, З. Л. Крейнис, В. П. Новичков и многие другие. Исследования эти носили эпизодический характер и прежде всего были вызваны строительством Байкало-Амурской магистрали. Проводили наблюдения за температурами воздуха и рельсов и сами железные дороги. Последнее было связано прежде всего с отработкой норм укладки и содержания в этих регионах звеньевого пути с рельсами длиной 25 м.

При исследованиях на Забайкальской железной дороге были получены разности между ежегодными экстремальными летними температурами рельсов и воздуха ($t_{\max \max} - t_{\max}^B$) = 25—27 °С. Ежегодные экстремальные зимние температуры рельсов могут быть ниже экстремальных температур воздуха на 5 °С. Поэтому рекомендовалось для Забайкалья впредь до уточнения расчетные температуры рельсов принимать:

$$\text{для летних условий } t_{\max \max} = t_{\max}^B + 25 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\text{для зимних условий } t_{\min \min} = t_{\min}^B - 5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Дополнительные исследования, включающие анализ всех результатов наблюдений за температурами рельсов и воздуха, выполненные специалистами железных дорог, ВУЗов, ВНИИЖТа, из которых были исключены материалы по БАМу, позволили уточнить взаимосвязь между температурами рельсов и воздуха. В процессе исследований было установлено, что в летних условиях наибольшая разность между температурами рельсов и воздуха наблюдается при температурах воздуха ниже абсолютных значений на 5—10 °С. Она может достигать

Таблица 8.1

Максимальные температуры рельсов и воздуха, °С, на станции Сковородино Забайкальской железной дороги за 1972—1991 гг.					
Рельсы	Воздух	Разница температур	Рельсы	Воздух	Разница температур
51,5	30	21,5	52,0	32	20,0
52,0	32	20,0	50,5	30	20,5
46,5	32	14,5	52,5	31	21,5
49,5	34	15,5	55,0	—	—
50,0	32	18,0	53,5	30	23,5
53,0	34	19,0	50,5	—	—
48,0	31	17,0	52,5	34	18,5
52,5	31	21,5	52,5	33	19,5
51,0	30	21,0			

23—25 °С. При дальнейшем повышении температуры воздуха разность уменьшается, а при абсолютных его значениях приближается к 20 °С, а иногда бывает и ниже (табл. 8.1).

На основании обработки всей совокупности данных для летних условий железных дорог Сибирского и Дальневосточного регионов впредь до накопления более обширных натуральных материалов наблюдений рекомендовано принимать

$$t_{\max \max} = t_{\max}^B + 20 \text{ °С.}$$

В зимних условиях наибольшие значения разности температуры рельсов и воздуха тоже наблюдаются при значениях последних выше абсолютных на 3—10 °С. При этом температура рельсов может быть ниже температуры воздуха на 1—6 °С (табл. 8.2).

Таблица 8.2

Минимальные температуры рельсов и воздуха, °С, на станции Белогорск Забайкальской железной дороги за 1977—1996 гг.					
Рельсы	Воздух	Разница температур	Рельсы	Воздух	Разница температур
— 44,0	— 39	— 5,0	— 41,0	— 40	— 1,0
— 41,0	— 40	— 1,0	— 40,0	— 36	— 4,0
— 41,0	— 40	— 1,0	— 39,0	— 33	— 6,0
— 43,0	— 45	+ 2,0	— 43,0	— 40	— 3,0
— 35,5	— 33	— 2,5	— 40,0	— 36	— 4,0
— 39,5	— 38	— 1,5	— 37,5	— 32	— 5,5
— 37,0	— 36	— 1,0	— 41,5	— 35	— 6,5
— 40,0	— 39	— 1,0	— 45,0	— 39	— 6,0
— 39,0	— 38	— 1,0	— 39,0	— 34	— 5,0
— 41,5	— 40	— 1,5	— 47,0	— 41	— 6,0

При дальнейшем понижении температуры воздуха разность уменьшается. В пределах Дальневосточной, Восточно-Сибирской, Красноярской и Западно-Сибирской железных дорог она приближается к нулю. Поэтому для зимних условий указанных дорог на первом этапе рекомендуется принимать $t_{\min \min} = t_{\min}^B$.

На Забайкальской железной дороге, значительная часть которой расположена в зоне холодного климата, указанная разность приближается к минус 3 °С, поэтому для нее принято $t_{\min \min} = t_{\min}^B - 3 \text{ °С}$. К сожалению, $t_{\max \max}$ и $t_{\min \min}$ для железных дорог Сибири и Дальнего Востока получены по результатам ограниченного количества фактических измерений температуры рельса и в дальнейшем требуют уточнения, для чего в последние годы увеличено количество пунктов наблюдений. В регионах Сибири и Дальнего Востока обращает на себя внимание и более частая, по сравнению с европейской частью России, повторяемость годовых абсолютных (экстремальных) температур воздуха, близких к абсолютной температуре за период наблюдений (табл. 8.3).

Близкие к приведенным получены отношения $\frac{\bar{t}_{\max}^B}{t_{\max}^B}$ и $\frac{\bar{t}_{\min}^B}{t_{\min}^B}$ и на

других железнодорожных станциях Сибири и Дальнего Востока.

Особо для дорог Сибири и Дальнего Востока необходимо отметить большие суточные перепады температуры рельсов. По данным наблюдений, выполненных специалистами СГУПС под руководством М. С. Боченкова, на Забайкальской железной дороге в 1973—1976 гг. суточные колебания температуры рельсов достигали 50—57 °С. Максимальных значений они достигали в марте, однако и в июне были зафиксированы перепады 45—49,5 °С.

Наиболее опасны такие перепады для мая, когда балласт уже оттаял, а площадка под шпалой еще увлажнена. При наличии влаги под шпалой сопротивление рельсошпальной решетки поперечному сдвигу уменьшается на 20—30 %, что существенно снижает устойчивость пути выбросу. Исследования влияния больших суточных перепадов на работу бесстыкового пути пока не завершены.

На железных дорогах европейской части России суточные перепады температуры рельсов не превышают, как правило, 30—35 °С и наблюдаются лишь в апреле, мае, когда температура рельсов практически еще не достигает своих экстремальных значений.

Другой особенностью железных дорог региона является то, что часть из них, включая Восточно-Сибирскую, Забайкальскую, северную часть Дальневосточной, находится в зоне распространения мерзлых грунтов мощностью до 60 м и более.

Таблица 83

Железнодорожная станция	Абсолютные температуры воздуха за период наблюдений, °С		Средние из абсолютных годовых температур воздуха, °С		Отношение средних из абсолютных годовых к абсолютной температуре воздуха за период наблюдения	
	$t_{\max}^{\text{аб}}$	$t_{\min}^{\text{аб}}$	$\bar{t}_{\max}^{\text{аб}}$	$\bar{t}_{\min}^{\text{аб}}$	$\frac{\bar{t}_{\max}^{\text{аб}}}{t_{\max}^{\text{аб}}}$	$\frac{\bar{t}_{\min}^{\text{аб}}}{t_{\min}^{\text{аб}}}$
Петровский Завод	38	— 55	33	— 46	0,868	0,836
Хоринск	40	— 49	34	— 43	0,850	0,791
Чита	38	— 47	33	— 43	0,868	0,915
Карымская	38	— 49	34	— 41	0,895	0,837
Нерчинск	40	— 54	34	— 46	0,850	0,852
Тунгочен	35	— 54	31	— 49	0,886	0,907
Ксеньевская	37	— 55	32	— 47	0,865	0,855
Могоча	36	— 53	32	— 46	0,889	0,868
Тупик	36	— 56	32	— 48	0,889	0,857
Джалинда	40	— 49	34	— 44	0,850	0,898
Тыгда	36	— 48	33	— 43	0,917	0,896
Мазаново	36	— 52	32	— 46	0,889	0,885
Норск	35	— 55	32	— 47	0,914	0,855
Благовещенск	41	— 45	32	— 38	0,780	0,844
Архара	36	— 50	32	— 42	0,889	0,840
Соловьевск	41	— 48	36	— 40	0,878	0,833
Агинское	37	— 48	34	— 40	0,919	0,833
Дарасун	37	— 48	32	— 40	0,865	0,833
Усть-Карск	38	— 51	35	— 48	0,921	0,941
Москва	37	— 43	31	— 30	0,839	0,698
Тверь	36	— 50	30	— 32	0,833	0,640

Все отмеченное вместе с другими факторами накладывает определенную специфику на работу бесстыкового пути в регионах Сибири и Дальнего Востока и предъявляет повышенные требования к его конструкции, устройству и содержанию. Поэтому, хотя существующие правила расчета практически не ограничивают применение бесстыкового пути по температурным условиям (рис. 8.1), на первом этапе его внедрения в суровых климатических условиях приняли целый ряд ограничений. В частности, на первом этапе бесстыковой путь рекомендуется укладывать в районах с годовыми амплитудами температуры рельсов не более 110—112 °С, в прямых и в кривых радиусами не менее 600 м и на участках со здоровым земляным полотном.

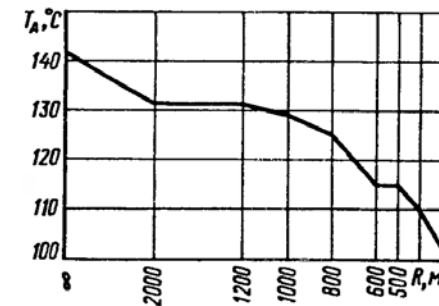


Рис. 81 Зависимость допустимой амплитуды температуры рельсов T_A от радиуса кривых R

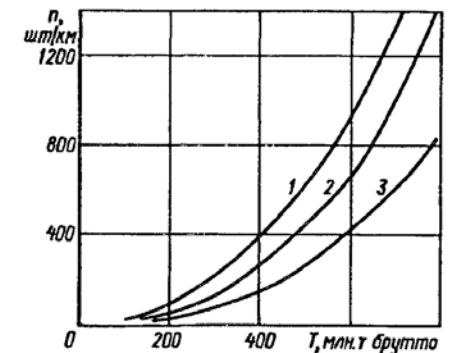


Рис. 82 Зависимость удельного одиночного изъятия n термоупрочненных рельсов Р65 от пропущенного тоннажа T на участках Забайкальской (1), Восточно-Сибирской (2) и Горьковской (3) железных дорог

Особое внимание в этих условиях необходимо уделять рельсовому хозяйству. Изучению влияния климатических условий и других факторов, свойственных Сибирскому региону, на работу рельсов, посвящен целый ряд исследований, среди которых можно отметить работы Л. П. Мелентьева, Л. Г. Крысанова, В. А. Рейхарта, Е. А. Шура, М. Н. Георгиева, А. Ю. Абдурашитова, Г. Г. Гришина, К. Е. Щепотина и многих других специалистов научно-исследовательских и учебных институтов.

По данным исследований А. Ю. Абдурашитова и других, величина удельного одиночного изъятия рельсов Р65 в районах с холодным климатом в 1,9—2,1 раза, а в районах с умеренно холодным — в 1,4—1,5 раза выше, чем в районах с умеренным климатом (рис. 8.2). Преобладающими являются дефекты 21.1—2, выход рельсов по которым может достигать 70 % для объемнозакаленных рельсов. Этому в немалой степени способствуют: большая продолжительность зимнего периода, в течение которого из-за увеличения жесткости подрельсового основания путь подвергается повышенному динамическому воздействию от колес подвижного состава; резкие суточные и годовые перепады температуры воздуха, а соответственно и рельса, вследствие чего на рельсы действуют значительные по величине растягивающие температурные силы; охрупчивание металла при низких отрицательных температурах воздуха. Значительное количество составляют дефекты заводского происхождения, а также дефекты по стыкам.

Анализ эксплуатационных данных о работе рельсов на железных дорогах в регионах холодного и умеренно холодного климата показал, что выход рельсов в зимние месяцы почти в 2 раза больше, чем в летние.

При укладке бесстыкового пути с целью снижения влияния низких температур на работу рельсовых плетей рекомендуется сваривать их из термически упрочненных рельсов Р65 длиной 25 м, изготовленных в соответствии с требованиями ТУ-14-1-52-33-93 "Рельсы железнодорожные типа Р65 низкотемпературной надежности". Эти рельсы изготавливаются и уже поступают на железные дороги. При отсутствии таких рельсов разрешается, по согласованию с Департаментом пути и сооружений, сваривать плети из термически упрочненных рельсов, изготовленных по ГОСТ 816—175.

Изготовленные в рельсосварочном предприятии плети перед укладкой или при укладке их в путь должны обязательно свариваться электроконтактной сваркой в плети длиной до блок-участка, а при тональной автоблокировке — в плети длиной до перегона. Сразу же после укладки плетей надо производить шлифовку головки рельса, что позволяет не только снизить интенсивность расстройств пути, но и продлить сроки службы плетей. Последующие шлифовки рельсов должны производиться после пропуска каждых 80—90 млн. т брутто груза.

Усложнение условий работы рельсов при пониженных температурах и наблюдающийся при этом более интенсивный их выход по дефектам требует организации более частых проверок состояния рельсовых плетей и уравнильных рельсов дефектоскопными средствами. Дополнительный дефектоскопный контроль вводится на весь период действия низких температур. Особое внимание при этом должно обращать на состояние сварных стыков. При температурах рельсов не ниже минус 30 °С дефектоскопный контроль осуществляется магнитными и ультразвуковыми дефектоскопами; при температурах ниже минус 30 °С — только магнитными. В случае обнаружения смятия в зоне стыка до 2 мм скорость движения поездов в зимний период ограничивается: пассажирских — до 100 км/ч, грузовых — до 70 км/ч, при глубине смятия до 3 мм — до 60 км/ч, а при глубине смятия более 3 мм стык вырезается и вместо него вваривается новый рельс. До вырезки сварного стыка скорость движения поездов ограничивается до 40 км/ч.

Особое внимание при изготовлении плетей и уравнильных рельсов уделяется болтовым отверстиям. Все они должны быть со снятыми фасками.

8.2. РАБОТА СТЫКОВЫХ И ПРОМЕЖУТОЧНЫХ РЕЛЬСОВЫХ СКРЕПЛЕНИЙ В УСЛОВИЯХ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

На железных дорогах России в качестве основной конструкции промежуточных рельсовых креплений на бесстыковом пути применяются крепления КБ-65. Эти крепления обеспечивают стабильность ширины колеи, но, несмотря на достаточно высокую степень надежности, имеют два основных недостатка.

Первый — они многодетальны. Для закрепления плетей на одной шпале необходимо закрутить четыре гайки клеммных и четыре гайки закладных болтов. При эпюре шпал 2000 шт./км на каждом километре необходимо закрутить 16000 гаек. Вручную выполнить закрепление плетей с учетом, что клеммные и закладные болты должны затягиваться крутящим моментом не менее 120 Н·м, сложно. Как показали измерения, при ручной затяжке средняя величина крутящего момента колеблется в пределах 60—100 Н·м, что явно не соответствует нормативным значениям. Для нормальной эксплуатации бесстыкового пути необходимо применение машин и механизмов, обеспечивающих быструю и нормируемую затяжку клеммных и закладных болтов.

Второй недостаток КБ-65 — это высокая жесткость креплений, что в процессе эксплуатации приводит к интенсивному падению усилий прижатия рельса к подкладке в процессе эксплуатации. Решением этой проблемы является замена жесткой клеммы на упругую или разработка новых конструкций креплений, обеспечивающих стабильное прижатие рельса к шпале, получивших широкое распространение на зарубежных дорогах. Несколько вариантов креплений с упругими клеммами проходят в настоящее время проверку на железных дорогах России. Пока же основным и практически единственным креплением, применяющимся на железных дорогах России, является крепление КБ-65.

В соответствии с Техническими указаниями по устройству, укладке и содержанию бесстыкового пути для обеспечения нормативного прижатия рельса к основанию в узле креплений гайки клеммных и закладных болтов должны быть затянуты крутящим моментом соответственно 150 и 120 Н·м. В процессе эксплуатации происходит износ подрельсовых прокладок, трущихся металлических элементов креплений, вследствие чего прижатие рельса к основанию уменьшается.

Наблюдениями, проведенными на большом числе опытных участков пути, установлено, что при снижении крутящего момента на нетормозных участках пути до 60—70 Н·м, а тормозных до 100—110 Н·м, наблюдается угон пути. Интенсивность ослабления болтов в различные периоды эксплуатации неодинакова. В первый период после укладки плетей вследствие притирки элементов креплений, в частности клемм и рельса в зоне их контакта, происходит наиболее интенсивное снижение начального крутящего момента. Интенсивность снижения в

зависимости от нагрузок от колесных пар на рельсы, состояния их поверхностей и скоростей движения на первом этапе после укладки плетей колеблется в пределах 50—70 Н·м/млн.т брутто пропущенного груза. При грузонапряженности 40—50 млн. т·км брутто/км в год снижение со 150 до 60—70 Н·м произойдет за 10—15 дней, а со 120 до 60—70 Н·м — за 5—10 дней. Если по прошествии этого срока гайки не подтянуть, то даже на нетормозных участках начнется угон плетей.

После первого подкрепления болтов в интервале пропуска 2—10 млн. т брутто груза также происходит достаточно интенсивное ослабление клеммного нажатия, и в этот период крутящий момент со 150 Н·м может опять снизиться до 60—70 Н·м, что потребует повторного закрепления клемм до нормы. После пропуска 10—15 млн. т брутто груза интенсивность ослабления крутящего момента для скрепления типа КБ-65 колеблется в пределах 14—20 Н·м на 10 млн. т пропущенного груза в зависимости от условий эксплуатации. При увеличении уровня затяжки длительность снижения крутящего момента до нижней границы, определяемой из условия обеспечения стабильности плетей, возрастает. В настоящее время ряд дорог, включая прежде всего Октябрьскую, Московскую и другие, накопили большой опыт закрепления клемм с расчетным моментом 250 Н·м и более. На опытных участках Смоленской дистанции пути было проведено закрепление болтов гайковертом с крутящим моментом 350—400 Н·м; после пропуска 120 млн. т брутто крутящий момент оказался равным 200—250 Н·м. Конструкция скреплений КБ позволяет иметь первоначальный крутящий момент затяжки клеммных болтов 250—300 Н·м, а закладных — до 200 Н·м. При такой затяжке на участках с грузонапряженностью до 50 млн. т брутто представляется возможным производить подкрепление болтов только 1 раз в год (предпочтительно осенью).

Немаловажным мероприятием, позволяющим наряду с увеличением первоначального крутящего момента затяжки гаек клеммных и закладных болтов увеличить периоды между их подтяжками, является внедрение шлифовки рельсов. В результате шлифовки снижается динамическое воздействие подвижного состава на путь, а соответственно и расстройство скреплений. По результатам наблюдений на Орловском отделении Московской дороги периодическая шлифовка рельсовых плетей позволила не менее чем в 1,3—1,5 раза увеличить периоды между подтяжками гаек клеммных и закладных болтов. Необходимость подтягивания гаек клеммных и закладных болтов устанавливается выборочной проверкой их натяжения динамометрическим ключом.

В условиях Сибири наряду с требованием предотвращения угона к скреплениям более жестко предъявляется требование по предотвращению большого зазора, опасного для прохода поезда в случае излома

плети зимой. Зазоры λ_{P65} , которые могут образоваться в случае излома плети, зависят от перепада температуры плети в момент излома относительно температуры закрепления ($\Delta t_{из}$) и погонных сопротивлений сдвигу рельсов по подкладкам (r):

$$\lambda_{P65} = 0,24 \Delta t_{из}^2 / r$$

На совещании группы экспертов IX Комиссии ОСЖД (г. Будапешт, июнь 1964 г.) при разработке рекомендаций по укладке бесстыкового пути на мостах без балласта был установлен минимально допустимый зазор при изломе плети, равный 50 мм. Впоследствии такой же зазор был принят в ТУ-91 при определении возможной верхней границы закрепления плетей на земляном полотне, хотя были и другие предложения. В то же время, по исследованиям М. Ф. Вериги, не исключается зазор 60 мм, однако, как он сам отмечает, для окончательного решения необходима экспериментальная проверка.

При $\lambda_{P65} = 50$ мм при разных максимальных значениях $\Delta t_{из}$ необходимо обеспечить следующие погонные сопротивления (r):

при $\max \Delta t_{из} = 60$ °С $r = 17,3$ кН/м; при $\max \Delta t_{из} = 70$ °С $r = 23,5$ кН/м;

при $\max \Delta t_{из} = 80$ °С $r = 30,7$ кН/м; при $\max \Delta t_{из} = 90$ °С $r = 38,9$ кН/м.

Такие погонные сопротивления обеспечиваются соответственно при затяжке гаек клеммных болтов крутящими моментами 85—90, 110—115, 145—150, 185—190 Н·м. При перепадах температур 80—85 °С, для предотвращения появления зазора более 50 мм гайки клеммных болтов должны быть затянуты крутящим моментом 180—185 Н·м. С учетом интенсивного ослабления затяжки можно принять, что она не должна быть менее 200 Н·м, что и рекомендовано для дорог Сибири и Дальнего Востока. При этом затяжка закладных болтов не должна быть менее 150 Н·м.

Скрепления КБ-65 и других типов применяются с нащпальными и подрельсовыми прокладками, изготовленными из морозостойкой резины, обеспечивающей их работу при температуре до минус 60 °С.

Сложные климатические и эксплуатационные условия работы дорог Сибири и Дальнего Востока предъявляют повышенные требования не только к промежуточным, но и к стыковым скреплениям. По условиям предотвращения разрыва стыков без дополнительной сезонной замены одной пары уравнильных рельсов (осенью на удлиненные, а весной на укороченные) существующая конструкция стыка, включающая шестидырные накладки с полным

комплексом болтов из стали 35, может эксплуатироваться в регионах с годовыми амплитудами температуры рельсов 95—105 °С. Низкий уровень бытовых сопротивлений объясняется интенсивным ослаблением натяжения стыковых болтов в процессе эксплуатации. Бытовое сопротивление стыка можно определить из цикла суточных перемещений конца рельсовой плиты (рис. 8.3). В этих циклах при переходе температуры через максимум или минимум перемещения конца плиты начинаются только после изменения температуры рельсовой плиты на величину, необходимую для возникновения температурной силы, равной удвоенному сопротивлению стыка. На рис. 8.3 А и В — точки минимума, С — точка максимума. При возникновении такой температурной силы конец рельсовой плиты преодолевает сопротивление стыка. Отсюда

$$R = \frac{\alpha E \Delta t_R}{2},$$

где R — сопротивление стыка, кН; Δt_R — приращение температуры, необходимое для возникновения температурной силы, равной удвоенному стыковому сопротивлению, °С.

По результатам исследований С. И. Клинова, А. Н. Кондратьева и других специалистов бытовые сопротивления стыков Р65 колеблются от 250 до 150 кН. Это более чем в 2 раза ниже нормативного значения, получаемого при нормируемой затяжке стыковых болтов 600 Н·м.

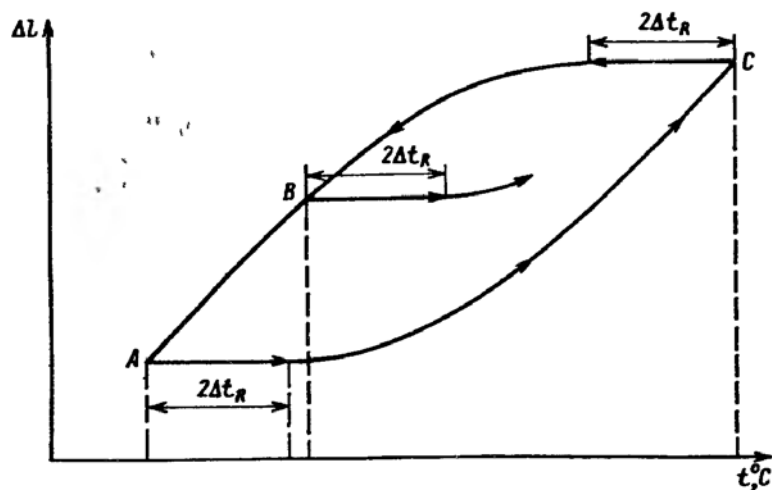


Рис. 8.3. Циклы суточных перемещений конца рельсовой плиты Δl

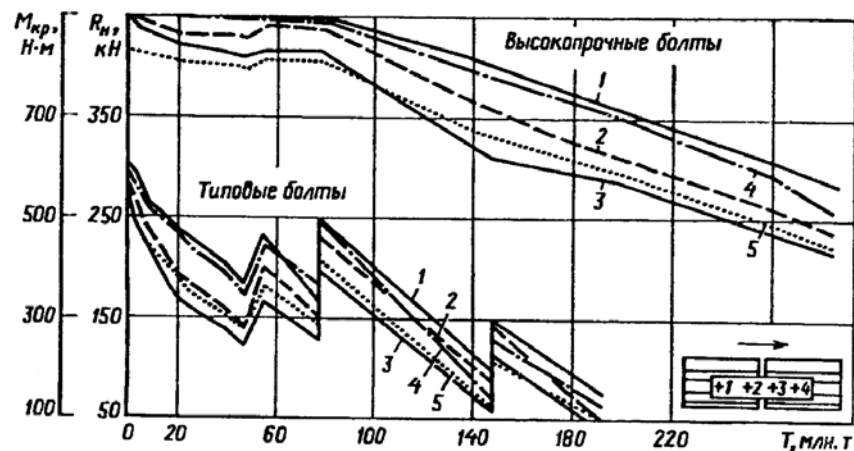


Рис. 8.4. Изменения усилий затяжки высокопрочных и типовых болтов по мере нарастки тоннажа T на пути с рельсами Р65 и деревянными шпалами: 1, 2, 3, 4 — номера болтов по схеме; 5 — стыковое сопротивление $R_{ст}$; стрелкой показано направление движения

Низкий уровень затяжки, а соответственно и бытовых сопротивлений стыков объясняется интенсивным падением натяжения стыковых болтов в процессе эксплуатации.

Одним из наиболее эффективных решений, позволяющих повысить стабильность и сопротивление стыка продольной подвижке конца плиты, является применение высокопрочных болтов, изготовленных из стали 40Х. Применение высокопрочных болтов с тарельчатыми шайбами позволяет повысить почти в 2 раза сопротивление стыка продольному сдвигу концов плит, а также резко понизить интенсивность падения натяжения стыковых болтов.

На рис. 8.4 приведены изменения усилия затяжки высокопрочных и типовых стыковых болтов, полученные С. И. Клиновым и А. А. Кондратьевым при испытаниях на Московской железной дороге. Из графиков, приведенных на рис. 8.4, следует, что сопротивление стыка с четырьмя высокопрочными болтами после пропуска 180 млн. т брутто груза понизилось до 300 кН, а с типовыми болтами при двухразовом подтягивании их вручную — до 30—40 кН.

Поэтому в Требованиях для бесстыкового пути в условиях Сибири и Дальнего Востока записано обязательное применение высокопрочных стыковых болтов.

8.3. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПЕЗДОВ

Требования по безопасности движения поездов на участках бесстыкового пути как на железных дорогах России, расположенных в Европейской части, так и дорогах Сибири и Дальнего Востока одинаковы. Однако резкие суточные перепады температур, более высокие летние температуры рельсов, более частая их повторяемость в регионах Сибири и Дальнего Востока требуют принятия дополнительных мер по повышению устойчивости бесстыкового пути и даже ограничений по его укладке. По мере накопления опыта укладки и эксплуатации бесстыкового пути, дальнейшего совершенствования технологий его ремонтов и конструкции эти ограничения будут сниматься. Повышены требования к конструкции и содержанию пути в зимних условиях. В частности, повышаются требования не только к обычным, но и к сварным стыкам. На период действия низких температур (ниже минус 30 °С) вводится дополнительный дефектоскопный контроль рельсовых плетей. Особое внимание при этом обращается на состояние сварных стыков. При температуре ниже минус 30 °С контроль должен осуществляться магнитными дефектоскопами.

На участках с глубиной смятия в зоне сварного стыка до 2 мм скорость движения пассажирских поездов в зимний период с наступлением наиболее низких температур (ниже минус 30 °С) ограничивается до 100 км/ч, грузовых — до 70 км/ч, с глубиной смятия до 3 мм — до 60 км/ч. При смятии более 3 мм стык должен вырезаться.

Применение рельсов низкотемпературной надежности, качественная сварка рельсовых плетей, своевременная их шлифовка, повышение уровня затяжки гаек клеммных и закладных болтов скреплений КБ-65, а в дальнейшем внедрение упругих скреплений, применение морозостойких подрельсовых и наспальных прокладок, высокопрочных стыковых болтов позволяют обеспечить прочность бесстыкового пути в суровых климатических условиях. Не вызывает сомнений и устойчивость его при принятии определенных как конструктивных, так и технических решений. С целью повышения устойчивости бесстыкового пути особенно в периоды резких колебаний или длительного воздействия высоких температур в Сибирском регионе ширина плеча балластной призмы должна быть не менее 45 см. Эта норма распространяется как на прямые, так и на кривые участки пути. Особое внимание при этом должно уделяться заполнению щебнем шпальных ящиков, а в некоторых случаях и присыпке валиком щебня на концах шпал (рис. 8.5). Присыпка валиком щебня на концах шпал необходима в районах, где наблюдаются резкие суточные колебания температуры рельсов, так как эта мера позволяет повысить сопротивление шпал

сдвигу поперек оси пути до 15—20 %. Также очень важна полнота балластной призмы, так как в зависимости от степени заполнения балластом шпальных ящиков сопротивление рельсошпальной решетки поперечному сдвигу может снижаться до 15—20 %.

Особую роль в повышении стабильности бесстыкового пути играет уплотнение балластной призмы. В первых опытах, выполненных ВНИИЖТом еще в 1962 г., было получено, что уплотнение балластной призмы специальными виброуплотнительными машинами конструкции Н. А. Карпова в ящиках, за торцами шпал и на откосах за один проход позволяет увеличить сопротивление перемещению шпал поперек оси пути по сравнению с неуплотненным балластом почти на 20 %, а при двухразовом уплотнении почти на 40—50 %. Однако дальше испытаний этих машин дело не пошло. Лишь в 1983 г. на сети отечественных железных дорог появилась первая высокопроизводительная балластно-уплотнительная машина. В настоящее время выпущено около 100 таких машин. Балластно-уплотнительные машины позволяют уплотнять балласт в шпальных ящиках, на плече и откосе призмы.

В последние годы на сеть отечественных железных дорог начали поступать динамические стабилизаторы пути. Применение вибрационных динамических стабилизаторов позволяет сократить период стабилизации пути после выполнения ремонтных работ. Последнее очень важно, если учесть, что на сети отечественных железных дорог активно внедряется глубокая очистка балласта. В частности, глубокая очистка балласта обязательна на всех участках железных дорог Сибири и Дальнего Востока, где планируется укладка бесстыкового пути. На отечественных дорогах налажен промышленный выпуск стабилизаторов типа ДСП-С; имеются единичные экземпляры зарубежного производства — DGS-62N австрийской компании "Plasser и Theurer" и VKL402 чешской компании "МТН-Прага".

Испытания ДСП-С и DGS-62N, выполненные специалистами ВНИИЖТа, ВНИТИ и ЦКБ тяжелых путевых машин МПС России,

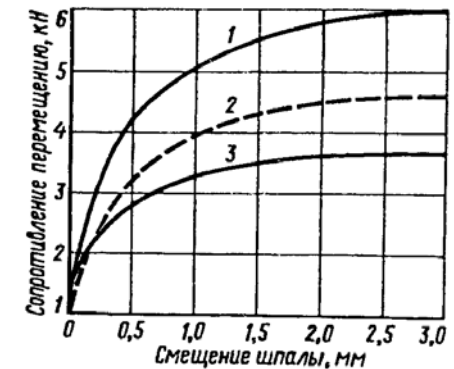


Рис. 8.5. График средних сопротивлений железобетонных шпал сдвигу поперек пути при разном заполнении шпальных ящиков:

1 — при валиках на концах шпал; 2 — при нормальном профиле балластной призмы; 3 — при не заполненных щебнем шпальных ящиках

Таблица 84

Показатель	Значение показателя кН, для машин типа	
	ДСП-С	DGS-62N
Усилие сдвига одиночной шпалы при перемещении на 2 мм		
до прохода стабилизатора	5,5	6,0
после прохода стабилизатора	7,6	6,9

показали, что применение динамических стабилизаторов пути позволяет не только резко сократить период стабилизации пути в вертикальной плоскости, но и увеличить сопротивления сдвигу шпал поперек оси пути (табл. 8.4).

Еще большего эффекта по повышению сопротивления поперечному сдвигу рельсошпальной решетки можно получить, применяя уплотнители откосов. Уплотнителями откосов уплотняют не только откосы, но и плечо балластной призмы. Уплотнители откосов смонтированы на машинах ВПО-3000, ВПО-3-3000, ВПР-1200, ВПР-02.

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ

9.1. ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Общие положения. Возможность укладки бесстыкового пути в конкретных условиях устанавливается сравнением допускаемой температурной амплитуды $[T]$ для этих условий с фактически наблюдавшейся в данной местности годовой амплитудой колебаний температур рельсов T_A .

Если $T_A \leq [T]$, то бесстыковой путь можно укладывать. Значения $T_A = t_{\max \max} - t_{\min \min}$ для основных железнодорожных станций России и некоторых городов стран СНГ приводятся в приложении 3 к настоящей книге.

Амплитуда допускаемых изменений температуры рельсовых плетей бесстыкового пути $[T]$ должна учитывать:

величину наибольшего допускаемого нагрева рельсов $[\Delta t_y]$ по условию устойчивости конкретной конструкции бесстыкового пути против выброса;

величину наибольшего допускаемого понижения температуры рельсовых плетей $[\Delta t_p]$ по сравнению с температурой закрепления с учетом растягивающих температурных напряжений в кромках подошвы рельса и воздействий от подвижного состава;

определенный запас $[\Delta t_3]$, учитывающий колебания температур в период производства работ по закреплению рельсовых плетей в проектном положении; обычно принимается $[\Delta t_3] = 10^\circ\text{C}$.

С учетом вышеизложенного можно написать

$$[T] = [\Delta t_y] + [\Delta t_p] - [\Delta t_3] \quad (9.1)$$

Таким образом, для проектирования бесстыкового пути нужно рассчитывать напряжения и силы в рельсах: растягивающие — для зимних условий, сжимающие — для летних.

Расчет "зимних" напряжений. Основное условие достаточности запасов прочности конкретного участка бесстыкового пути выражается следующей формулой:

$$k_n \sigma_k + \sigma_l \leq [\sigma_n], \quad (9.2)$$

где k_n — коэффициент запаса прочности рельсов на растяжение; для новых рельсов в главных путях $k_n = 1,3$, для старогонных $k_n = 1,4$; для укладываемых

на второстепенных путях $k_n = 1,2$; σ_k — напряжения в кромках рельсовых плетей от изгиба и кручения при проходе подвижного состава; σ_l — напряжения в поперечном сечении рельса от действия растягивающих сил (температурных и др.); $[\sigma_n]$ — допускаемое нормальное напряжение; для новых сырых рельсов $[\sigma_n] = 350$ МПа; для новых термоупрочненных $[\sigma_n] = 400$ МПа.

Кромочные напряжения определяются по наибольшим динамическим нагрузкам от обращающегося по перегону (участку) подвижного состава (определенного типа, серии, осевых нагрузок, скоростей и т.д.) с учетом типа рельсов и "зимнего" модуля упругости подрельсового основания $u_{зим}$. При железобетонных шпалах с резиновыми напильными и подрельсовыми упругими прокладками $u_{зим} = 120$ и 130 МПа (при эпюрах соответственно 1840 и 2000 шт./км).

По формуле (9.2) получают искомое допускаемое понижение температуры рельсовых плетей по сравнению с температурой закрепления:

$$[\Delta t_p] = \frac{[\sigma_n] - k_n \sigma_k}{\alpha E} = \frac{[\sigma_n] - k_n \sigma_k}{2,5} \quad (9.3)$$

Подробные данные о $[\Delta t_p]$ для основных вариантов верхнего строения и плана пути при обращении разных локомотивов приводятся в приложении 2.

Наибольшая растягивающая температурная сила, которая может быть допущена для двух рельсовых плетей зимой по условиям прочности $N''_{t_{min}}$, определяется выражением:

$$N''_{t_{min}} = F''([\sigma] - k_n \sigma_k n), \quad (9.4)$$

где F'' — площадь двух рельсов; $[\sigma]$ — допускаемые напряжения; $\sigma_k n$ — нормальные напряжения в кромках полошвы; k_n — коэффициент запаса.

Зная значения $[\Delta t_p]$ для всех основных серий локомотивов (см. приложение 2) и используя зависимости (9.3) и (9.4), имеем:

$$[\sigma] - k_n \sigma_k n = 2,5[\Delta t_p]$$

или

$$N''_{t_{min}} = 2,5[\Delta t_p]F''.$$

Расчет "летних" напряжений. Допустимые повышения температур рельсов $[\Delta t_y]$ устанавливаются теоретическими и экспериментальными исследованиями устойчивости пути против выброса. Все эти исследования были обобщены лабораторией бесстыкового пути, и результаты их сконцентрированы в действующих ТУ-2000 и в табл. 2.1 в этой книге.

Основное условие достаточности запасов устойчивости пути против выброса в конкретном месте линии (участок, перегон, кривая, искусственное сооружение и т.д.) принято увязывать с предельной (критической) величиной суммарной продольной силы в обеих рельсовых нитях (см. гл. 2):

$$N''_{кр} = F'' E \alpha [\Delta t_y].$$

Из этой формулы получают искомое, допускаемое по условию устойчивости, повышение температуры рельсовых плетей

$$[\Delta t_y] = \frac{[N''_{кр}]}{2,5F''}. \quad (9.5)$$

Величины $N''_{кр}$ принимаются по результатам опытов, в ходе проведения которых были получены значения N''_3 — за критической продольной силы, вызывающей выброс пути. Значения $N''_{кр} < N''_3$. Коэффициент запаса устойчивости k_y , получаемый в каждом цикле (варианте), определялся по формуле (см. гл. 2):

$$k_y = \frac{N_3}{N''_{кр}}.$$

При использовании теоретических способов оценки устойчивости пути принимается $\min k_y = 1,2$.

Расчет интервала температур закрепления плетей. Имея допуски $[\Delta t_y]$ и $[\Delta t_p]$, а также экстремумы температур рельсов $t_{max\ max}$ и $t_{min\ min}$, можно решать основную задачу проектирования бесстыкового пути — установление времени укладки и постоянного закрепления рельсовых плетей выбранной конструкции.

Получив натурные данные о местных значениях $t_{max\ max}$, $t_{min\ min}$ и $[\Delta t_y]$, $[\Delta t_p]$, определяют для конкретных мест пути $[\min t_3]$ и $[\max t_3]$:

$$\min t_3 = t_{max\ max} - [\Delta t_y]; \quad \max t_3 = t_{min\ min} + [\Delta t_p]. \quad (9.6)$$

Этот процесс можно проиллюстрировать диаграммой, изображенной на рис. 9.1. Здесь показано температурно-силовое поле — зависимость N_t от изменений температуры Δt :

$$N_t = f(\Delta t).$$

Горизонталь этой диаграммы — температуры от $t_{min\ min}$ до $t_{max\ max}$, включая границы интервала закрепления плетей $\min t_3$ и $\max t_3$. Вертикаль — температурные силы (от $N_{t_{max}}$ летом до $N_{t_{min}}$ зимой) в функции

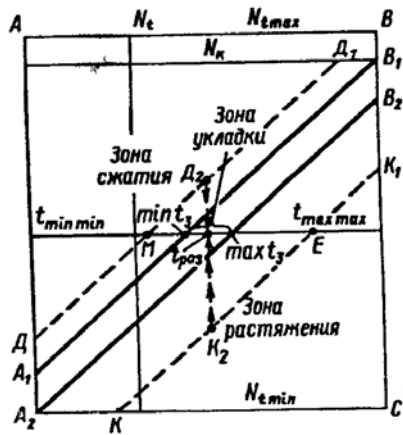


Рис. 9.1. Диаграмма температурной работы бесстыкового пути без сезонных разрядок

от изменений температур. Прямоугольник $ABCA_2$ — это контур границ изменения температур рельса и возникающих при этом продольных сил.

Графики этой диаграммы — наклонные прямые A_1B_1 , A_2B_2 — проходят через разные значения t на оси температур. Уравнения этих графиков, проходящих через границы интервала температур, соответственно:

$$\text{для } A_1B_1 \quad N_1 = 2\alpha EF(t - \text{mint}_3),$$

$$\text{для } A_2B_2 \quad N_2 = 2\alpha EF(t - \text{max}t_3).$$

Для практического пользования этой диаграммой, построенной по фактическим местным условиям, следует при необходимых температурах отложить соответственно вверх или вниз ординаты от оси абсцисс до пересечения с графиком (с линией A_1B_1 или любой другой, параллельной ей).

На основании диаграммы (см. рис. 9.1) бесстыковой путь можно укладывать в температурном интервале от mint_3 до $\text{max}t_3$. Если бесстыковую плетть закрепить при температуре меньшей, чем mint_3 (например в точке M), то летом при $t < t_{\text{max} \text{max}}$ продольные силы сжатия достигнут значений N_k (см. точку D_1), и дальнейшее нагревание рельса может нарушить устойчивость бесстыкового пути.

Закрепление плети при $t > \text{max}t_3$ (например в точке E), приведет к тому, что наибольшие растягивающие силы достигнут N_{min} при $t < t_{\text{min} \text{min}}$ (см. точку K) и при дальнейшем понижении температуры может разорваться рельсовая плетть под поездом.

Нередко при укладке рельсовых плетей их температура оказывается существенно ниже (если работы производятся зимой) или выше (при выполнении работ в жаркий солнечный день) допустимой. Режимы работы для этих случаев (см. рис. 9.1) показаны прямыми DD_1 (укладка зимой) и KK_1 (укладка в жаркий летний день). Оставлять плети на круглогодичную эксплуатацию в этих режимах работы, как видно из диаграммы, недопустимо. Необходимо ввести плети в расчетный температурный режим работы. Это можно выполнить при помощи разрядки напряжений. Для этого, как только температура рельсов будет равна расчетной (интервал mint_3 — $\text{max}t_3$), ослабляют клеммы промежуточных скреплений и плетть устанавливают на ролики или специальные прокладки, что позволяет ей изменить свою длину,

Железная дорога	Оптимальная температура закрепления плетей $t_{\text{опт}}$, °C	
	Общая	Исключение
Октябрьская	30±5	Севернее С.-Петербурга $t_{\text{опт}} = 25±5$
Калининградская	30±5	—
Московская	30±5	—
Горьковская	25±5	В кривых $R \leq 500$ м $t_{\text{опт}} = 30±5$
Северная	25±5	То же
Северо-Кавказская	35±5	—
Юго-Восточная	35±5	—
Приволжская	35±5	—
Куйбышевская	30±5	В кривых $R \leq 500$ м $t_{\text{опт}} = 33±3$
Свердловская	25±5	В кривых $R \leq 500$ м, расположенных в районах с $t_{\text{min} \text{min}} < -50$, $t_{\text{опт}} = 28±3$
Южно-Уральская	30±5	В кривых $R \leq 500$ м $t_{\text{опт}} = 32±3$
Западно-Сибирская	30±5	В кривых $R \leq 500$ м, расположенных в районах с $t_{\text{min} \text{min}} < -50$, $t_{\text{опт}} = 29±3$
Красноярская	25±5	В кривых $R \leq 500$ м, расположенных в районах с $t_{\text{min} \text{min}} < -50$, $t_{\text{опт}} = 28±3$
Восточно-Сибирская	25±5	То же
Забайкальская	25±5	"
Дальневосточная	30±5	—

снимая температурные напряжения. Разрядке плети, уложенной зимой, соответствует прямая $D_2t_{\text{раз}}$, летом — $K_2t_{\text{раз}}$. Технология выполнения этих работ приводится в гл. 10.

В Технических указаниях по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути, утвержденных Министерством путей сообщения России 31.03.2000 г., приводится таблица оптимальных температур закрепления плетей на железных дорогах России (табл. 9.1).

Проведя расчеты согласно вышеприведенной методике, включая построение диаграммы температурной работы бесстыкового пути без сезонных разрядок, необходимо сопоставить полученные результаты (в том числе — касающиеся зоны закрепления бесстыкового пути) с материалами табл. 9.1. Возможные расхождения могут иметь место в кривых $R \leq 500$ м, а также в районах с суровыми климатическими условиями (см. в табл. 9.1 графу "Исключение").

Возможны варианты, когда по расчету интервал закрепления получается очень малым. Это должно быть установлено еще при проверке применимости бесстыкового пути данной конструкции при данной амплитуде температур:

$$[\Delta t_3] = [\Delta t_y] + [\Delta t_n] - T_A \geq 10 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

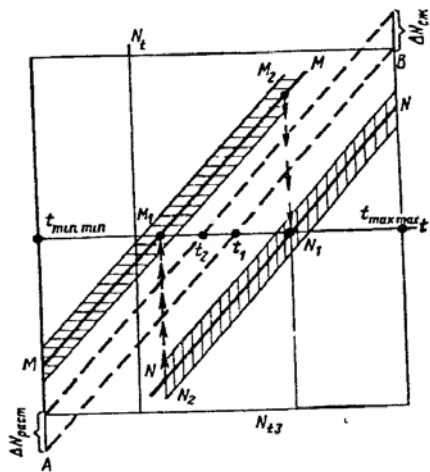


Рис 9.2. Диаграмма температурной работы бесстыкового пути с периодическими (сезонными) разрядками

интервалов, линии M_1M_2 и N_1N_2 — верхней и нижней границам интервалов. Как и в случае без разрядок, для определения продольных сил нужно опустить или поднять перпендикуляры с оси температур на графики (MM_1 или NN_1).

В проекте следует предусмотреть и вариант, когда условие $T_A \leq [T]$ соблюдается, но укладку и закрепление требуется провести, хотя бы временно, при температурах, отличающихся от определяемых по формулам (9.6) — выше или ниже. В этом случае приходится выполнять временное закрепление плетей при температуре $t_3^{\text{факт}} \neq t_3^{\text{расч}}$. Возможны два варианта:

а) при $t_3^{\text{факт}} < t_3^{\text{расч}}$ — осенью на зимний период (до марта-апреля). В течение зимы в рельсах будут действовать растягивающие напряжения, величина которых

$$+\sigma_l \leq 2,5(t_3^{\text{факт}} - t_{\text{min min}}) < [\sigma_l];$$

б) при $t_3^{\text{факт}} > t_3^{\text{расч}}$ — весной на летний период (до октября-ноября). В этот период в пути будут действовать сжимающие силы, меньшие, чем допускаемые по условию устойчивости

$$-N_l \leq 0,5F(t_{\text{max max}} - t_3^{\text{факт}}) < [N].$$

При завершении временного периода эксплуатации (весной или осенью) необходимо провести разрядку напряжений и "перезакрепить" плети в расчетном интервале температур.

Если это условие не соблюдается (может быть даже отрицательное значение $[\Delta t_3]$), то необходимо отказаться от применения здесь бесстыкового пути или рассмотреть вариант бесстыкового пути с сезонными разрядками. При эксплуатации бесстыкового пути с периодическими сезонными разрядками напряжений можно вести расчеты так же. Графически это можно показать диаграммой (рис. 9.2), подобной той, что была показана на рис. 9.1 для пути без разрядок. Отличие в том, что при сезонных разрядках имеются два расчетных интервала закрепления плетей — весенний и осенний. Линии MM и NN соответствуют серединам

Для искусственного создания в плетях продольных напряжений, эквивалентных недостатку или избытку температур рельсов по сравнению с расчетной температурой закрепления, возможны следующие технические решения:

искусственный нагрев (электрический или огневой) плетей на величину

$$\Delta t_{\text{нед}} \geq [\Delta t_y] - t^{\text{факт}};$$

механическое растяжение (гидравлическими приборами) плетей с силой, пропорциональной нехватке температур:

$$+N_{\text{мех}} \geq 2,5F([\Delta t_y] - t^{\text{факт}});$$

механическое продольное сжатие плетей (или участков плетей) силами, пропорциональными избытку температур:

$$-N_{\text{мех}} \geq 2,5F(t^{\text{факт}} - [\Delta t_y]);$$

искусственное охлаждение плетей на величину

$$\Delta t_{\text{изб}} \geq t^{\text{факт}} - [\Delta t_n].$$

Пример подготовки расчетных данных для проекта бесстыкового пути. Климатические условия участка: $t_{\text{min min}} = -41$ °С; $t_{\text{max max}} = +60$ °С.

Условия трассы линии: прямые и кривые радиусами 1000 и 600 м.

Верхнее строение пути: рельсы Р65 (объемнозакаленные), шпалы железобетонные, балласт щебеночный.

Расчетный (определяющий) вид тяги: тепловоз 2ТЭ121; скорость — 100 км/ч.

Опуская подробные выкладки (поскольку имеются готовые ТУ-2000), приводим характеристики, необходимые для окончательных расчетов.

1. Допускаемые по условию прочности понижения температуры рельсов при обращении по участку принятого локомотива (данные из ТУ-2000, табл. П. 2.2):

в прямом участке $[\Delta t_p] = -95$ °С;

в кривой $R = 1000$ м $[\Delta t_p] = -90$ °С;

в кривой $R = 600$ м $[\Delta t_p] = -73$ °С.

2. Допускаемые по условию устойчивости против выброса повышения температуры рельсов (по табл. П. 2.1 из ТУ-2000):

а прямом участке $[\Delta t_y] = +54$ °С;

в кривой $R = 1000$ м $[\Delta t_y] = +49$ °С;

в кривой $R = 600$ м $[\Delta t_y] = +43$ °С.

3. Искомые границы интервалов температур закрепления плетей на участке:

а) нижние границы:

$$[\min t_3] = t_{\max \max} - [\Delta t_c];$$

в прямом участке $[\min t_3] = +60 \text{ }^\circ\text{C} - 54 \text{ }^\circ\text{C} = +6 \text{ }^\circ\text{C};$

в кривой $R = 1000$ $[\min t_3] = +60 \text{ }^\circ\text{C} - 49 \text{ }^\circ\text{C} = +11 \text{ }^\circ\text{C};$

в кривой $R = 600$ $[\min t_3] = +60 \text{ }^\circ\text{C} - 43 \text{ }^\circ\text{C} = +17 \text{ }^\circ\text{C};$

б) верхние границы:

$$[\max t_3] = t_{\min \min} + [\Delta t_p];$$

в прямом участке $[\max t_3] = -41 \text{ }^\circ\text{C} + 95 \text{ }^\circ\text{C} = +54 \text{ }^\circ\text{C};$

в кривой $R = 1000$ $[\max t_3] = -41 \text{ }^\circ\text{C} + 90 \text{ }^\circ\text{C} = +49 \text{ }^\circ\text{C};$

в кривой $R = 600$ $[\max t_3] = -41 \text{ }^\circ\text{C} + 73 \text{ }^\circ\text{C} = +32 \text{ }^\circ\text{C}.$

9.2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ СОСТАВЛЕНИЯ ПРОЕКТА

Учет местных условий. В последние десятилетия в связи с сокращением нового строительства железных дорог в Российской Федерации бесстыковой путь укладывают, в основном, на действующих (эксплуатируемых) линиях при капитальном ремонте звеньев пути с заменой одиночных рельсов сварными плетями или уже бывшего на участке бесстыкового пути с заменой изношенных плетей новыми. Во всех случаях должен разрабатываться детальный проект (конструктивный, технический) с сопутствующими документами, учитывающими местные особенности перевозок, климата, трассы, освоенности территории, наличия производственной базы, квалифицированного обслуживающего персонала и т.д.

В соответствии с этим проводятся обследования нижнего и верхнего строения пути с оценкой степени пригодности земляного полотна, мостов, тоннелей, подрельсовых оснований, плана и профиля пути для укладки и содержания пути особой конструкции. По результатам обследований назначаются перечни и сроки подготовительных мероприятий.

Так, земляное полотно, имеющее болезни и другие отступления от требований ТУ-2000, должно быть оздоровлено или реконструировано не позже, чем за один год до укладки бесстыкового пути. Перечень работ, технология и прочее должны быть предусмотрены соответствующим проектом.

Искусственные сооружения также должны быть подготовлены заранее к ликвидации стыков рельсов с учетом требований ТУ-2000 и Инструкции по устройству мостового полотна. Проект этих

работ должен предусматривать усиление и реконструкцию мостов с заменой, при необходимости, пролетных строений, мостового полотна, опорных частей и пр.

Стрелочные переводы, намечаемые к сварке в них внутренних стыков и к ввариванию в примыкающие плети, должны иметь особую конструкцию, соответствующую новейшим технологиям заводской полевой сварки (преимущественно электрической; термитная не обеспечивает необходимой прочности и представляется нежелательной в условиях сурового климата, больших грузонапряженностей и скоростей, что подтверждается практикой многих зарубежных дорог).

Стрелочные переводы, не планируемые к ввариванию в плети, должны быть отделены от последних двумя парами уравнильных рельсов или специальными анкерными участками (усиленное подрельсовое основание на 50 м от торцов рамных рельсов или крестовин; усиленные болтовые стыки и т.д.).

На линиях с обычной автоблокировкой, где у каждого светофора должны быть изолирующие стыки, разделяющие блок-участки, должны быть указаны в проекте типы этих стыков. Если имеются клееболтовые стыки обычной прочности с сопротивлением разрыву не более 2МН, необходимо предусматривать в этих местах уравнильные рельсы по одному с каждого конца склеенной изолирующей вставки (рельсовой).

При возможности лучше иметь высокопрочные клееболтовые изолирующие стыки с сопротивлением 3—4 МН и более, тогда можно короткие плети сваривать в длинные (до перегона) без уравнильных рельсов. На линиях с тональной автоблокировкой АБТ, где изолирующих стыков не требуется, сварка коротких заводских плетей (до 800 м) в длинные может выполняться по обычной технологии с использованием ПРСМ.

Сборные изолирующие стыки старых типов с деревянными или лигнофоловыми накладками, с фибровыми или полиэтиленовыми изолирующими прокладками в бесстыковом пути нежелательны. Если без них нельзя обойтись (второстепенные, некоторые станционные и др. пути), их нужно ограждать от плетей двумя парами уравнильных рельсов длиной по 12,5 м с каждого конца. Особенности трассы участка, которые необходимо учитывать при проектировании бесстыкового пути, касаются, в первую очередь, его плана. Если плети будут иметь конечную длину до 800 м, следует стремиться располагать уравнильные рельсы и вообще стыки за пределами кривых; в длинных кривых не следует оставлять стыки в переходных кривых. В обратных кривых с суммарной длиной менее 800 м желательно перекрывать их общими плетями. При наличии длинных (100 м и более) прямых вставок между обратными кривыми плети следует прерывать в этих местах. На линиях с пассажирским движением на станциях и перегонах желательна размещать стыки вне пределов платформ.

Подходы к мостам и тоннелям следует устраивать соответственно длине сооружения. Если она менее короткой плети, желательно уравнивательные пролеты и вообще болтовые стыки оставлять за пределами сооружения.

При проведении реконструкции или капитальных ремонтов мостов и тоннелей желательно предусматривать устройства оснований с переходной вертикальной жесткостью — от модуля упругости балластного основания к модулю железобетонного, который имеет путь в пределах устоев мостов или рамп тоннелей. Методика проектирования таких переходных оснований разработана С. И. Клиновым (МИИТ).

Распределение плетей по перегонам. Имея по заданию на проектирование нового участка бесстыкового пути общее представление об объекте (объемы, сроки, экономические соображения и т.д.) и зная местные условия, могущие влиять на условия применения бесстыкового пути (уклоны, радиусы, температурные экстремумы, осевые нагрузки, скорости и т.д.), определяют конкретные силовые воздействия на бесстыковую путь в разных точках трассы. В результате получают расчетные (допускаемые по условиям устойчивости и прочности) повышения и понижения температур рельсов по сравнению с температурой закрепления плетей. По этим значениям устанавливают расчетные границы интервалов температур закрепления $[\min t_3]$ и $[\max t_3]$ по всему участку. При этом, в зависимости от местных условий, возможны два варианта конкретного закрепления плетей по перегонам:

1) перегоны, на которых намечается укладка бесстыкового пути, имеют одинаковые условия эксплуатации: общий обращающийся подвижной состав, мало отличающиеся температурные экстремумы, близкий рельеф и др. (Пример — "широтное" направление Московской железной дороги на запад.) В этом случае можно применять одинаковые конструкции и температурные режимы укладки и эксплуатации бесстыкового пути;

2) перегоны, заметно отличающиеся друг от друга климатом, условиями перевозок, рельефом. (Примеры — "долготные" направления Северной железной дороги; предгорные районы; подходы к промышленным центрам и пр.) Здесь в пределах одного участка могут быть большие разницы температур на разных перегонах, разные скорости движения (а значит, и разные динамические нагрузки), разные радиусы кривых (с разными запасами устойчивости) и т.д.

В первом случае верхнее строение бесстыкового пути, расчетные интервалы температур закрепления плетей, технология укладки могут быть одинаковыми и распределение плетей по перегонам наиболее простое. Если плети будут только короткие (800 м и менее), заводского исполнения, они раскладываются по участку последовательно, по мере подвоза на спецсоставе. Между плетями — типовые уравнивательные пролеты. Если имеется возможность устройства плетей длиной до блок-участка и более, размещение этих плетей на перегоне определя-

ется типами автоблокировки. При обычной автоблокировке на границах блок-участков собираются изолирующие стыки и получается, что плети не могут быть длиннее блок-участка. При кодовой (тональной) автоблокировке АБТ длины плетей зависят от других местных ограничений. Это — кривые радиусами, меньшими, чем допущено нормами (350 м — в обычных условиях, 600 м — в особо суровых); мосты некоторых типов; стрелочные переводы, не предназначенные для сварки стыков внутри и снаружи; участки нездоровленного большого земляного полотна.

При намерении создать на участке пути плети длиной более блок-участка приходится иногда считаться с разными расчетными температурами закрепления бесстыкового пути из-за наличия отдельных кривых малого радиуса внутри участка. Например, в середине 17-километрового перегона, состоящего из прямых участков, есть одна короткая кривая радиусом 500 м (реальный случай на одной из дорог бывшего СССР). Допустимые интервалы температур закрепления оказались отличающимися в три раза (39 °С и 14 °С). Это трудно учесть при укладке, а затем и при содержании пути. В подобных случаях иногда выгоднее сделать две плети общей длиной около 17 км, а кривую закрепить самостоятельно. ТУ-2000 в подобных случаях требуют, чтобы наибольшая разница температур закрепления разных мест одной длинной плети не превышала 10 °С.

Прерывать плети приходится и на железнодорожных переездах с автоматической электрической сигнализацией. Здесь необходимо устраивать изолирующие стыки. Перечисленные причины прерывания плетей определяют конкретные длины последних, которые наносятся на "укладочный план" в проекте устройства бесстыкового пути. В перспективе намечается создать технологию непрерывной укладки длинных плетей с доваркой коротких плетей в длинные еще в процессе выгрузки со спецсостава. При такой системе работ размещение плетей на перегоне может упроститься.

Состав проекта. Проекты укладки, реконструкции, капитальных ремонтов и других работ с укладкой бесстыкового пути составляются Центральными или Дорожными проектными бюро или конторами по планам и заданиям МПС с учетом заявок местных органов. Во всех случаях при устройстве бесстыкового пути должен быть составлен и широко обсужден общий проект, главной составной частью которого должен быть подробный продольный профиль участка. Проект составляется общим для двух или трех путей, если они расположены на общем земляном полотне и отдельно — для каждого участка, где пути отдельные.

На каждом километре должны быть показаны координаты — пикеты начала и конца кривых с указанием радиусов, продольных уклонов с указанием крутизны, начала и конца искусственных сооружений

с указанием их типа, границ отдельных пунктов с наименованием, передних концов рамных рельсов и задних хвостов крестовин и центров стрелочных переводов, светофоров и изолирующих стыков.

На профиле пути указывается планируемое размещение рельсовых плетей с типом рельсов, шпал, балласта; при наличии уравнительных рельсов — их число. На общем чертеже с продольным профилем приводятся плечи обращения расчетных локомотивов и установленные скорости их движения по участкам. На плетях указываются расчетные интервалы их закрепления. Отдельной строкой здесь же проставляются экстремумы температур рельсов на попутных метеостанциях.

Разработанные и утвержденные конструктивные проекты бесстыкового пути передаются исполнителям: строительным управлениям, путевым машинным станциям, дистанциям пути и т.д., которые, в свою очередь, проводят необходимые подготовительные, а затем и основные работы. Все эти работы должны выполняться в определенной последовательности с соблюдением многих особенностей технологии и других условий, которые учитываются в сопутствующем документе — Проекте организации работ. Этот документ обычно разрабатывается проектными организациями, но иногда может быть создан самими исполнителями, когда речь идет о типовых, хорошо освоенных операциях и даже технологиях.

Проект организации работ отражает не только технические вопросы, но и технику безопасности, планирование "окон" в движении поездов и др. Обязательны графики технологических процессов выполняемых работ. К подготовительным работам по укладке бесстыкового пути можно отнести следующие:

оздоровление земляного полотна и искусственных сооружений (выполняются специализированными организациями за год до основных работ);

заготовка строительных и путевых материалов, горючесмазочных веществ и запасных частей для машин и механизмов;

оформление заявок на выполнение субподрядных работ (сварка плетей в РСП, то же в пути; изготовление балласта на щебнезаводах и в карьерах; изготовление шпал на ЖБК и ШПЗ; обслуживание локомотивов местными ВЧД; обслуживание электроцепей во время работ, связанных со снятием напряжения, силами ЭЧ, ШЧ) и т.д.;

техническое обучение будущих исполнителей укладки и эксплуатации бесстыкового пути;

съемка состояния пути до работ;

оборудование участка средствами контроля напряженного состояния плетей (реперы, поперечные створы, маячные шпалы и пр.);

заготовка бланков технических паспортов, журналов и другой отчетности.

К основным работам относятся:

сплошная выправка и рихтовка пути, при необходимости — очистка щебня;

укладка инвентарной путевой решетки звеньями по 25 или 12,5 м; замена инвентарных рельсов короткими сварными плетями длиной до 800 м;

закрепление плетей в расчетном интервале температур, если это не удавалось сделать при замене инвентарных рельсов, что бывает нередко;

сварка коротких плетей в длинные (может проводиться и внутри колеи до надвижки на подкладки);

точная выправка положения плетей в плане и профиле;

регулировка начальных продольных напряжений в плетях;

закрепление напряженного состояния по реперам, маячным шпалам, тензомерам, термометрам и т.д.;

оформление результатов начала нормальной эксплуатации уложенного бесстыкового пути соответствующими актами, паспортами и журналами.

Подробно процессы укладки бесстыкового пути описаны в гл. 10.

**УКЛАДКА, РЕМОНТ И ТЕКУЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ
БЕССТЫКОВОГО ПУТИ**

10.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПУТЕЙ

Новая система ведения путевого хозяйства, действующая на железных дорогах России с 1995 г., основана на классификации путей в зависимости от грузонапряженности и скорости движения поездов —

Т а б л и ц а 10.1

Группа	Грузонапряженность, млн. т·км брутто/км в год	Классы путей при категории пути						
		1	2	3	4	5	6	7
		Скорость пассажирских (числитель) и грузовых (знаменатель) поездов, км/ч						Станционные пути
121—140 > 80	101—120 > 70	81—100 > 60	61—80 > 50	41—60 > 40	40 и более			
А	> 80	1	1	1	2	2	3	5
Б	50—80	1	1	2	2	3	3	5
В	25—50	1	2	2	3	3	4	5
Г	10—25	1	2	3	3	4	4	5
Д	10 и менее	2	3	3	3	4	4	5

Примечания. 1 В графе "Грузонапряженность" цифра перед тире — исключительно: после тире — включительно.

2 При движении графиковых пригородных и пассажирских поездов с максимальными скоростями движения 80 км/ч и более независимо от грузонапряженности путь должен быть не ниже: 1-го класса при числе указанных поездов более 100, 2-го класса — при числе поездов от 31 до 100, 3-го класса — при числе поездов не более 30. При скоростях менее 80 км/ч класс пути, кроме 3-го, понижается на одну ступень.

3 При прочих равных условиях главные пути 3-го класса Б5, В4 переводятся во 2-й класс на участках со сложным планом, на которых кривых с радиусом менее 350 м более 20 %, или всех кривых — более 40 %.

4 При совпадении условию пп. 2 и 3 класс пути может быть повышен только один раз.

5 На многопутных участках классы путей устанавливаются одинаковыми с путем, имеющим большую грузонапряженность, при условии, если разница по этому показателю не превышает 20 %. В противном случае класс второго (третьего, четвертого) пути устанавливается по своему сочетанию грузонапряженности и скоростей движения.

6 Станционные, подъездные и прочие пути, где реализуются скорости 40 км/ч, относятся к 4-му классу, а при скоростях более 40 км/ч — к 3-му классу.

7 Сортировочные и горочные пути на сортировочных станциях относятся к 4-му классу.

8 Пути, где установлены максимальные скорости движения пассажирских поездов более 140 км/ч, относятся к высклассным путям и содержатся по специальным техническим условиям.

9 Если по станционным, подъездным путям обращается подвижной состав с опасными грузами, они не должны быть ниже 4-го класса.

главных факторов, влияющих на перевозочный процесс и работу пути.

По грузонапряженности и в зависимости от скоростей движения все пути разделены на пять групп, обозначенных буквами (А — Д), а по максимальным допускаемым скоростям движения — на семь категорий, обозначенных цифрами (1 — 7) (табл. 10.1).

**10.2. ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИИ И ЭЛЕМЕНТАМ
БЕССТЫКОВОГО ПУТИ ПРИ ЕГО УСТРОЙСТВЕ**

Бесстыковой путь на участках 1-го и 2-го классов укладывают с использованием новых материалов верхнего строения пути (табл. 10.2), а на путях более низких классов в основном из старогодных материалов (табл. 10.3).

На путях 1-го и 2-го классов А1, А2, А3, Б1, Б2 и Б3 при средней осевой вагонной нагрузке более 170 кН могут применяться рельсы Р75.

На путях 1-го и 2-го классов по разрешению Департамента пути и сооружений при укладке бесстыкового пути могут применяться старогодные рельсы Р65 (1-й группы годности) термоупрочненные, снятые с главных путей при наработке не более 600 млн. т, на которых средняя статическая нагрузка на ось не превышала 160 кН брутто, отремонтированных профильной строжкой. При этом концы плетей должны быть восстановлены вваркой новых рельсов. Новые рельсы должны также применяться в уравнительных пролетах.

Т а б л и ц а 10.2

Элементы верхнего строения пути	Требования к элементам верхнего строения бесстыкового пути на участках 1-го и 2-го классов
Рельсы	Типа Р65 новые, 1-й группы, 1-го класса, термоупрочненные
Скрепления	Новые, установленной МПС конструкции
Шпалы	Железобетонные новые Эпюра шпал в прямых и кривых радиусом более 1200 м — 1840 шт./км, в кривых радиусом 1200 м и менее — 2000 шт./км
Балласт	Новый или очищенный щебень фракций 25—60 мм
Балластная призма	Толщина балласта под шпалой — 40 см, толщина балластной подушки — 20 см, ширина плеча — 45 см

В тоннелях и на затяжных спусках круче 12 ‰ эюра шпал должна составлять 2000 шт./км. К затяжным спускам относятся участки протяженностью: 6 км и более — при уклонах от 12 до 14 ‰; 5 км и более — от 15 до 17 ‰; 4 км и более — от 18 до 20 ‰; 2 км и более — более 20 ‰

Стыки, в том числе сварные, для повышения эффективности профильной шлифовки наплавливают и выправляют в вертикальной плоскости с использованием передвижного пресса или специальной машины, после чего их подбивают.

Для обеспечения режима обкатки, исключая интенсивные деформации в стыках с разрушением щебня, укладываемые инвентарные рельсы должны отвечать следующим требованиям: боковой износ — не более 2 мм на путях 1-го и 2-го классов, 4 мм на путях 3-го класса и не более 6 мм на путях 4-го и 5-го классов; вертикальный износ — не более 3 мм на путях 1-го и 2-го классов, 6 мм на путях 3—5-го классов; смятие головки рельса и провисание его концов — не более 2 мм на путях 1—3-го классов и не более 3 мм на путях 4-го и 5-го классов; разность по высоте смежных рельсов (вертикальная ступенька в стыке) — не более 1 мм на путях 1-го и 2-го классов и 2 мм на путях 3—5-го классов; горизонтальная ступенька в стыке — не более 1 мм на путях всех классов.

Отнесение старогодных железобетонных шпал и элементов скреплений к той или иной группе годности следует выполнять в соответствии с табл. 5.4 и 5.6.

Переход на железобетонное подрельсовое основание на путях 3-го класса осуществляется за счет старогодной рельсошпальной решетки, снимаемой с путей более высоких классов. При этом решетка должна полностью перебираться и комплектоваться старогодными деталями соответствующей группы годности и новыми элементами по нормам, приведенным в табл. 10.3. Допускается ее использование на путях Г4 и Д4 по согласованию с Департаментом пути и сооружений. На остальных путях 3—5-го классов переход на железобетонное подрельсовое основание производится в процессе разрядки кустов негодных деревянных шпал старогодными железобетонными, оставшимися после переборки путевой решетки. Для железных дорог Восточного региона, начиная с Западно-Сибирской железной дороги, допускается на путях 3-го класса укладка новых шпал и скреплений.

Такой подход позволяет избежать неэффективных работ по разрядке кустов негодных шпал на путях низших классов, так как старогодные деревянные шпалы, использовавшиеся для этих целей при повторной укладке, служат не более 5—7 лет.

Группа и категория пути	Требования к элементам верхнего строения бесстыкового пути на участках 3-го класса
Г3, Д3 (при скоростях 100 км/ч), Д2	<p style="text-align: center;"><i>Рельсы</i></p> <p>Типа Р65 новые, гермоупрочненные, 1-й группы, 1-го класса; Р65 старогодные (1-й группы годности), термоупрочненные, снятые с главных путей со средней статической нагрузкой на ось менее 160 кН, при наработке не более 600 млн. т брутто, отремонтированные профильной строжкой в стационарных условиях или профильной шлифовкой в пути</p> <p style="text-align: center;"><i>Скрепления</i></p> <p>Новые и старогодные (1-й группы годности) — 50 % с обязательной заменой на новые всех двухвитковых шайб и упругих прокладок</p> <p style="text-align: center;"><i>Шпалы</i></p> <p>Железобетонные новые и старогодные 1-й группы годности не менее 50 % Эюра шпал — такая же, что и на путях 1-го и 2-го классов</p>
Б5, В4, В5, Г4, Д4	<p style="text-align: center;"><i>Рельсы</i></p> <p>Типа Р65 старогодные (1-й группы годности), для групп Б и В — термоупрочненные, с наработкой тоннажа не более 700 млн. т брутто, отремонтированные профильной строжкой в стационарных условиях. Для групп Г4 и Д4 допускается профильная шлифовка в пути со сплошной диагностикой</p> <p style="text-align: center;"><i>Скрепления</i></p> <p>Новые — 30 %, старогодные — 70 % с заменой на новые всех двухвитковых шайб и прокладок</p> <p style="text-align: center;"><i>Шпалы</i></p> <p>Железобетонные новые и старогодные 1-й группы годности не менее 70 %. Эюра в соответствии с Техническими указаниями по устройству, укладке и содержанию бесстыкового пути</p>
А6, Б6, в том числе приемоотправочные	<p style="text-align: center;"><i>Рельсы</i></p> <p>Типа Р65 старогодные (1-й группы годности) с наработкой тоннажа не более 700 млн. т брутто после профильной шлифовки и диагностики</p>

Группа и категория пути	Требования к элементам верхнего строения бесстыкового пути на участках 3-го класса
Г3, Д2, Д3, Б5, В4, Г4, Д4, А6, Б6	<i>Скрепления</i>
	Старогодные (1-й группы годности) — 70 % с заменой на новые всех двухвитковых шайб
	<i>Шпалы</i>
	Железобетонные старогодние (2-й группы годности) — 70 %. Эпюра шпал как на путях 1-го и 2-го классов
	<i>Балластная призма</i>
	Толщина слоя балласта под шпалой — 30 см; толщина балластной подушки — 20 см; ширина плеча — 40 см

Необходимо также учитывать, что в условиях снижения объема перевозок количество деревянных шпал, годных для повторного использования, будет постоянно уменьшаться. Одновременно создаются условия без существенного увеличения затрат ускорить темпы перевода значительного полигона сети на железобетонное подрельсовое основание с укладкой бесстыковых плетей, сваренных из старогодных рельсов.

10.3. УСИЛЕНИЕ БАЛЛАСТНОЙ ПРИЗМЫ ПРИ РЕМОНТАХ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ

Конструкция и размеры балластной призмы и материал, из которого она сложена, должны обеспечивать длительную стабильность и устойчивость бесстыкового пути. Типовые поперечные профили балластной призмы для бесстыкового пути на железобетонных шпалах приведены в табл. 10.4.

Новый или очищенный щебень на путях 1—3-го классов должен быть фракций 25—60 мм, только твердых пород; асбестовый балласт должен соответствовать ТУ 32 ЦП-782—92 "Смесь песчано-щебеночная из отсевов дробления серпентинитов для балластного слоя железнодорожного пути"; на путях 4-го класса может применяться гравийно-песчаный балласт; на путях 5-го класса — балласт всех видов, применяемых на железнодорожных путях. Укладка в балластную призму смешанного щебня различных пород и прочности на путях 1—3-го классов не допускается.

Балластная призма для путей 1—3-го классов должна состоять из очищенного или нового балласта.

У балластной призмы, в конструкцию которой входит пенопласт, геотекстиль и другие материалы, балластная подушка может не устраиваться. Поверхность балластной призмы устраивается в одном уровне с верхом средней части железобетонных шпал.

Крутизна откосов балластной призмы при всех видах балласта должна быть 1:1,5, а песчаной подушки — 1:2. Расстояние между заложением откоса призмы и балластной подушки на уровне основной площадки земляного полотна принимается равным 15 см.

Толщину слоя балласта под шпалой при трехслойной призме определяют, исходя из суммы толщины асбеста и щебня

Для ограничения темпа накопления остаточных деформаций в балласте и грунте основной площадки земляного полотна обеспечивают выполнение условий по их прочности, что может быть достигнуто снижением максимальных напряжений в слабых грунтах основной площадки, уменьшением их влажности и предотвращением возможности поступления мелких частиц из нижних слоев загрязненного балласта и грунтов земляного полотна в верхние чистые слои балласта.

С этой целью на пути производят очистку щебня на глубину не менее 40 см под шпалой, а на нестабильных участках, кроме того, выполняют дополнительные противодеформационные мероприятия, в том числе укладку защитного слоя, в качестве которого может применяться подушка из крупно- и среднезернистого песка, гравийно-песчаная смесь, щебень фракций менее 25 мм толщиной 10 см и более, покрытие из геотекстиля или пенопласта.

Если старый балласт вырезать на полную толщину не представляется возможным, а ширина обочин соответствует приведенным в табл. 10.4, допускается устройство новой основной площадки земляного полотна на глубине очистки балластной призмы, но не менее 40 см. При этом между новой площадкой и балластной призмой укладывают разделительный слой, препятствующий проникновению загрязнителей в чистый балласт. Такое решение может быть принято при условии достаточной несущей способности старой основной площадки земляного полотна и остающегося слоя балласта.

Таблица 10.4

Толщина слоя балласта под шпалой в подрельсовой зоне (в кривых — по внутренней нити) без учета балластной подушки, см	Класс пути	Ширина плеча призмы, см	Толщина балластной подушки, см	Минимальная ширина обочины земляного полотна ¹ , см
40	1, 2	45	20	50 (40)
30	3	40	20	45 (40)
25	4	40	20	40
15	5	40	15	40

¹ В скобках приведена ширина обочины на участках, где ее увеличение связано с работами по переустройству земляного полотна или уменьшением отметок пути более чем на 15 см.

Геотекстиль укладывают на глубину не менее 40 см от подошвы шпал и на ширину 4,2—4,5 м под один путь с уклоном 0,04 в полевую сторону. Непосредственно на геотекстиль допускается укладка щебня. Геотекстиль в этом варианте, кроме выполнения разделительной и распределительной функций, способствует отводу воды из балласта.

Для устройства защитного разделительного слоя или при усилении основной площадки в более неблагоприятных условиях — затрудненный поверхностный водоотвод (сырые выемки и нулевые места, станционные пути и пассажирские платформы), повышенные силовые воздействия (например, зоны рельсовых стыков), а также для ликвидации деформаций морозного пучения производят укладку пенопластового покрытия.

Укладка теплозащитного слоя из пенопласта назначается на всех участках, где пучинистые грунты входят в зону возможного промерзания с вероятностью повторения 1 раз в 10 лет.

Верх плиты пенопласта должен располагаться на глубине не менее 40 см от подошвы шпал с поперечным уклоном 0,04 в полевую сторону (рис. 10.1).

При применении пенопласта в качестве разделительного слоя толщина покрытия принимается равной 4 см, а ширина под один путь — 4 м. Толщину и ширину покрытия для ликвидации деформаций морозного пучения определяют теплотехническим расчетом из условия полного выведения промерзания из пучинистых грунтов. К этой величине добавляют 1 см, учитывая возможное уменьшение защитных свойств покрытия при вдавливании в него отдельных щебенков. Минимальная толщина покрытия принимается равной 4 см. При больших толщинах покрытия возможна укладка плит в два слоя с перекрытием стыковочных швов.

Для обеспечения отвода воды из балласта производят срезку обочин земляного полотна до уровня пенопласта или геотекстиля.

При переводе балластной призмы с асбестового балласта на щебеночный асбест полностью вырезают. Допускается оставление в нижних слоях призмы асбестового слоя не менее 15 см. При этом толщина слоя щебня под шпалой над оставшимся асбестовым балластом должна быть не менее 35 см на пути с железобетонными шпалами. На участках с интенсивным засорением пути сыпучими грузами рекомендуется сохранять балластную призму из асбеста.

На участках с понижением отметок профиля пути и переводе с асбестового балласта на щебеночный при проектировании должна выявляться возможность появления новых пучин.

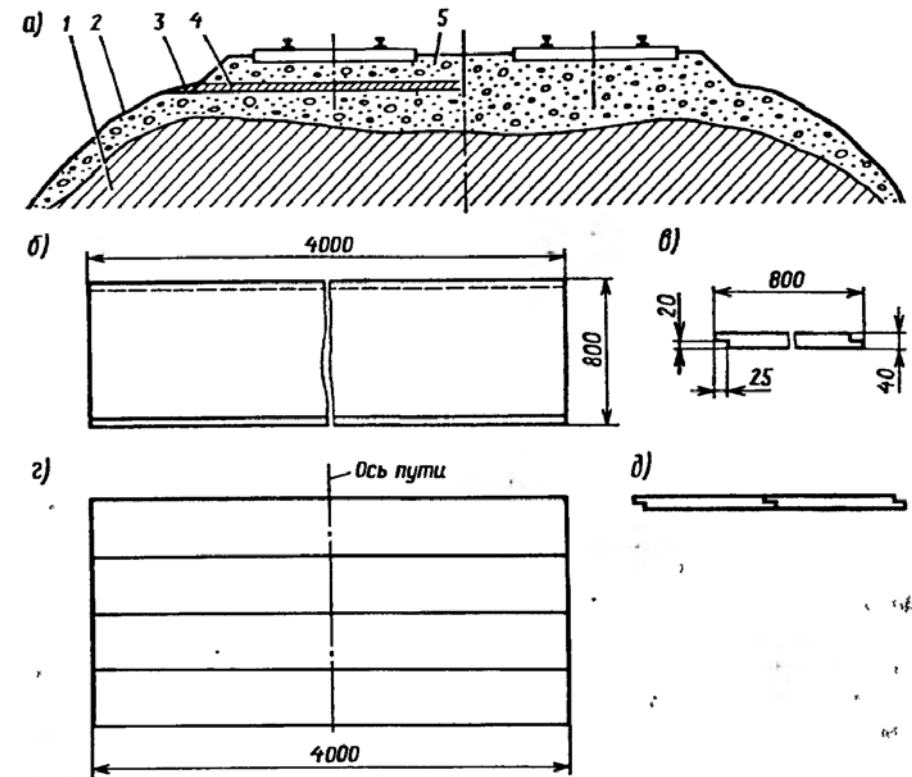


Рис. 10.1. Покрытие из пенополистирольных плит: а — поперечное сечение на двухпутном участке; б — вид плиты сверху; в — вид плиты с торца; г — раскладка плит по оси пути; д — стыковка плит; 1 — грунт основной площадки земляного полотна; 2 — старый загрязненный балласт; 3 — срезаемый грунт обочин земляного полотна; 4 — пенополистирольные плиты; 5 — очищенный или новый слой балласта

При трехслойной балластной призме и наличии под асбестом щебня мягких пород последний также должен полностью вырезаться или в конструкцию призмы включаться прослойка из пенополистирольных плит или геотекстиля. Решение о применении прослойки принимают, исходя из наличия или отсутствия у исполнителя специальных машин для реконструкции балластной призмы, а также технико-экономического обоснования.

В очищенном щебне содержание частиц размерами менее 25 мм (засорителя) не должно превышать 5 %, а менее 0,16 мм — 1,5 % от массы пробы.

Перед укладкой пенопласта или геотекстиля обеспечивают планировку и уплотнение поверхности балласта, оставшегося после вырезки.

Действовавшая до 1995 г. система ремонта пути не обеспечивала возможность выполнения работ с качеством, гарантирующим долговременную стабильность пути после ремонта. Это прежде всего касается работ по восстановлению дренажных свойств балластной призмы и укреплению основной площадки земляного полотна.

В течение длительного времени работы по очистке щебня при капитальном и среднем ремонтах пути велись машинами типа ЩОМ и БМС на глубину не более 15 см, а для повышения стабильности балластной призмы добавляли в путь до 1 тыс. м³ щебня на 1 км пути. Суммарная толщина слоя чистого щебня при этом составляла не более 20—25 см, что было явно недостаточно для устойчивой работы балластной призмы при современных поездных нагрузках, особенно для пути на железобетонных шпалах.

Вместе с тем следует отметить, что балласт, обработанный с помощью непрерывной сетки, применяющейся на машинах типа ЩОМ или БМС, нельзя считать в достаточной степени чистым, так как доля засорителей, остающихся в щебне, может составлять 12—15 %.

Отремонтированная таким способом балластная призма быстро расстраивается, так как обладает недостаточной аккумулялирующей способностью для накопления засорителей. Подстилающий загрязненный слой щебня, находящийся в зоне высоких напряжений из-за недостаточной глубины очистки, быстро расстраивается от воздействия поездных нагрузок. Из него в верхние более чистые слои щебня начинают поступать засорители и балластная призма быстро теряет несущую способность.

По этой причине путь за короткий период после ремонта накапливает остаточные деформации, появляются выплески, требуются частые повторные выправки и очистки балласта.

Применяемые технологии привели к ухудшению отвода воды из балластной призмы, так как загрязнители во время проведения работ откладывались на обочины земляного полотна, в кюветы и на откосы. По существу, нижняя (наиболее загрязненная) часть балластной призмы оказывалась в корыте, отвод воды из которого затруднен. Это сильно влияет не только на устойчивость всей балластной призмы, но и на несущую способность основной площадки земляного полотна, так как собирающаяся вода приводит к разжижению грунта.

Накапливающиеся на откосах земляного полотна засорители вызывают потерю их устойчивости, которая по мере подъемов пути и увеличения толщины балластной призмы продолжает уменьшаться, так как передача поездных нагрузок распространяется и на эту зону земляного полотна, вызывая сплывы и обрушения.

Отмеченные негативные последствия применяемых технологий в наибольшей степени проявляются на участках с высокой интенсивностью движения, где проведение ремонтных работ сопряжено с наиболее частыми подъемами пути. Эти условия не способствовали расширению объемов укладки бесстыкового пути, для которого прежде всего необходимо устойчивое положение земляного полотна и балластной призмы.

Снижение перевозок на железнодорожном транспорте и рост значимости экономических факторов создали предпосылки для введения новой системы ремонтов пути. На большинстве линий появилась возможность предоставления для путевых работ более продолжительных "окон" и в связи с этим изменились технологии проведения работ. Внедрение современных ресурсосберегающих технологий эксплуатации пути потребовало применения новых технических средств для их осуществления. Это прежде всего коснулось машин для ремонта балластной призмы, которые наряду с вырезкой балласта на глубину не менее 40 см должны одновременно обеспечивать восстановление несущей способности основной площадки земляного полотна. Второй важной компонентой новых технологий стало применение специального подвижного состава для накопления и транспортировки засорителей при работе машин по ремонту балластной призмы и восстановлению водоотводов.

Соответствующие машины и специальный подвижной состав для обеспечения их работы, отвечающие перечисленным требованиям, были созданы и их выпуск начат на отечественных машиностроительных заводах. До 2005 г. планируется оснастить указанной техникой все линии железных дорог общесетевого значения.

В связи со снижением объема перевозок на многих участках сети преобладающим фактором назначения работ по обновлению рельсошпальной решетки становится фактор времени и целесообразность применения железобетонного подрельсового основания и бесстыкового пути вместо звеньевоего на деревянных шпалах.

В соответствии с Положением о системе ведения путевого хозяйства на железных дорогах Российской Федерации основные работы по ремонту пути делятся на следующие виды: усиленный капитальный ремонт пути, капитальный ремонт пути, усиленный средний ремонт пути, средний ремонт пути, подъемочный ремонт пути.

Усиленный капитальный ремонт пути имеет целью полное обновление путевой решетки, собранной из новых материалов верхнего строения пути, сопровождаемое очисткой щебня на глубину не менее 40 см или заменой других видов балласта. В период его проведения выполняется замена звеньевоего пути на деревянных шпалах на бесстыковой путь, как правило, на железобетонном подрельсовом основании, а также замена изношенного, ранее уложенного бесстыкового пути на участках 1-го, 2-го класса и внеклассных.

Усиленный капитальный ремонт пути назначается начальником службы пути. При усиленном капитальном ремонте пути выполняются следующие работы: сплошная замена рельсошпальной решетки; выправка всех круговых и переходных кривых, улучшение сопряжения кривых, удлинение и устройство прямых вставок между ними в соответствии с проектом; выправка продольного профиля в соответствии с проектом (с устройством кривых в вертикальной плоскости, сопрягающих смежных элементов профиля); ликвидация балластных выплесков и пучин, неустойчивых балластных шлейфов; срезка и планировка обочин земляного полотна, восстановление и ремонт кюветов, лотков, водоотводных канав, дренажных устройств, а также уширение земляного полотна с недостаточной шириной обочин и уположение откосов насыпей высотой до 6 м в соответствии с типовыми поперечными профилями с обеспечением крутизны откосов 1:1,5; расчистка русел водотоков около средних и малых мостов и труб; ремонт защитных и укрепительных сооружений земляного полотна и конусов мостов; ремонт гидроизоляции железобетонных мостов; ликвидация негабаритных мест под путепроводами, у пассажирских платформ и других сооружений; раздвижка путей на перегонах двухпутных и многопутных линий в соответствии с требованиями габарита; обновление асбестового, очистка щебеночного балласта с доведением профиля балластной призмы до размеров, установленных для данного типа верхнего строения пути; установка на электрифицированных линиях и участках, оборудованных автоблокировкой, типовых изолирующих стыков и стыковых соединителей; ремонт имеющихся и установка новых путевых рельсосмазывателей; замена рельсов и уравнивательных приборов на мостах новыми; сплошная смена мостовых брусьев; исправление и приведение мостового настила к установленному типу на всем протяжении моста; подъёмка малых мостов согласно проектной отметке головки рельсов и устройство отводов пути к большим мостам; устройство переходных участков к мостам и тоннелям; устройство реперной системы контроля положения пути на ремонтируемом участке, перестановка по проекту и ремонт имеющихся, а также пополнение недостающих и замена нестандартных путевых и сигнальных знаков; ремонт или переустройство настилов переездов и проезжей части дороги на подходах к ним; восстановление полосы отвода в требуемом объеме в соответствии с предварительно разработанной проектно-сметной документацией.

Работы по ликвидации сложных деформаций земляного полотна выполняются по отдельным проектам и сметам, как правило, за год до производства усиленного капитального ремонта пути.

На участках путей 1-го и 2-го классов стрелочные переводы на бесстыковом пути должны укладываться на железобетонных брусьях и свариваться с примыкающими плетями. Стыки внутри стрелочного перевода сваривают алюмотермитной сваркой. На концах плетей,

примыкающих к стрелочным переводам с подвижными сердечниками крестовин, должны устраиваться якорные участки с усиленной эпюрой шпал и скреплениями. Наряду с укладкой плетей неограниченной длины и применением усиленных изолирующих стыков это позволяет создать практически непрерывный путь без стыков, что значительно повышает эффективность его применения.

Капитальный ремонт пути предназначен для замены верхнего строения пути на более мощное или менее изношенное, смонтированное либо полностью из старогодных материалов, либо из старогодных в сочетании с новыми, и сопровождается очисткой щебеночного балласта на глубину от 25 до 40 см, а также частичным обновлением других видов балласта.

Капитальный ремонт пути производится на участках 3—5-го классов и назначается начальником службы пути на основе заявки начальника дистанции пути. Состав работ по капитальному ремонту пути на участках 3-го класса такой же, как и при усиленном капитальном ремонте пути. В период его проведения выполняется замена звеньевго пути на деревянных шпалах на бесстыковой путь, собранный с использованием старогодных материалов, включая железобетонные шпалы и скрепления к ним, а также замена ранее уложенного, изношенного бесстыкового пути на участках 3-го класса.

Усиленный средний ремонт может назначаться на участках 1-го и 2-го классов, где до этого был выполнен ремонт с укладкой бесстыкового пути из новых материалов, но без применения глубокой очистки балластной призмы или замены балласта, а также других работ, которые должны выполняться при усиленном капитальном ремонте. При этом, если усиленный средний ремонт выполнен в период, когда пропущено менее половины тоннажа, предусмотренного между усиленными капитальными ремонтами, принимается, что на пути произведен усиленный капитальный ремонт и дальнейшая его эксплуатация ведется по обычной ремонтной схеме. Таким образом, усиленный средний ремонт позволяет не менее чем на 15—25 % увеличить срок службы ранее уложенного пути.

В состав работ по усиленному среднему ремонту пути входят: глубокая очистка (не менее 40 см) или срезка балласта, позволяющая привести отметку профиля к проектной с обеспечением требуемой толщины чистого балласта под шпалой; уширение основной площадки земляного полотна; срезка ее обочины с восстановлением нормальных размеров призмы и обочины и обеспечением необходимого одинакового и непрерывного уклона основной площадки земляного полотна для выхода воды из-под балластной призмы; устройство защитного подбалластного слоя из песка (там, где он предусмотрен, но отсутствует или требуется его замена) или укладка специальных покрытий (геотекстиль, пенопласт) толщиной, назначаемой исходя из условий обеспечения несущей способности основной площадки земля-

ного полотна, ликвидации балластных выплесков и предупреждения появления пучин; уположения откосов насыпей с доведением крутизны до типовой 1;1,5 при высоте насыпи до 6 м; восстановление, ремонт и очистка водоотводных и дренажных устройств; уборка из выемок срезаемого с обочин и накопившегося за период эксплуатации пути грунта; ликвидация неустойчивых балластных шлейфов.

Стабилизация земляного полотна в более сложных случаях, а также восстановление и ремонт водоотводов, защитных и укрепительных сооружений, требующие больших объемов работ, производятся при капитальном ремонте земляного полотна, который должен выполняться не менее чем за год до усиленного среднего ремонта пути.

Кроме перечисленного, в состав работ, выполняемых при усиленном среднем ремонте пути, входят: постройка пути в профиле на проектную отметку, а в плане — в проектное положение, выправочно-подбивочно-рихтовочные работы, шлифовка рельсов, ремонт переэздов, очистка русел и планировка конусов малых искусственных сооружений и другие работы, связанные со стабилизацией пути для обеспечения его надежности в процессе эксплуатации.

Дополнительно производятся: оздоровление стыков с правкой сварных и искривленных концов рельсов в уравнительных пролетах и концов плетей, их наплавка (при необходимости); вырезка дефектных сварных стыков и обрезка концов плетей; замена дефектных рельсов в уравнительных пролетах, изношенных элементов скреплений; снятие регулировочных прокладок при железобетонных шпалах; смазка и закрепление клеммных, закладных и стыковых болтов; планировка обочин; ремонт и покраска путевых знаков и др. Выполняются также работы, связанные с удлинением рельсовых плетей, включая восстановление лопнувших, усиление изолирующих стыков, сварку со стрелочными переводами с неподвижными сердечниками крестовин, уложенными на железобетонных брусках, сварку стыков в пределах стрелочного перевода.

Средний ремонт пути предназначен в основном для оздоровления балластной призмы за счет сплошной очистки щебеночного балласта (или обновления загрязненного балласта других видов) на глубину от 25 до 40 см, зависящую от класса пути и вида балласта. Ремонт назначается на участках, где не требуется изменять отметку пути или ее изменение не потребует срезки балластной призмы.

Кроме этого, при среднем ремонте производится: оздоровление сварных стыков и стыков в уравнительных пролетах с правкой искривленных концов рельсов и их наплавкой, а при необходимости вырезкой или заменой; замена негодных шпал и скреплений; добавление (при необходимости) в путь балласта; снятие регулировочных прокладок при железобетонных шпалах; сплошная выправка пути; смазка и закрепление клеммных, закладных и стыковых болтов; вы-

правка проектных очертаний круговых и переходных кривых; ремонт переэздов; очистка кюветов и других водоотводных сооружений; планировка обочин; шлифовка рельсов и др.

✓ **Подъемочный ремонт пути** предназначен для периодического восстановления необходимой равноупругости и равнопрочности пути за счет проведения сплошной подьемки (до 4—5 см) и выправки пути с подбивкой шпал, улучшения дренирующих свойств балласта в местах выплесков и одиночной замены дефектных элементов верхнего строения пути.

В состав работ при подъемочном ремонте пути, кроме сплошной выправки, входят: очистка загрязненного щебня (или замена балласта других видов) в шпальных ящиках в местах выплесков на глубину не менее 10 см ниже подошвы шпал; одиночная замена негодных шпал в порядке и количестве, зависящих от группы и категории пути; замена скреплений, не обеспечивающих выполнение своих функций; снятие регулировочных прокладок на железобетонных шпалах; выправка в плане круговых и переходных кривых; удаление загрязнителей из-под подошвы рельсов; очистка кюветов и других водоотводных сооружений; правка стыков, шлифовка рельсов (при необходимости) и другие работы, связанные с повышением стабильности пути (при необходимости с добавлением балласта); комплекс работ, связанных с оздоровлением сварных стыков и стыков в уравнительных пролетах с заменой при необходимости дефектных рельсов.

10.5. ПЛАНИРОВАНИЕ РАБОТ ПО РЕМОНТУ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ

Периодичность ремонтных работ в соответствии с новой системой ведения путевого хозяйства установлена по классам и конструкции пути в зависимости от пропущенного тоннажа (табл. 10.5).

При этом в отличие от ранее действующей системы межремонтный тоннаж установлен только для усиленного капитального и капитального ремонтов пути. Указанные виды ремонта после пропуска нормативного тоннажа назначаются только в случае, если фактическое состояние пути отвечает критериям табл. 10.6 и 10.7. В противном случае они могут быть заменены другими видами ремонта.

Промежуточные виды ремонтов (между капитальными) назначаются только по критериям оценки фактического состояния пути (табл. 10.8 и 10.9). Они могут заменяться на менее трудоемкие виды ремонта, если к моменту их назначения основные критерии не достигли предельных величин. Замена одного вида ремонта другим утверждается начальником службы пути.

Таблица 10.5

Класс пути	Группа и категория пути	Периодичность ремонтов бесстыкового пути, млн т брутто	Схемы путевых работ в период между усиленными капитальными или капитальными ремонтами пути
1 и 2	A1, A2, A3	1400	УК-В-П-В-РС-В-П-В-УК
	A4	1500	
	A5	1600	
	B1, B2, B3	1400	УК-В-С-В-РС-В-С-В-УК
B4	1500		
B1, B2, B3	1400*		
	Г1, Г2, Д1	1 раз в 25 лет	УК-В-В-С-В-В-УК
3	A6, B5, B6	1200	К-В-П-В-РС-В-П-В-К К-В-В-С-В-П-К К-В-В-С-В-П-К
	B4, B5	700**	
	Г3, Г4, Д2, Д3, Д4	1 раз в 25 лет	
4	B6	1200**	К-В-В-РС-В-П-К К-В-В-С-В-П-К
	Г5, Г6, Д5, Д6	1 раз в 25 лет	
5	A7, B7, B7, Г7, Д7	1 раз в 30 лет	К-П-С-П-К

* Не реже 1 раза в 30 лет.

** Не реже 1 раза в 25 лет.

Примечания. 1. Условные обозначения: УК — усиленный капитальный ремонт пути; Р — сплошная замена рельсов; К — капитальный ремонт пути; С — средний ремонт пути; РС — сплошная замена рельсов, сопровождаемая средним ремонтом пути; П — подъемочный ремонт пути; В — плано-предупредительная выправка пути с применением комплекса машин.

2. Нормы усиленного капитального, капитального ремонта пути и других видов ремонтно-путевых работ увеличиваются на 15 % на участках, где уложены рельсы Р75

Таблица 10.6

Группа и категория пути	Критерии назначения усиленного капитального ремонта бесстыкового пути		
	Основной критерий	Дополнительный критерий	
		Одиночный выход рельсов (в сумме за срок службы — в среднем на участке ремонта), шт./км	Количество негодных элементов, %
	Шпалы		Подкладки и закладные болты (в сумме)
A1 — A5	3 и более	3	15
B1 — B4	4 и более	4	20
B1 — B3	6 и более	6	25
Г1, Г2, Д1	8 и более	6	25

Таблица 10.7

Группа и категория пути	Критерии назначения капитального ремонта бесстыкового пути	
	Основной критерий	Дополнительный критерий
	Одиночный выход рельсов (в сумме за срок службы — в среднем на участке ремонта), шт./км	Количество негодных подкладок и закладных болтов (в сумме), %
A6, B5, B6	5 и более	10
B4 — B6	8 и более	12
Г3 — Г6	10 и более	15
Д2 — Д6	Не лимитируется	
Приемоотправочные и сортировочные пути, а также пути 5-го класса	Капитальный ремонт назначается начальником службы пути на основе заявки начальника дистанции пути	

Таблица 10.8

Класс, группа и категория пути	Критерии назначения среднего ремонта бесстыкового пути			
	Основные критерии		Дополнительные критерии	
	Засоренность щебня, %, по массе	Количество шпал с выплесками, %, более	Количество негодных	
шпал, %, более			скреплений в сумме*, %, более	
1A1—1A3, 2A4—2A5	20	3	2	8
1B1, 1B2, 2B3, 2B4	20	4	3	10
1B1, 1B2, 2B3	20	4	4	12
1Г1, 2Г2, 2Д1, 3A6, 3B5, 3B6, 3B4—3B6, 3Г3, 3Г4	20	4	4	15
3Д2, 3Д4, 4Г5, 4Г6, 4Д5, а также приемоотправочные пути	25	4	5	20
Пути 5-го класса	Не лимитируется			
	Назначается по усмотрению начальника дистанции пути			

* При определении количества дефектных скреплений учитываются подкладки и закладные болты.

Т а б л и ц а 10.9

Класс, группа и категория пути	Критерии назначения подъемочного ремонта на участках бесстыкового пути			
	Основной критерий		Дополнительные критерии	
	Количество отступлений ¹ , шт /км		Количество шпал с выплесками	Количество негодных скреплений ²
	2-й степени	3-й степени		
1А1А3, 2А4, 2А5, 1В1, 1В2, 2В3, 2В4, 1В1, 1Г1, 2В2, 2В3, 2Г2, 2Д1	Более 25	Более 3	2	10
3А6, 3В5, 3В6, 3Д2, 3В43В6, 3Г33Г6, 3Д33Д5, (исключая приемоотправочные пути)	Более 25	Более 5	4	15
Приемоотправочные и сортировочные пути	—	Более 5	6	20

По усмотрению начальника дистанции пути

¹ По показаниям вагона-путеизмерителя в течение 3 мес, ремонт назначается также на километрах, получивших неудовлетворительную оценку 2 мес подряд или более 3 мес. в течение года.

² При определении количества дефектных скреплений учитываются резиновые прокладки, подкладки, пружинные шайбы. Подсчет процента негодных скреплений ведется с учетом применения для подрельсовых прокладок и пружинных шайб коэффициента 0,6.

На участках пути, где нормативы межремонтных сроков исчисляются годами, допускается по истечении нормативного срока, но недопущении нормативного тоннажа по рельсам, замена усиленного капитального и капитального ремонтов на усиленный средний или средний ремонт по результатам комиссионного осмotra под председательством представителя службы пути при условии обеспечения установленных скоростей движения на период, равный половине срока между усиленными капитальными или капитальными ремонтами по состоянию скреплений.

Нормы периодичности ремонтно-путевых работ могут изменяться, учитывая ряд факторов, влияющих на обеспечение стабильности пути. Так, они уменьшаются: для главных путей, на которых ранее был уложен щебеночный балласт из слабых горных пород, — на 20 %, если он не был заменен на глубину, соответствующую классу пути по табл. 10.4; на участках, расположенных в пределах 200 км от мест загрузки маршрутов углем, рудой, удобрениями, торфом, на каждый 1 млн. т сыпучих грузов (торфа — 0,3 млн. т) — на 1 %, но в сумме

по этому фактору не более чем на 15 %; на участках применения рекуперативного торможения — на 15 %; при средней длине рельсовой плети на участках бесстыкового пути менее 500 м — на 10 %; от 501 до 700 м — на 5 %; при суммарной толщине слоя очищенного и вновь добавленного щебня под шпалой менее 25 см на деревянных и 30 см на железобетонных шпалах — на 15 %; при толщине этого слоя менее 15 см — на 25 %; при невыполнении работ по шлифовке рельсов в период между усиленными капитальными ремонтами (капитальными) — на 15 %; при выполнении только одной шлифовки — на 5 %.

При наличии нескольких понижающих факторов норма уменьшается на 5 % от каждого из них, но в сумме не более чем на 30 %.

Впервые в общую ремонтную схему включена как составная часть общего комплекса путевых работ планово-предупредительная выправка при текущем содержании.

Новая система позволяет осуществить более гибкое планирование работ по оздоровлению пути, приближенное к его фактическому состоянию, обеспечивающее рациональное распределение ресурсов железных дорог.

При рассмотрении критериев назначения усиленного капитального и капитального ремонтов пути по табл. 10.6 и 10.7 одиночный выход рельсов определяется без учета их выхода в уравнильных пролетах. Для определения процента негодных элементов скреплений на каждом километре в его начале и середине производят их детальное обследование на двух произвольно выбранных отрезках пути длиной по 25 м.

Если оба дополнительных критерия окажутся меньше табличных на 1/3, то вместо усиленного капитального ремонта пути может быть назначена сплошная смена рельсов, сопровождаемая сопутствующими работами в объеме подъемочного или среднего ремонта.

На малодетальных путях с небольшим выходом рельсов капитальный ремонт пути планируют по дополнительным критериям, исходя из обеспечения безопасности движения поездов с установленными скоростями и затрат на текущее содержание пути на рассматриваемом участке.

Средний ремонт с глубокой очисткой балластной призмы может назначаться на участках 1-го и 2-го классов, где до этого был выполнен капитальный ремонт пути с укладкой новых материалов без глубокой очистки щебня, если на участке для полного его оздоровления

не должны выполняться работы в объеме усиленного среднего ремонта. При этом, если средний ремонт выполнен в период, когда пропущено менее половины нормативного тоннажа между усиленными капитальными ремонтами, принимается, что на пути произведен усиленный капитальный ремонт и в дальнейшем его эксплуатация ведется по обычной ремонтной схеме без учета понижающих факторов.

При численных значениях дополнительных критериев в пределах табличных начальник дистанции пути назначает либо подъемочный ремонт, либо планово-предупредительную выправку, а если за их пределами — средний ремонт пути. При значениях дополнительных критериев меньше табличных может назначаться планово-предупредительная выправка пути.

Если по основному критерию нельзя отдать предпочтение какому-либо участку, учитывают значения дополнительных критериев.

10.6. ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РАБОТ

10.6
10.6
10.6

Особенность бесстыкового пути заключается в действии в рельсовых плетях значительных продольных сил, зависящих от изменения температуры. При ее повышении по сравнению с температурой закрепления плети возникают продольные силы сжатия, создающие опасность выброса пути. При понижении температуры появляются растягивающие усилия, которые могут вызвать излом рельса или разрыв стыка из-за среза болтов.

Для обеспечения устойчивости рельсошпальной решетки при производстве путевых работ, связанных с понижением сопротивления ее поперечному сдвигу, сжимающие силы в рельсовых плетях и соответствующие им изменения температур нормируют. Наиболее жесткие ограничения по приращению этих температур установлены для двухферменных машин с подрезным ножом, очищающих щебень центробежным способом с подъемкой решетки до 40 см. Работы с применением таких машин разрешается производить при отклонении температуры плетей от температуры их закрепления всего на 5 °С в сторону повышения, при этом рекомендуется границы фронта работ назначать на уравнильных пролетах. Если указанные условия не выполняются,

то для обеспечения устойчивости пути необходимо провести разрядку напряжений в рельсах. Связано это с тем, что при использовании двухферменных машин, требующих большой подъемки пути, в конце фронта работ возникают значительные дополнительные сжимающие напряжения, которые могут быть погашены только в пределах уравнильного пролета при условии, что в нем имеются достаточные стыковые зазоры.

Указанные особенности работы щебнеочистительных машин с центробежной сеткой в определенной степени сдерживали внедрение рельсовых плетей неограниченной длины, существенно снижая эффективность применения бесстыкового пути. Современные машины с баровыми цепями (рис. 10.2) позволяют вести очистку балластной призмы с минимальной подъемкой пути, что дает возможность значительно расширить безопасный температурный диапазон при очистке балластной призмы на бесстыковом пути.

Путевые ремонтные работы, связанные с временным ослаблением устойчивости рельсошпальной решетки, разрешается производить, если отклонение температуры рельсовых плетей от температуры их закрепления в течение всего периода работ не превышает значений, указанных в табл. 10.10 и 10.11.

При температуре рельсовых плетей, превышающей температуру их закрепления на величину более нормативной, производить работы, связанные с ослаблением сопротивления бесстыкового пути боковому и вертикальному перемещению, не допускается. Выполнять такие работы летом следует утром или вечером и планировать их, руководствуясь прогнозами дорожных геофизических станций. Если имеется неотложная необходимость произвести работы при температурах выше нормативных, то до их начала нужно разрядить температурные напряжения.

Исправлять просадки, толчки и перекосы укладкой или заменой прокладок до 10 мм между подошвой рельсов и подкладками разрешается, если температура рельсовых плетей превышает температуру их закрепления менее чем на 15 °С. Клеммы при производстве этих работ снимать запрещается.

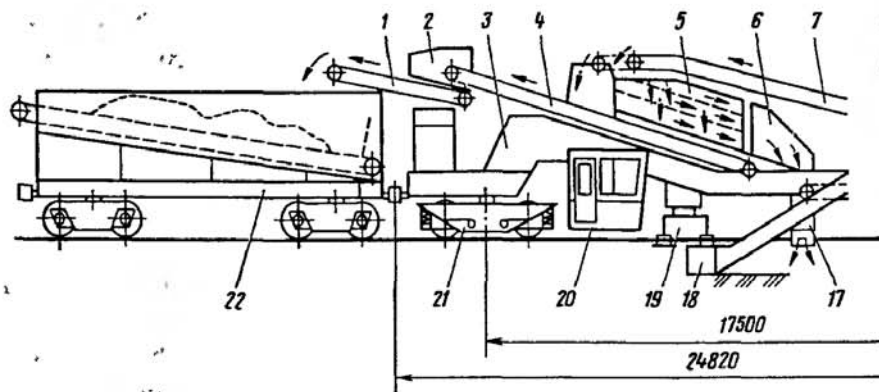


Рис. 10.2. Машина для глубокой очистки щебня СЧ-600:
 1 — поворотный ленточный транспортер; 2, 6, 8 — разгрузочные воронки; 3 — главная несущая транспортер подачи загрязненного балласта к грохоту; 4 — ленточный транспортер подачи загрязнителей; 5 — сетчатый грохот; 7 — ленточный транспортер подачи загрязненного балласта к грохоту; 9 — электропривод выгребного устройства; 10 — кабина с насосной станцией гидросистемы; 11 — локомотив; 12 — задняя не приводная тележка; 13 — ленточный поперечный транспортер; 14 — задний распределитель очищенного балласта; 15 — транспортер-накопитель; 16 — желоб выгребного устройства; 17 — передний распределитель очищенного балласта; 18 — боковое крыло; 19 — подъемное устройство; 20 — кабина управления; 21 — передняя приводная тележка; 22 — специальный подвижной состав для накопления засорителей

Одиночную смену подкладок, прокладок, клеммных и закладных болтов, пружинных шайб, клемм, костылей и противоугонов при температуре рельсов, превышающей температуру закрепления плети на 15 °С и больше, можно выполнять одновременно не чаще чем через 10 шпал.

Во избежание изменения установленных зазоров разбирать и ослаблять стыки на концах рельсовых плетей, а также между уравнительными рельсами при температурах, отличающихся от температуры закрепления плетей более чем на 5 °С, не рекомендуется. В случае особой необходимости разрешается разбирать стыки при температурах, отличающихся от температуры закрепления рельсовых плетей не более чем на 20 °С. При этом следует ожидать изменения зазора (при незамерзшем балласте) примерно на 1 см. Для восстановления нормального зазора с наступлением температур, близких к температуре закрепления рельсовой плети, конец ее на протяженности 40—50 м должен быть раскреплен и, после свободного изменения длины плети, вновь закреплен.

При отсутствии зазоров зажатый уравнительный рельс удаляют после вырезки его куса огневой резкой при закрепленных клеммных болтах.

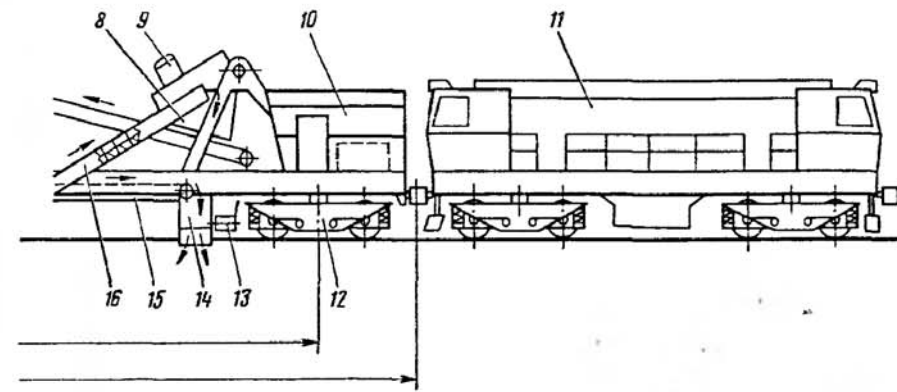


Рис. 10.3. Машина для глубокой очистки щебня СЧ-600:
 8 — ленточный транспортер подачи загрязнителей; 9 — электропривод выгребного устройства; 10 — кабина с насосной станцией гидросистемы; 11 — локомотив; 12 — задняя не приводная тележка; 13 — ленточный поперечный транспортер; 14 — задний распределитель очищенного балласта; 15 — транспортер-накопитель; 16 — желоб выгребного устройства; 17 — передний распределитель очищенного балласта; 18 — боковое крыло; 19 — подъемное устройство; 20 — кабина управления; 21 — передняя приводная тележка; 22 — специальный подвижной состав для накопления засорителей

При работе двухферменных щебнеочистительных и балластировочных машин предельная высота подъема рельсошпальной решетки не должна превышать 35 см. Начало и конец работы этих машин, как уже было сказано, планируют в зонах уравнительных пролетов. В случаях окончания работ вне уравнительных пролетов до подхода к месту разрядки сетки и ножа необходимо произвести ослабление гаек клеммных болтов на участке длиной 150 м (или до ближайшего уравнительного пролета), не подлежащем очистке балласта в данное "окно". Опускание решетки начинают за 60—70 м до места разрядки так, чтобы высота ее вывешивания стала, по возможности, минимальной и не превышала 25 см. На указанном участке в период "окна" следует произвести усиленную дозировку балласта по концам шпал.

После окончания работ необходимо проверить положение плети по "маячным" шпалам (рис. 10.3) или поперечным створам и, если на отдельных участках изменения длины между соседними контрольными сечениями превышают 10 мм, провести разрядку напряжений, восстановив температурный режим работы плети.

Таблица 10.10

Путевые работы	Шпалы	Пределная высота подъема или размер сдвижки при рихтовке, см	Допускаемое превышение температуры рельсов, °С, относительно температуры закрепления для плети						
			с раздельными креплениями			с костыльными креплениями			
			в прямом участке	в кривой радиусом, м			в прямом участке	в кривой радиусом, м	
				800 и более	600—799	350—599		800 и более	600—799
Исправление просадок, толчков и перекосов с вывеской путевой решетки домкратами	Деревянные или железобетонные	2	20	15	10	5	15	10	5
Вывеска решетки домкратами	То же	6	15	10	5	5	10	5	5
Рихтовка гидравлическими приборами	"	1	15	15	10	5	15	10	5
		6	15	10	5	5	10	5	5
Вырезка балласта до уровня подошвы шпала на длине пути до 25 м	Деревянные	0	15	10	5	5	15	10	5
	Железобетонные	0	20	15	10	5	—	—	—
Однорядная смена шпала с вывеской решетки до 2 см при условии, если между одновременно заменяемыми шпалами расположено не менее 20 прикрепленных шпал. Одновременная смена не более четырех смежных шпал без вывески пути при условии, если между ослабленными зонами расположено не менее 20 прикрепленных шпал	Деревянные или железобетонные	2	20	15	10	5	15	10	5
	То же	2	15	10	5	5	10	10	5

Таблица 10.11

Машины, работающие на пути	Допускаемое отклонение температуры рельсовых плетей с раздельным креплением, °С, от температуры закрепления в сторону			
	повышения		понижения	
	в прямых и кривых радиусом более 800 м	в кривых радиусом 800 м и менее	в прямых и кривых радиусом более 800 м	в кривых радиусом 800 м и менее
Щебнеочистительные баровые:	15	10	25	20
ЩОМ-6Б, СЧ-600, СЧ-601, СЧУ-800, РМ-76, РМ-80, ОТ-800, ОТ-400				
Щебнеочистительные роторные:	20	20	25	20
ЩОМ-6Р, УМ-М, ЩОМ-4 и ЩОМ-4М без использования подрезного ножа				
Щебнеочистительные с подрезным ножом и РФУ*:	15	10	25	20
ЩОМ-Д, ЩОМ-4, ЩОМ-4М				
Щебнеочистительные с подрезным ножом без РФУ:	5	0	25	20
ЩОМ-Д, ЩОМ-4, ЩОМ-4М				
Балластировочные и рихтовочные:	5	0	25	20
ЭЛБ-1, ЭЛБ-3, ЭЛБ-1Р, ЭЛБ-3МК, Р-2000, Р-02, ПРБ				
Выправочно-подбивочные:	15	15	25	20
ВПО-3000, ВПР-1200, ВПР-02, ВПРС-500, ВПРС-02, ВПР-03, "Дуоматик", "Унимаг"				
Динамические стабилизаторы	20	20	25	20

* РФУ — рихтовочно-фиксирующее устройство.

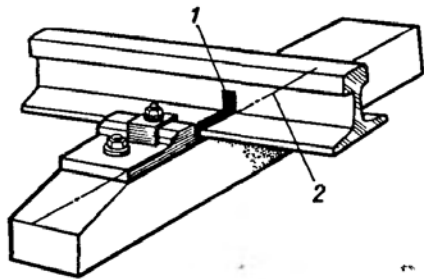


Рис. 10.3. "Маячная" шпала для контроля смещения рельсовой плети:
1 — риска; 2 — линия совмещения риски с кромкой подкладки

При работе щебнеочистительных машин с баровым рабочим органом высота подъема рельсошпальной решетки не должна превышать 10 см. Если очистка заканчивается вне уравнильных пролетов, за 25—30 м до места демонтажа подпутной балки производят постепенное опускание путевой решетки до 4—5 см. Во время работы дозировку регулируют так, чтобы максимально возможный объем щебня поступал на концы шпал, и формировалось плечо балластной призмы не менее 15—20 см,

в кривых радиусом менее 1200 м большая часть дозируемого балласта направляется на наружную нитку, где плечо призмы должно составлять 30—35 см.

При работе роторных машин внутренние стенки траншеи, не подлежащей засыпке в это же "окно", должны находиться от торцов шпал не ближе 30 см.

Разрядка внутренних температурных напряжений в рельсовых плетях производится: при вводе в расчетный интервал температур рельсовых плетей, уложенных (или сваренных) вне расчетного интервала; накануне выполнения путевых работ, уменьшающих боковую устойчивость бесстыкового пути в летнее время года, например, при сплошной очистке щебеночного балласта щебнеочистительной машиной, сплошной выправке пути с подъемкой и др., производимых при температуре рельсов, превышающей допустимую; при обнаружении признаков, могущих привести к потере устойчивости бесстыкового пути в процессе эксплуатации, например, при внезапном появлении угла (углов) в плане в жаркую летнюю погоду.

Величина удлинения или укорочения плети (уравнильных рельсов) ΔL , м, уложенной при температуре вне расчетного интервала, при вводе ее в расчетный интервал температур (разрядке температурных напряжений) определяется по формуле

$$\Delta L = L (t_3 - t_y) \alpha, \quad (10.1)$$

где L — длина плети, м; t_3 — расчетная температура рельсов при закреплении плети на постоянный режим работы (устанавливается дистанцией пути в зависимости от ее регионального расположения), °С; t_y — температура рельсовой плети в момент ее первоначальной укладки, °С; $\alpha = 0,0000118$ — коэффициент температурного расширения рельсовой стали.

При работах по вводу плетей в расчетный интервал температур должны быть соблюдены требования по равномерности распределения внутренних температурных напряжений по длине каждой плети и плетей по одной и другой рельсовым нитям (разница в температурах плети по ее длине за период закрепления на постоянный температурный режим работы должна быть не более 3 °С, а в температурах плетей по одной и другой нитям — не более 5 °С).

Если плети были уложены при температуре меньше расчетной без принудительного ввода в расчетный интервал температур (например, осенью), то в целях предупреждения выброса пути ввод их в расчетный интервал температур в весенний период должен начинаться с тех плетей, у которых разница расчетной и фактической температур закрепления наибольшая.

Возможны два варианта выполнения работ по вводу плетей (разрядке в них температурных напряжений) в расчетный интервал температур: раскрепление плети, начиная с одного ее конца, сопровождаемое сменой уравнильных рельсов (или рельса) с этого же конца; одновременное раскрепление плети с двух сторон, начиная с ее концов, сопровождаемое необходимостью смены уравнильных рельсов с обоих концов плети.

Для уменьшения сил трения плети по подкладкам применяют либо подвесные ролики, конструкция которых не препятствует пропуску поездов, либо устанавливают на подкладки скользящие пары или катучие опоры (установка катучих опор производится в "окно", до закрытия движения поездов она не допускается). После вывески плети она встряхивается ударным прибором.

В процессе работ измеряется фактическая температура рельсов и производится контроль полного изменения длины плети по концам, а также равномерность снятия напряжений по длине плети — по смещению рисков, нанесенных по подошве рельса над "маячными" шпалами.

При несоответствии изменения длины плети расчетным значениям или неравномерном смещении промежуточных рисков определяются и устраняются причины, препятствующие полному снятию напряжений, — недостаточно ослабленные болты, перекошенные подкладки, недодовешивание плети на опорах. Особое внимание этим обстоятельствам уделяется при выполнении работ в кривых участках. Если после устранения указанных причин не удастся получить расчетное изменение длины плети как в целом, так и по отдельным створам, производят регулировку ее установки с помощью ударного прибора с перемещением его вдоль плети от середины к концам при снятии сжимающих напряжений и наоборот при растягивающих.

Работы по разрядке температурных напряжений в рельсовых плетях (или ввод плетей в расчетный температурный интервал при условии выполнения работ при температуре рельсов, равной расчетной)

производятся в "окно" с ограждением места работ сигналами остановки. Руководить работами должен работник дистанции пути по должности не ниже дорожного мастера.

Порядок выполнения работ следующий: за один-два дня до их производства определяют величину изменения длины плетей с учетом ожидаемой температуры воздуха во время разрядки и подготавливают укороченные (удлиненные) уравнительные рельсы, и перевозят их к месту укладки; выбирают способ и технологию разрядки напряжений в зависимости от длины рельсовых плетей, наличия рабочей силы, продолжительности "окна".

В день "окна" (до его начала) на "маячных" шпалах через 50 м наносят дополнительные временные риски для возможности контроля по ним за равномерностью разрядки напряжений по длине плети; снимают пятый и шестой стыковые болты и ставят на оставшиеся болты дополнительные шайбы в стыках сменяемых уравнительных рельсов.

В "окно" заменяют уравнительные рельсы на укороченные (рис. 10.4); начиная от конца плети, снимают клеммные болты и на каждой 15-й шпале на подкладку (после снятия регулировочных прокладок) устанавливают ролики, представляющие собой стержни длиной 125 мм и диаметром 20 мм. По достижении расчетного удлинения плети, определяемого по временным рискам на "маячных" шпалах, ролики снимают; уравнительные рельсы скрепляют накладками с плетью; устанавливают все клеммы и клеммные болты и, если затяжка гаек болтов производится вручную, то сначала гайки затягивают на каждой шестой шпале с усилием 200 Н·м (20 кгс·см) и перегон открывают для движения поездов со скоростью 25 км/ч; затяжку гаек на остальных клеммных болтах производят в интервалы времени между поездами. После закрепления всех болтов отменяют предупреждение об уменьшении скорости движения поездов.

Если подлежащий замене рельс зажат и извлечь его не представляется возможным, из него вырезают с помощью бензореа кусок длиной 10—15 см. При этом вначале вырезают головку рельса, затем подошву и далее шейку. Вытаскивать зажатый рельс из пути категорически запрещается, так как это может привести к тяжелым травмам.

По окончании основных работ сменные уравнительные рельсы дрезиной (мотовозом) увозят на станцию.

Состав бригады монтеров пути при разрядке напряжений в плетях устанавливается дистанцией пути в зависимости от длины плети и продолжительности "окна".

Способ односторонней разрядки плетей (с одного конца) по сравнению с двусторонней разрядкой (в обе стороны от концов) целесообразен при длине плетей менее 500—600 м с расчетным их удлинением до 180—200 мм.

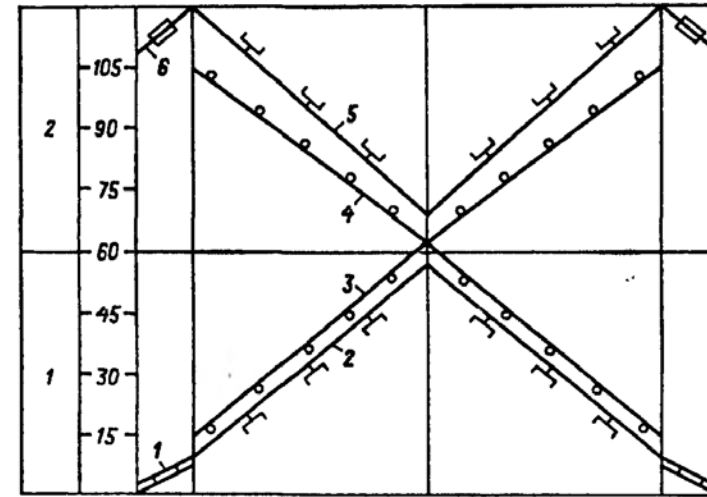


Рис. 10.4. График основных работ по разрядке температурных напряжений в рельсовой плети длиной 800 м с постановкой ее на ролики. Работы выполняют две бригады по 14 монтеров пути (м.п.) — каждая на своей половине плети:

1 — замена уравнительных рельсов на укороченные, установка обводных перемычек (14 м.п. № 1—14); 2 — снятие клеммных болтов (10 м.п. № 5—14); 3 — установка роликов на каждой 15-й шпале (4 м.п. № 1—4); 4 — снятие роликов (4 м.п. № 1—4); 5 — затяжка гаек клеммных болтов на каждой шестой шпале (10 м.п. № 5—14); 6 — установка накладок и сболчивание стыков, снятие обводных перемычек (4 м.п. № 1—4)

Работы по введению плетей в расчетный температурный интервал с использованием гидравлического натяжного устройства (ГНУ) типа ТН-70, СНП-80-500 или других выполняются при температуре рельсов ниже расчетной температуры закрепления.

Перед началом работ должны быть выполнены расчеты по определению изменения длины плети ΔL и прилагаемого растягивающего усилия P , необходимого для удлинения плети (или полуплети). Удлинение плети определяется по формуле (10.1), а растягивающее усилие

$$P = \alpha E F \Delta t, \quad (10.2)$$

где E — модуль упругости рельсовой стали ($E = 2,1 \cdot 10^7$, Н/см²); F — площадь поперечного сечения рельса типа Р65 ($F = 82,65$ см²); Δt — разница между ожидаемой на время "окна" и расчетной температурой плети при закреплении ее на постоянный режим работы.

Для обеспечения неподвижности уравнительных рельсов с обеих сторон от удлиняемой плети должны находиться анкерные участки. Рельсовые стыки, расположенные в пределах анкерных участков и прилегающие к ним, должны обеспечивать нормативное стыковое сопротивление продольному перемещению рельсов R (для рельсов типа Р65 $R = 400$ кН), что достигается затяжкой гаек стыковых болтов крутящим моментом, равным 600 Н·м.

Длина анкерного участка со стороны подвижного конца плети, м, определяется по формуле:

$$\lambda_1 = P/r, \quad (10.3)$$

где $r = 25 \text{ кН/м}$ — погонное сопротивление рельсов продольному перемещению.

Для обеспечения значения $r = 25 \text{ кН/м}$ необходимо, чтобы гайки клеммных и закладных болтов на уравнительных рельсах со стороны подвижного конца рельсовой плети (в месте установки ГНУ) на длине анкерного участка имели усиленную затяжку ($M = 220 \div 240 \text{ Н}\cdot\text{м}$).

Длина и место расположения анкерного участка со стороны неподвижного конца рельсовой плети определяются исходя из следующих условий:

1) если $P < R_H = 400 \text{ кН}$, то гайки клеммных и закладных болтов подтягивают на уравнительных рельсах со стороны неподвижного конца плети до значения $M = 220 \text{ Н}\cdot\text{м}$ на длине, м

$$\lambda_2 = P t_p / r; \quad (10.4)$$

2) если $P \geq R_H = 400 \text{ кН}$, то закрепляется неподвижный конец самой рельсовой плети ($M = 220 \text{ Н}\cdot\text{м}$) на длине

$$\lambda_3 = (P - R_H) / r + l \quad (10.5)$$

и прилегающие к нему уравнительные рельсы на длине

$$\lambda_2 = P/r - \lambda_3. \quad (10.6)$$

Для контроля равномерности удлинения плети на подошву рельса в створе с краем подкладки через каждые 50 м наносят риски, расчетное перемещение которых

$$\Delta a_i = \alpha a_i \Delta t, \quad (10.7)$$

где a_i — расстояние от неподвижного конца плети до i -й риски (50, 100, 150 м и т.д.).

В подготовительный период выполняют следующие работы: определяют расчетное удлинение плети ΔL и в соответствии с ним заготавливают укороченный уравнительный рельс (рельсы); везут укороченный уравнительный рельс на место работ; производят регулировку зазоров соответственно температуре рельсов; исходя из ожидаемой температуры рельсов на день "окна" вычисляют по формулам (10.2) — (10.7) остальные необходимые параметры.

В день производства работ до "окна" — закрепляют анкерный участок со стороны неподвижного конца плети; наносят риски через 50 м; после ограничения скорости до 25 км/ч на каждой 15-й шпале устанавливают подвесные ролики (рис. 10.5).

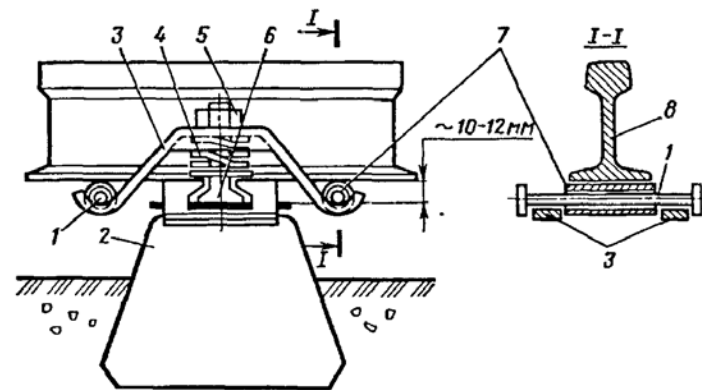


Рис. 10.5. Подвесные ролики для разрядки напряжений в плетях без перерыва движения поездов:

1 — ось ролика; 2 — железобетонная шпала; 3 — коромысло; 4 — дополнительная двухвитковая шайба; 5 — гайка; 6 — клеммный болт; 7 — трубка ролика; 8 — рельс

В "окно" заменяют уравнительный рельс со стороны удлиняемого конца плети на укороченный, закрепляют анкерный участок; ослабляют гайки клеммных болтов, вывешивают плеть и встряхивают ее ударным прибором. Полноту разрядки оценивают по общему изменению длины плети $\Delta l = L (t_y - t_p) \alpha$, где t_p — температура рельсов в данный момент. Равномерность разрядки оценивают по смещению рисков, которое определяется по формуле: $\Delta l = \alpha a_i (t_y - t_p)$, где a_i — расстояние от неподвижного конца плети до i -й риски (50, 100, 150 м). После монтажа ГНУ наносят новые риски на подошве рельса через каждые 50 м на расстоянии от края подкладок, определяемом по формуле (10.7), и производят растяжение плети. В процессе растяжения плети при необходимости (особенно на кривых участках) ее встряхивают ударным прибором. Когда зазор между плетью и укороченным рельсом сократится до необходимого значения, растяжение прекращают. Правильность выполнения работ контролируется по трем критериям: полному расчетному удлинению плети; соответствию расчетного усилия P [формула (10.2)] приложенному (по отсчету на приборе); расчетному смещению каждой из рисков (риски должны совпасть с краями подкладок). Перед демонтажем ГНУ закрепляют на шпалах "подвижный" конец плети ($M = 220 \text{ Н}\cdot\text{м}$) на длине $\lambda = P/r$: ставят накладку и сболчивают стык между плетью и укороченным рельсом; закрепляют плеть на каждой шестой шпале и открывают движение поездов со скоростью 25 км/ч; после окончательного закрепления плети на всех шпалах отменяют предупреждение об уменьшении скорости движения поездов.

Изготовление и доставка рельсовых плетей. Рельсовые плети изготавливают в специализированных рельсосварочных поездах (РСП), оснащенных соответствующим оборудованием для электроконтактной стыковой сварки. Для сварки используют новые рельсы длиной 25 м. Сварка из более коротких рельсов может быть допущена только по разрешению Департамента пути и сооружений МПС.

Плети, свариваемые из старогодных рельсов, должны по пропущенному тоннажу соответствовать требованиям, изложенным в табл. 10.3. Рельсы для сварки подбираются так, чтобы на длине 25 м было не более трех сварных кусков. Минимальная длина ввариваемого куска при этом не должна быть менее 3 м. Для путей 2-го и 3-го классов следует использовать рельсы длиной 25 м, у которых произведена обрезка концов с болтовыми отверстиями длиной не менее 600 мм. Длина рельсовых плетей должна соответствовать проекту с точностью до ± 30 мм. На концах рельсовых плетей в РСП просверливают три болтовых отверстия диаметром, соответствующим данному типу рельсов. Сварку плетей производят стационарными машинами МСГР-500, К-190, К-355, К-1000 в автоматическом режиме. Перед сваркой рельсы тщательно осматривают и, имеющие задиры, искривления в плане и продольном профиле и др. механические повреждения, а также изгибы более 0,5 мм на длине 1 м, отбраковывают. Концы рельсов тщательно подготавливают для сварки, зачищая контактные поверхности пазух рельсов под губки сварочной машины.

После сварки рельсов выдавленный металл (грат) по всему периметру рельсов удаляют в горячем состоянии гратоснимателями. Для восстановления твердости металла головки закаленных рельсов сварной стык подвергают местной термической обработке на автоматических установках, на которых вначале его нагревают, а затем принудительно охлаждают в зоне головки воздушно-водяной смесью. Повторный нагрев стыка с последующим естественным охлаждением позволяет восстановить структуру металла после сварки по всему сечению рельса и обеспечить его более надежную работу. Для контроля качества сварки машины последнего поколения (К-1000) оборудуются компьютерами, которые фиксируют и хранят все необходимые параметры ее режимов.

После закалки проверяют твердость, отклонение которой в зоне сварного стыка, по сравнению с основным металлом рельса по поверхности катания, не должно превышать 10 %. По окончании термообработки производят шлифовку сварного шва, удаляя оставшийся грат по всему периметру рельса, а затем — чистую шлифовку, при которой дополнительно обрабатывают поверхность катания и рабочие грани головки рельса с доводкой их очертаний до типового профиля. Обработанная поверхность сварных стыков должна быть чистой, без рако-

вин и заусенцев, а поверхность катания и боковые грани головки рельса — прямолинейными. Местные неровности допускаются не более 0,3 мм, а деформации в зоне сварных стыков — не более 0,5 мм на длине 1 м. Для улучшения геометрических параметров сварного стыка в настоящее время РСП оборудуют специальными обрабатывающими центрами, в которые входят пресс для правки стыка и станок для чистовой шлифовки, оснащенные микропроцессорами и лазером для съемки продольного и поперечного профиля головки рельса. Операции проводятся в автоматическом режиме, результаты фиксируются и хранятся в компьютере. Применение нового оборудования дает возможность довести геометрические параметры сварного стыка даже на рельсах, имеющих концевые неровности, до величин, позволяющих их использование на скоростных линиях.

Качество сварки каждого стыка проверяют ультразвуковым дефектоскопом. В случае обнаружения дефектов стык вырезается из плети и сваривается вновь.

На каждую изготовленную в РСП плеть заказчику выдается сертификат. Срок гарантии по качеству сварки установлен по пропущенному тоннажу и составляет для новых рельсов 150 млн. т брутто, для старогодных — 120 млн. т брутто, но не более 5 лет с момента поставки.

После изготовления на каждом конце рельсовой плети наносится разметка масляной краской на внутренней стороне шейки рельса: голубого цвета — для плети, сваренной из новых рельсов, и белого — для плети из старогодных рельсов. Маркировка делается в следующем порядке: номер РСП, номер плети по проекту, правая или левая плеть, длина плети в метрах с точностью до второго знака при температуре плюс 20 °С. Сварные стыки отмечают белой масляной краской полосой шириной 20 мм, наносимой на шейке и верхней части подошвы рельса на расстоянии 100 мм с обеих сторон от сварного шва.

Перевозку рельсовых плетей к месту укладки осуществляют на специальном составе, который состоит из 59 четырехосных платформ и одного пассажирского вагона для обслуживающего персонала. Наибольшая длина плети, перевозимой на поезде, составляет 800 м, одновременно может быть погружено 12 плетей при массе спецсостава 1990 т. Обслуживают состав 5 чел. Общая максимальная его длина — 871 м.

На спецсоставе перевозят и рельсовые плети, имеющие длину, меньшую, чем 800 м. Для этого короткие плети последовательно располагают на одном и том же роликовом ручье. На время транспортировки короткие плети соединяют типовыми накладками, скрепляя стыки четырьмя болтами.

Скорость движения поезда на прямых и кривых участках радиусом более 800 м допускается до 80 км/ч.

Все вагоны спецсостава оборудованы типовой автосцепкой, и, как правило, расцепка их не допускается. Для этого автосцепные головки оснащены специальными стопорными болтами, ключи от которых находятся у бригадира спецсостава.

Спецсостав имеет электростанцию мощностью 15 кВт, прожектор и электролебедку с тросом длиной не менее 800 м и полиспадом, которыми подтягивают погружаемые рельсовые плети к устройству для закрепления концов.

В хвостовой части спецсостава установлено специальное оборудование, обеспечивающее погрузку и выгрузку рельсовых плетей. Последняя платформа имеет два прочных наклонных металлических лотка, верхние концы которых надежно прикреплены к платформе, а нижние опущены к пути и находятся на высоте 0,26 м над поверхностью головок рельсов. Эта же платформа оборудована противокантовочными устройствами.

При погрузке плетей на состав, на передний конец надвигаемой плети устанавливают и закрепляют специальный "башмак", который направляет ее по роликовому каналу.

Кроме бригады, обслуживающей спецсостав, при выгрузке плетей работает путевая бригада в составе шести монтеров пути, возглавляемых бригадиром. До прибытия спецсостава к месту выгрузки плетей эта бригада укладывает в шпальные ящики (если путь на железобетонных шпалах) заранее подготовленные и развезенные маломерные старые шпалы через каждые 15 м и по четыре старогодных костыля. Это необходимо для временной пришивки выгруженных новых плетей во избежание их выброса за пределы габарита в случае резкого повышения температуры.

Рельсовые плети выгружают парами одновременно для правой и левой нитей, руководствуясь проектом. Для этого одни концы пары выгрузочных тросов специальными захватами прикрепляют к правой и левой рельсовым нитям пути, а другие концы этих же тросов, пропущенных через наклонные лотки и противокантовочные устройства, прикрепляют к правой и левой рельсовым плетям, подлежащим выгрузке. Одновременно концы этой же пары плетей освобождают от закрепления на головной платформе. Места установки рельсовых захватов определяет руководитель работ, который, зная точную длину выгрузочных тросов и места, где должны быть концы выгружаемых плетей, дает соответствующее указание о закреплении на подошвах рельсовой колеи правого и левого тросов.

После закрепления тросов состав плавно трогается с места стоянки и продолжает движение со скоростью 3 км/ч, пока концевые части плетей не пройдут противокантовочные устройства и наклонные лотки и не опустятся на шпалы в середине колеи. В это же время возможно точное совмещение концов выгружаемых плетей для соединения их с концами ранее уложенных в путь уравнильных рельсов.

Для этого пользуются винтовой стяжкой, вмонтированной в концы тросов вблизи рельсовых захватов. Два монтера пути пришивают выгружаемые плети к старым деревянным шпалам. Остальные монтеры пути снимают рельсовые захваты и грузят их с тросами на прицеп дрезины, прибывшей на место выгрузки плетей непосредственно вслед за спецпоездом. Далее рельсовые плети выгружают при движении поезда со скоростью 15 км/ч. Только перед окончанием выгрузки скорость движения поезда вновь уменьшают до 3 км/ч для того, чтобы плавно пропустить концы плетей через противокантовочные устройства и наклонные лотки. Для предотвращения падения концов выгружаемых плетей на железобетонные шпалы в этих местах также в шпальные ящики временно укладывают отрезки старых деревянных шпал, поверхность которых выше поверхности железобетонных, затем эти "коротыши" убирают и концы выгруженных плетей опускают на железобетонные шпалы. При выгрузке плетей в кривых учитывают "забег" концов внутренней плети и "отставания" наружной.

При пришивке выгруженных плетей бородки костылей не добивают на 10—15 мм к подошве рельса, чтобы при изменении температуры плети могли свободнее изменять длину без появления в них значительных продольных температурных сил и изгибов в плане. Среднюю часть плети пришивают к деревянным шпалам с полной добивкой костылей вплотную к подошве рельсов.

Концы выгруженных плетей ограждают предохранительными башмаками. Целесообразно для этой цели применять башмаки многоугольного пользования, изготовленные из листового железа толщиной до 1 мм, которые свободно надевают на головку и шейку рельса с торца плети и закрепляют на ней путевым болтом в отверстии шейки рельсов. Такие башмаки при изменении температуры рельсов перемещаются вместе с концами рельсовых плетей.

Технология усиленного и капитального ремонтов. Усиленный капитальный ремонт пути ведется последовательно в несколько этапов с помощью машинных комплексов (рис. 10.6). Если ремонт выполняется с заменой бесстыкового пути, как правило, в единую технологию входит этап сохранения старогодных плетей.

На Куйбышевской железной дороге разработали и применяют следующую технологию. Старогодные плети длиной до 800 м, сдвинутые внутрь колеи, грузят на платформы путеукладочного состава попарно в количестве шести штук. Четырехосные платформы оборудованы УСО и двумя дополнительными роликовыми обоймами, расположенными по оси портала. В состав включены: локомотив; моторная и роликовая платформы; роликовая платформа с противокантовочным устройством, которую устанавливают третьей от укладочного крана; роликовая платформа с замковым устройством для крепления плетей (она расположена второй от путеукладочного крана); передвижная противокантовочная тележка; направляющие салазки.

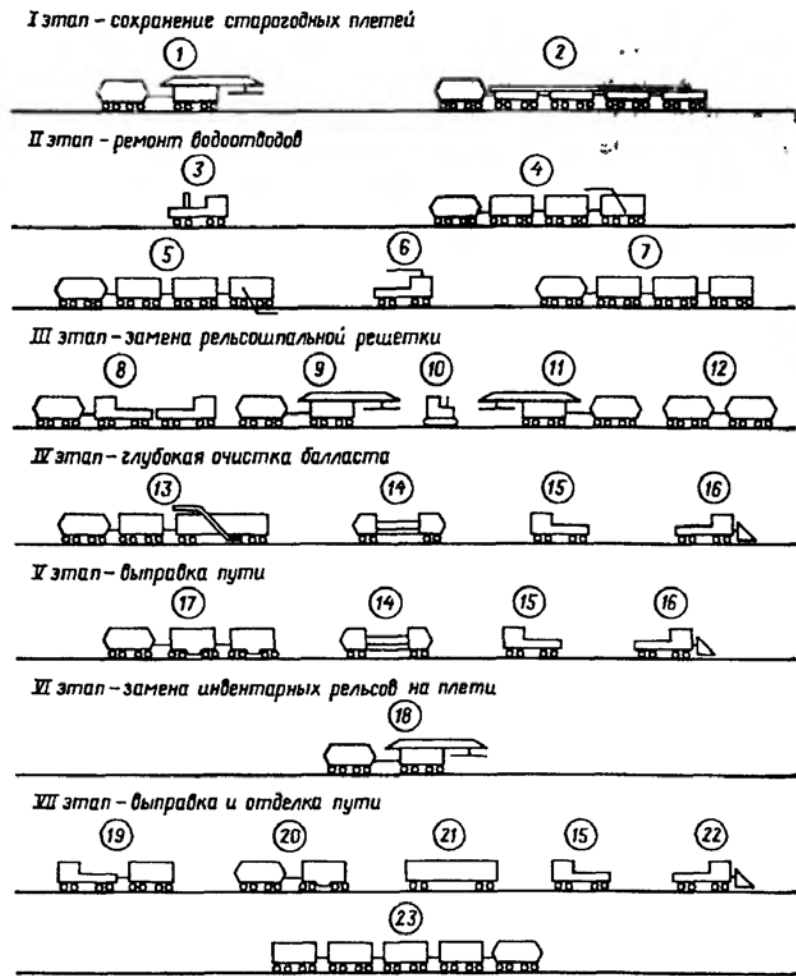


Рис. 10.6. Технологическая схема производства работ по усиленному капитальному ремонту бесстыкового пути машинными комплексами:

1 — замена старогодных плетей инвентарными рельсами краном УК-25/9-18; 2 — уборка плетей с перегоня; 3 — расчистка рабочих площадок от кустарника кусторезом; 4 — уборка с обочины лишнего балласта машиной СЗП-600; 5 — разработка траншеи машиной СЗП-600 для укладки лотков и дренажей; 6 — укладка лотков с помощью дрезины МПТ; 7 — засыпка траншеи дренирующим грунтом; 8 — подъемка рельсошпальной решетки с обрушением балласта в ящики; 9 — разборка рельсошпальной решетки краном УК-25/9-18; 10 — срезка верхнего слоя балласта бульдозером и БМС с образованием валов у торцов шпал; 11 — укладка рельсошпальной решетки краном УК-25/9-18; 12 — выправка пути машиной ВПО-3000; 13 — глубокая очистка балласта от засорителей машиной СЧ-600; 14 — выправка пути машиной ВПР-02; 15 — стабилизация пути динамическим стабилизатором ДСП; 16 — оправка балластной призмы планировщиком ПБ; 17 — выгрузка балласта из хоппер-дозаторов для выправочных работ; 18 — замена инвентарных рельсов на сварные плети; 19 — уборка лишнего балласта у опор контактной сети автомотрисой АГД; 20 — выгрузка щебеночного балласта для отделочных работ; 21 — выправка пути в плане и профиле машиной "Дуоматик" с постановкой его в проектное положение; 22 — отделка балластной призмы планировщиком ПБ; 23 — шлифовка рельсов рельсошлифовальным поездом РШП

Путеукладочным краном выгружают и устанавливают на путь передвижное противокантовочное устройство, которое с помощью металлической штанги прикрепляют к автосцепке крана. В противокантовочное устройство траверсой крана заправляют концы пары плетей. Далее кран с тележкой устройства надвигается на плети и их концы укладывают на подвижные салазки и крепят на них. Салазки — это перевернутое звено длиной 10 м с деревянными шпалами. Кран надвигается на плети, салазки передвигают по роликовому транспортеру, и плети со скоростью до 3 км/ч затягивают на состав. Концевые висячие части плетей окончательно затягивают на состав лебедкой МПД с помощью троса, соединенного с подвижной тележкой. Когда плети целиком лягут на платформу, их концы на салазках раскрепляют, салазки выдергивают из-под концов плетей и тросом путеукладочного крана возвращают на кран. Погруженные плети крепят в замковом устройстве. Все операции контролирует производитель работ или дорожный мастер. Три машиниста и четыре монтера пути в "окно" продолжительностью 4,5 ч грузят на состав три пары плетей. Затем их отвозят к месту последующей укладки.

При проектировании организации и технологии работ, связанных с глубокой очисткой щебня, следует учитывать происходящее при этом понижение отметок путевой решетки, зависящее от глубины очистки, степени загрязнения балласта и объема перерабатываемого щебня на 1 м пути. При средних условиях понижение отметок пути может составить: при глубине очистки 25—30 см — 3—6 см; 35—40 см — 8—12 см, 45—50 см — 14—16 см. Отводы продольного профиля при понижении отметок должны устраиваться в соответствии с требованиями Инструкции по обеспечению безопасности движения поездов при производстве путевых работ.

Для ускорения стабилизации пути после глубокой очистки или замены балластного слоя работы следует производить в два этапа. На первом этапе после глубокой очистки выправочные машины и динамический стабилизатор должны пропускаться без подъемки пути на отметках, которые заняла рельсошпальная решетка после очистки. На втором этапе те же машины пропускаются с подъемкой пути на добавленный балласт. При замене балласта выправка пути должна также вестись послойно с подъемкой пути на слой толщиной не более 20 см. Перед работой выправочного комплекса следует пропускать машину ВПО-3000, что позволяет ликвидировать пустоты в балластной призме и ускорить стабилизацию пути.

При работе выправочных машин и машин для глубокой очистки на участках, где уложен слой из геотекстиля или пенопласта, их рабочие органы должны проходить над поверхностью этих материалов на расстоянии 8—10 см.

Укладку плетей вместо инвентарных рельсов осуществляют не позднее, чем после пропуска 1 млн. т груза брутто, так как длительная эксплуатация инвентарных рельсов на железобетонных шпалах вызывает интенсивное расстройство основания в зоне стыков инвентарных рельсов. В качестве инвентарных применяют рельсы длиной 25 м, что позволяет сохранить высокий уровень скоростей движения (до 100 км/ч) при минимальных расстройствах пути. До окончания первого периода стабилизации (после пропуска 350—500 тыс. т груза брутто) путь должен быть поставлен в плане и профиле в проектное положение.

Замену инвентарных рельсов плетями бесстыкового пути осуществляют навесным или прицепным приспособлением. Навесное приспособление состоит из двух роликовых захватов, соединенных поперечиной, с помощью которых обе бесстыковые рельсовые плети поднимаются, разводятся и укладываются на рельсовые подкладки. Каждый роликовый захват состоит из двух вертикальных и двух горизонтальных роликов, охватывающих плеть. Это приспособление подвешивают на цепях к передней части стрелы укладочного крана (рис. 10.7) и соединяют тросом с автосцепкой. Грузовые тележки укладочного крана используют для погрузки инвентарных рельсов. Для безопасности работы на расстоянии 2 м от роликовых клещей на укладываемые плети устанавливают тележку на двух роликах, к которой подвешивают два соединенных между собой бруска из шпал, заведенных под плеть.

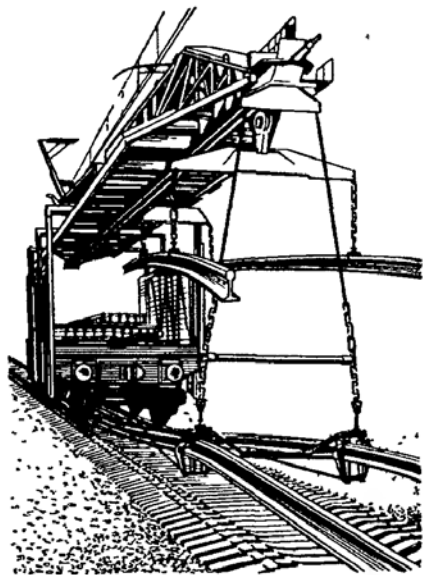


Рис. 10.7. Укладка рельсовых плетей краном с помощью навесного приспособления

Работа по замене инвентарных рельсов на бесстыковые плети производится циклически после освобождения от промежуточных и стыковых скреплений очередной пары инвентарных рельсов. Их грузят на кран, который перемещают, и одновременно с помощью навесного приспособления укладывают рельсовые плети на подкладки и прикрепляют к ним.

Прицепное устройство представляет собой салазку (рис. 10.8), на которой закреплены две пары роликов наружных 5 и внутренних 4, установленных на поперечных балках.

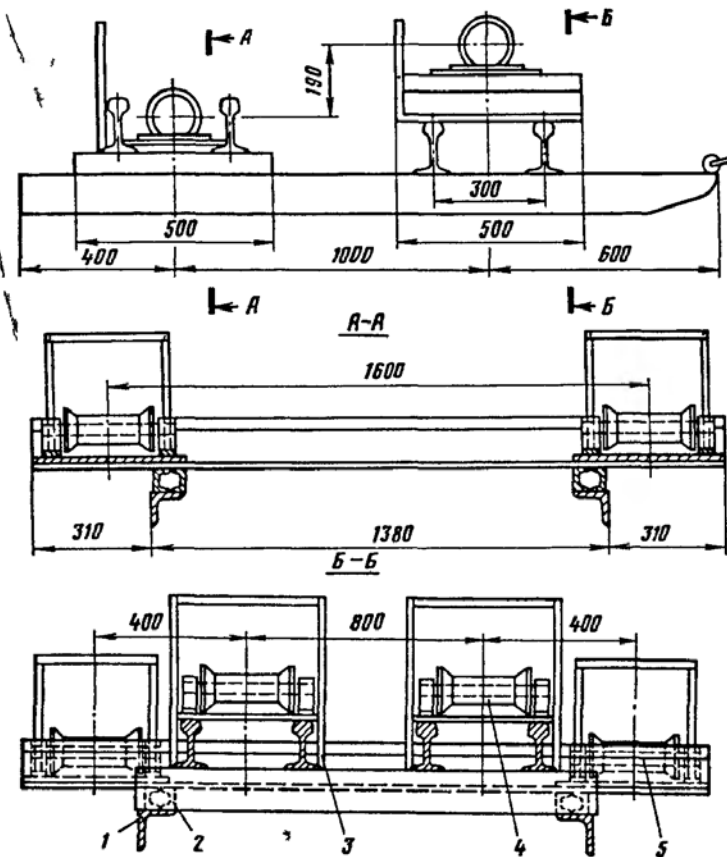


Рис. 10.8. Тележка для одновременной замены инвентарных рельсов на плети бесстыкового пути:
1 — полозья; 2 — полки; 3 — ограждающие опоры; 4 — ролики для сдвижки рельсов внутрь колеи; 5 — ролики для надвигки рельсов на подкладки

Перед началом работ салазки укладочным краном сгружают с платформы и концы плетей этим же краном укладывают на наружные ролики, а плеть из инвентарных рельсов — на внутренние ролики. Салазки, прицепленные тросами длиной 30—35 м к платформе МПД или укладочному крану, перемещаясь со скоростью 1—2 км/ч, сдвигают плети из инвентарных рельсов, соединенных накладками, внутрь колеи, а новые плети укладывают на подкладки на место инвентарных. Перед внутренними роликами расположены скалыватели для снятия прокладок, приставших к подошве рельса. Сопротивление перемещению салазок по подкладкам уменьшает смазка, поступающая из масленок. Монтеры пути прикрепляют клеммами вновь уложенные на подкладки плети, а также снимают накладки со сдвинутых внутрь

колеи плетей из инвентарных рельсов. Путеукладчик, передвигаясь по только что уложенным плетям, убирает инвентарные рельсы. Моторная платформа, передвигающаяся салазки, работает независимо от укладочного крана, убирающего инвентарные рельсы.

Преимущество салазок по сравнению с навесным устройством состоит в том, что ими можно произвести смену рельсовых плетей за короткий промежуток времени (15—20 мин), в течение которого практически не изменяется температурный режим, что обеспечивает возможность закрепления плетей при определенной температуре.

Если рельсовые плети закрепляют при температуре, соответствующей расчетному (по проекту) интервалу, то уравнивательные рельсы укладывают длиной 12,5 м. Если необходимо временно закрепить рельсовые плети при температуре, превышающей верхнюю границу расчетного интервала, то подготавливают и временно укладывают в уравнивательный пролет укороченные рельсы такой длины, чтобы при последующей разрядке температурных напряжений и закреплении плетей на постоянный температурный режим в расчетном интервале заменить их рельсами длиной 12,5 м.

Если необходимо закрепить укладываемые в путь рельсовые плети временно при температуре, выходящей за пределы нижней границы расчетного интервала, то в уравнивательный пролет временно укладывают одну пару уравнивательных рельсов длиной более чем 12,5 м (или две пары коротких рельсов общей длиной более 12,5 м) с тем же расчетом, чтобы при разрядке температурных напряжений и закреплении плетей на постоянный температурный режим в расчетном интервале заменить их уравнивательными рельсами длиной 12,5 м.

Руководителям работ выдают Журнал учета службы и температурного режима рельсовых плетей, в который при укладке плетей вносят температуру их закрепления и другие данные по графам журнала на каждую пару плетей и уравнивательных пролетов. Выписки из журнала не позже чем на второй день после укладки плетей дорожный мастер высылает в контору дистанции пути и вписывает бригадирам в книжки проверок пути.

При капитальном ремонте бесстыковой путь укладывают, используя сохраненные плети, или плети, сваренные из старогодных рельсов, головка которых обработана на стационарных станках строжкой или фрезеровкой. Сохраненные плети обрабатывают профильной шлифовкой после укладки или перед снятием с пути. Решение о сохранении плетей принимают на основе ее тщательного осмотра и проверки дефектоскопом с отметкой мест, подлежащих вырезке. Дефектные места вырезают после выгрузки плетей на участке смены и сваривают машиной ПРСМ. Шлифовку таких плетей следует производить после их укладки в путь на новом участке.

Технология среднего и подъемочного ремонтов бесстыкового пути. При очистке балласта машинами, не оборудованными выгребной цепью, рекомендуется с целью увеличения глубины вырезки в подготовительный период или в основное "окно" провести работы по срезке плеча балластной призмы. При отсутствии машин УМ или ЩОМ-Ф часть балласта может быть срезана быстроходными планировщиками с перемещением его на обочину полотна, в том числе из междупутья. С этой же целью следует использовать роторы, которыми оснащены машины ЩОМ-4 и ЩОМ-4М.

Для повышения производительности машин перед глубокой очисткой также рекомендуется выполнять предварительную вырезку щебня на плечах балластной призмы.

При выполнении подготовительных работ, связанных с вырезкой балласта на откосах призмы, ширина ее плеча должна быть на участках бесстыкового пути не менее 25 см, а уклон откоса не должен превышать 1:1. При этом скорость пропуска пассажирских поездов по такому пути должна быть не более 80 км/ч, а грузовых — 60 км/ч.

Перед глубокой очисткой балласта машинами с выгребной цепью для обеспечения устойчивости пути в процессе работы должно формироваться плечо призмы шириной не менее 25 см с засыпкой шпальных ящиков на 2/3 их высоты, а подъемка пути не превышать 5 см. В случае недостатка щебня, его следует выгрузить до работы машины в объеме, обеспечивающем формирование призмы с необходимым плечом и уклоном откосов.

Укладка пенопластовых плит производится во время глубокой очистки непосредственно под машиной двумя монтерами пути, которые заводят их со стороны обочины после вырезки балласта выгребной цепью. Плиты в необходимом количестве предварительно раскладывают вдоль пути до прохода машины. Геотекстиль раскатывают в путь с барабана, смонтированного на машине между подпутьной балкой и местом засыпки очищенного щебня.

Продолжительность "окна" при понижении отметок пути до 15 см должна обеспечивать фронт работ не менее 150—180 м. Понижение отметок пути более чем на 15 см не рекомендуется в связи с большим объемом повторных работ на отводах. Такие работы необходимо выполнять по индивидуальным технологическим схемам в "окно" продолжительностью 12—18 ч.

При выполнении среднего или подъемочного ремонта на асбестовом балласте используют электробалластер, струнками которого производят разрушение слежавшегося и частично загрязненного балласта под шпалами с выдавливанием его в шпальные ящики. До выполнения работ по досыпке нового балласта и выправке пути выдавленный балласт с засорителями должен быть убран с поверхности призмы.

Перед выправкой пути при подъемном ремонте необходимо снять регулировочные прокладки и ликвидировать выплески. С этой целью могут быть использованы машины для глубокой очистки балласта или специальные машины для ликвидации выплесков. На участках бесстыкового пути следует проводить сплошную очистку балласта в уравнильных пролетах и на протяжении 25 м от концов плетей. При усиленном среднем, среднем и подъемном ремонтах пути шлифовке должна предшествовать выправка стыков, в том числе и сварных, выполняемая с помощью передвижного пресса или специальной машины. Выправку стыков завершают до окончания первого периода стабилизации пути. До выправки стыков необходимо выполнить работы по их наплавке.

10.8. ТЕКУЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ

Технические осмотры. Осмотры проводят для того, чтобы проверить работу каждого элемента пути и сооружений, определить их состояние, износ и соответствие действующим нормам. По результатам осмотров планируют неотложные, первоочередные и предупредительные работы текущего содержания пути, сроки и виды необходимого ремонта.

При наружном осмотре выявляют целостность элементов верхнего строения пути, земляного полотна, сооружений, отсутствие загромождения пути. Прежде всего обращают внимание на провисание рельсов, резкие просадки, отбой рельсовых нитей, резкие углы и извилины в плане, слитые зазоры в стыках, угрожающие выбросом, и растянутые, приводящие к срезу болтов. Проверяют, нет ли в рельсах трещин и изломов, как закреплены стыковые, клеммные и закладные болты, отсутствуют ли просадки и разжижения балластного слоя и основной площадки земляного полотна, не заметно ли подмыва или сплыва откосов насыпей и выемок. Контролируют состояние лотков, кюветов, канав и других водоотводных сооружений. Особенно тщательно проверяют километры, где путь подлежит ремонту и могут возникнуть грубые неисправности, угрожающие безопасности движения.

К наружным осмотрам относятся также наблюдения за проходом подвижного состава на проверяемом участке, при которых можно выявить вертикальные и горизонтальные толчки, перекосы. Для вертикального толчка характерен сильный удар колесной пары при наличии рельсов с седловинами, вертикальными ступеньками или при растянутых зазорах, а также "ныряние" кузова вагона при резких просадках. При перекосах кузов вагона заметно покачивается сначала в одну и тут же в другую сторону, а при горизонтальных толчках кузов резко бросает в одну сторону.

Наряду с визуальным осмотром состояние пути проверяют, измеряя колею шаблоном, путеизмерительными тележками и вагонами, а также дефектоскопными средствами. В необходимых случаях приборами измеряют износ рельсов, проверяют положение пути в плане в кривых шнуром и линейкой.

Плотное опирание шпал на балласт — непереносимое условие стабильного положения пути в плане и профиле. Отрясение шпал возникает, как правило, в первую очередь в стыках, в том числе и в сварных. Если работы по подбивке такого участка длительное время не выполняются, число отрясанных шпал будет расти и в этих местах образуются потайные толчки, просадки, углы в плане, а при загрязненном балласте — выплески. Провис рельса над плоскостью всей подкладки, как правило, свидетельствует об отрясении шпал и должен ликвидироваться при первоочередных работах.

На участках с большой грузонапряженностью на железобетонных шпалах часто происходит излом подкладок, который в основном случается под средней частью подошвы рельса. Такие изломы (рис. 10.9) приводят к кромочному опиранию подошвы рельса и могут вызвать ее выкол. Излом трех подкладок КБ-65 подряд под наружной нитью кривой вызывает упругое отжатие головки рельса под поездом до 5—8 мм и, если их своевременно не заменить, происходит расстройство скреплений на соседних шпалах и уширение колес. При осмотрах изломившиеся подкладки обнаруживают обстукиванием.

Признаками, по которым может быть установлен угон пути, являются натирывы вдоль верхней грани подошвы рельса, оставляемые клеммами (рис. 10.10). При ослаблении закладных болтов наблюдается еще и сдвиг подкладок. Угон пути чаще проявляется на спусках и тормозных участках, особенно при использовании рекуперативного торможения. На двухпутных участках угон, как правило, совпадает с направлением движения поездов. На однопутных линиях направление угона совпадает с направлением большого грузопотока. В кривых

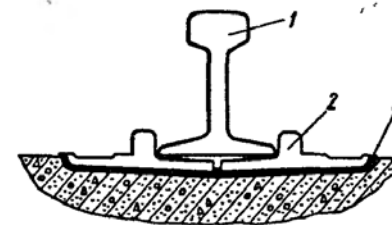


Рис. 10.9. Излом подкладки на железобетонной шпале:
1 — рельс; 2 — сломанная подкладка; 3 — резиновая прокладка

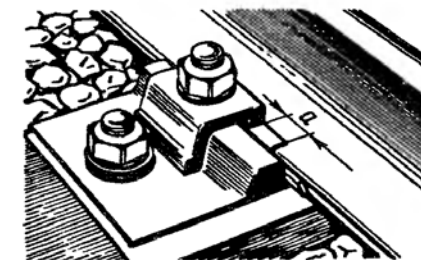


Рис. 10.10. След на подошве рельса от клеммы в результате сдвижки плиты:
a — величина сдвижки

угона наружной и внутренней нити может быть различен. Бывают случаи, когда рельсовые нити угоняются в разные стороны. Особенно неблагоприятный период года для устойчивого положения пути против угона — глубокая осень, когда наблюдаются значительные температурные деформации рельсов с одновременным резким увеличением жесткости пути из-за замерзания балласта. При этом следует учитывать, что асбестовый балласт замерзает значительно раньше щебеночного. Установив при осмотре пути признаки угона, необходимо проверить затяжку гаек закладных, клеммных и стыковых болтов. Угон пути, а также его сочетание с температурными силами, действующими в рельсах, могут вызвать потерю устойчивости пути.

При потере устойчивости бесстыкового пути выброс происходит всегда наружу кривой и вначале сопровождается поперечной сдвижкой решетки на отдельных коротких участках (8—12 м), концы которых остаются на месте. Непосредственно перед выбросом рельсы наружной нити кривой, лежащей на щебне, имеют отклонение от правильного положения на таком участке до 16—25 мм и его сравнительно легко обнаружить при осмотре. На асбестовом балласте отклонения достигают всего 5—6 мм и могут остаться незамеченными. В этом случае состояние пути, близкое к выбросу, устанавливают по совокупности косвенных признаков. Прежде всего обращают внимание на зазоры между кромкой подошвы рельса и внешней ребордой подкладки. Если их нет на 10—15 шпалах, лежащих подряд, при отсутствии слабо затянутых клеммных болтов, то это свидетельствует о значительных внутренних напряжениях в рельсах. При недостаточно затянутых закладных болтах и большом боковом давлении подошвы рельса могут наблюдаться некоторый перекос подкладок на шпалах и выдавливание резиновых прокладок у их торцов. Необходимо также по следам, оставленным клеммами на подошве рельса или по маячным шпалам, определить величину продольного перемещения рельса. При подвижке плети до 5 мм достаточно закрепить клеммные болты, а более 10 мм необходимо выполнить разрядку напряжений.

Внешним признаком нормальной затяжки гаек стыковых болтов служит плотное прилегание пружинной шайбы в месте сквозного паза к поверхностям накладки и гайки, поэтому шайбу при установке на болт желательно располагать пазом вверх.

Устойчивость колеи в кривых определяется прежде всего состоянием промежуточных скреплений. При необходимости регулировку ширины колеи на скреплении КБ производят укладкой резиновых напильных прокладок с несимметричными ребордами. Их применение позволяет изменить ширину колеи до 8 мм.

Стабильность ширины колеи на железобетонных шпалах значительно выше, чем на деревянных. Однако на длительно эксплуатируемых участках кривых радиусом менее 600 м в результате повышенной боковой жесткости пути со скреплениями КБ происходит постепенное

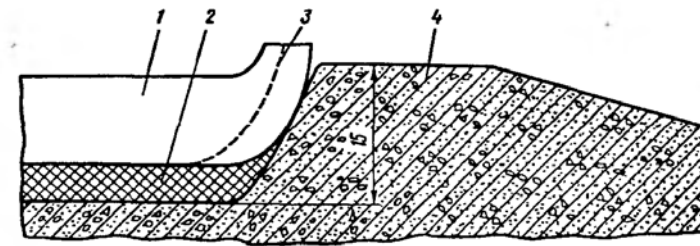


Рис. 10.11. Срез резиновой напильной прокладки: 1 — подкладка; 2 — напильная прокладка; 3 — положение подкладки до среза прокладки; 4 — шпала

разрушение резиновых прокладок в месте их контакта с наружной кромкой подкладки (рис. 10.11). Особенно интенсивно этот процесс протекает по наружным нитям кривых, где подкладки после разрушения резины упираются в бетон шпалы и скалывают его. Если своевременно не принять меры, то при дальнейшем отжатии рельсом подкладка, двигаясь в поперечном направлении, выползет из углубления в шпале и сломается под нагрузкой (рис. 10.12). В таких местах может возникнуть недопустимое уширение колеи.

Особенности выполнения работ. При обнаружении летом при жаркой погоде резкого угла в плане по обеим рельсовым плетям 10 мм и более на длине 10 м необходимо срочно оградить место неисправности сигналами остановки и выдавать предупреждение об ограничении скорости движения поездов для производства работ до 15 км/ч.

Недопустимо в таких условиях пытаться выправить путь рихтовкой, так как это не только не дает положительных результатов, а, наоборот, будет способствовать дальнейшему ослаблению устойчивости пути и его выбросу. Если в процессе осмотра будет установлено, что причиной образования угла явились температурные напряжения в плети, необходимо незамедлительно принять меры по их разрядке. До выполнения этих работ закрепляют клеммные и закладные болты в зоне образовавшегося угла и на подходах; при необходимости досыпают балласт в шпальные ящики и за торцы шпал.

Наиболее быстрым способом снятия напряжений служит разрезка правой и левой рельсовых плетей в середине искривления газопламенным резаком. Затем путь с разрезанными

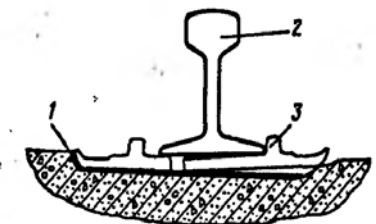


Рис. 10.12. Сдвиг подкладки по наружной нити кривой после скола бетона шпалы: 1 — резиновая прокладка; 2 — рельс; 3 — подкладка

концами рихтуют на ось, концы плетей соединяют типовыми накладками, которые стягивают четырьмя струбцинами, и после необходимой выправки пути открывают движение поездов со скоростью не более 25 км/ч. За стыком устанавливают постоянное наблюдение.

Далее рельсорезными станками производят вырезку рельса по длине взятого из покилометрового запаса. Пропилы должны располагаться не ближе 3 м от первоначального реза. Если угол образовался на расстоянии 100—150 м от уравнительного пролета, сразу производят разрядку плети с заменой одного из уравнительных рельсов на укороченный.

Два раза в год (весной и осенью) в плановом порядке сплошь смазывают резьбу болтов с отвинчиванием их гаек на пять-шесть оборотов одновременно подряд не более чем на восьми концах шпал. Выполняют эту работу при температуре рельсов, отклоняющейся от температуры закрепления плетей в сторону ее повышения не более чем на 15 °С. Наиболее эффективно производить эту работу моторными гайковертами. При отсутствии гайковертов эту работу выполняют путевой бригадой в составе шести монтеров пути и одного машиниста передвижной электростанции, применяя электрогаечные ключи. Одновременно со сплошной смазкой резьбы и закреплением болтов заменяют негодные пружинные шайбы, изолирующие втулки, прокладки и болты, поправляют сдвинувшиеся под подошвой рельсов прокладки или заменяют негодные новыми. Если же температура рельсов выше температуры закрепления плетей более чем на 15 °С, то замену деталей рельсовых скреплений выполняют поочередно только на одном конце через каждые 10 шпал. Качество и надежность закрепления гаек клеммных и закладных болтов выборочно проверяют динамометрическим ключом в процессе выполнения работы.

Особое внимание уделяют содержанию уравнительных пролетов, своевременно выполняя подбивку отрясенных шпал, закрепление гаек рельсовых скреплений, наплавку концов рельсов. Для обеспечения более устойчивой работы изолирующих стыков применяют клеболтовые стыки, стыки с композитными накладками.

При выправке бесстыкового пути машинами циклического действия для сохранения его устойчивости продолжительность обжима щебня под шпалами должна быть не менее 1,5—2,0 с. При применении динамического стабилизатора пути это время может быть уменьшено в 2 раза. В процессе подбивки высота заполнения шпальных ящиков не должна быть меньше 2/3 высоты шпалы. При необходимости до начала работ балласт выгружают на фронте выправки и заполняют шпальные ящики, используя планировщик балласта.

Для измерения температуры при работе на бесстыковом пути используют термометры ТР-4 и ТР-5, которые предназначены для измерения температуры рельсов. Оба термометра вмонтированы в метал-

лический корпус с прорезью, через которую просматриваются их показания. В нерабочем состоянии прорезь закрывается поворотным чехлом. Оба термометра крепятся на головку рельса с помощью пружинных захватов: ТР-4 только в вертикальном положении, а ТР-5 в горизонтальном. При этом должно быть обеспечено плотное прижатие датчика к поверхности рельса.

Рабочая жидкость градусника ТР-4 (толуол) окрашена в красный цвет, пределы измерения от минус 55 до плюс 55 °С. У ТР-5 рабочая жидкость — ртуть, пределы измерений от минус 35 до плюс 75 °С.

При перепаде температуры воздуха и рельса 20 °С процесс измерения градусниками должен составлять не менее 15 мин с момента установки на рельсе до взятия отсчета. Раз в два года градусники должны проверяться на контрольном пункте. Могут применяться градусники и других конструкций (пружинные, электронные и т.п.).

При низких температурах особенно тщательно следят за рельсами, поскольку значительно повышается хладоломкость металла; необходимо вовремя выявлять причины повышенного воздействия на рельсы подвижного состава, прежде всего в стыках, не допуская наличия растянутых зазоров, потайных толчков, просадок, неровностей поверхности катания в виде ступенек, седловин, изгибов концов, волнообразного износа.

В период высоких и низких температур начальник дистанции пути назначает дополнительные осмотры бесстыкового пути. В этот период особое внимание обращают на плети, закрепленные, соответственно, в нижней и верхней зоне расчетного температурного интервала.

С учетом температур планируют проведение работ по текущему содержанию пути, связанных с ослаблением его устойчивости.

Восстановление целостности рельсовой плети. При поперечных изломах рельсовой плети или при обнаружении в ней дефекта, требующего вырезки, восстановление плети производят в три этапа, соответствующих краткосрочному, временному и окончательному восстановлению (на период до 4 ч) в месте дефекта устанавливают шестидырные накладные струбцины (рис. 10.13) и пропускают поезда со скоростью: 40 км/ч — при зазоре в месте излома до 25 мм, 25 км/ч — при зазоре 26—40 мм с постоянным наблюдением за состоянием рельсов в месте излома.

Временное восстановление плети (на период до 6 мес.) производят вырезкой дефектного места с образованием отрезка длиной 8—11 м и уклад-

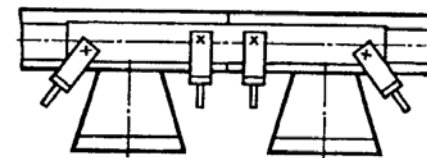


Рис. 10.13. Излом рельсовой плети, перекрытый накладками, стянутыми струбцинами

кой вместо него рельса такой же длины с болтовыми отверстиями из покилометрового запаса. Место излома плети вырезается рельсорезным станком с пропилом плети с двух сторон от излома, при соблюдении условий, чтобы пропилы располагались не ближе 3 м от места излома или дефекта и 2 м от сварного стыка, если он расположен вне вырезаемого куска плети. При этом учитывают, что при последующей обрезке концов плетей под сварку расстояние между имеющимися сварными стыками и новыми должно быть не менее 3 м. В противном случае такой стык вырезается вместе с изломанной частью плети.

Разница по высоте и по внутренней грани головки уложенного рельса и плети не должна быть более 1 мм; большую разницу устраняют: по высоте — установкой переходных накладок; по горизонтали — шлифовкой боковой грани головки рельса в месте ступеньки.)

Перед вырезкой места излома (дефекта) плети тщательно (20-метровой стальной рулеткой) измеряют длину рельса, подлежащего укладке в путь, и соответственно ей фиксируют на головке плети места пропила, если в месте излома имеется зазор. При отсутствии зазора, прежде чем выпиливать место излома, необходимо на протяжении 20—25 м с обеих сторон от излома закрепить клеммные и закладные болты, а затем в месте излома автогеном вырезать кусок рельса длиной 10—15 см с целью снятия внутренних сжимающих усилий в плети для возможности свободного ее обрезания рельсорезным станком. После этого выпиливают и сдвигают в сторону отрезок рельсовой плети в месте дефекта длиной на 4—5 мм больше длины подготовленного к укладке рельса с болтовыми отверстиями; на образовавшихся концах рельсовой плети просверливают отверстия для болтов, в вырезанное место вставляют подготовленный рельс и шестидырными накладками скрепляют с плетью. При этом рекомендуется устанавливать высокопрочные болты с усиленной затяжкой гаек (1000 Н·м).

Полное восстановление изломанной рельсовой плети (на постоянный режим эксплуатации) производят сваркой с применением рельсосварочной машины ПРСМ. Работы включают в себя следующие технологические операции: удаление подкладок на шпалах и частичную вырезку балласта в шпальном ящике, где должна размещаться сварочная головка машины ПРСМ; вырезание части плети в месте нахождения временно уложенного рельса (вместе с ним); при этом длина вырезаемой части l , мм, определяется из выражения

$$l = l_{вр} + 750 + 750,$$

где $l_{вр}$ — длина уложенного временного рельса, мм; 750 — длина обрезаемых концов плети, мм;

зачистку обрезанных концов рельсов абразивным инструментом (до металлического блеска); снятие и ослабление клемм на участке выгибания (или перемещения) плети; выгибание (или продольное перемещение) плети; замену вырезанной части рельсовой нити на рельс без болтовых отверстий; вваривание рельса в плеть; выравнивание температурных напряжений в рельсовых плетях по обоим рельсовым нитям.

Ввариваемый в плеть рельс без болтовых отверстий должен иметь длину на 80 мм больше вырезаемой части и не должен отличаться от плети по высоте и боковому износу головки более допускаемой величины, установленной Инструкцией по текущему содержанию пути. Кроме того, он должен удовлетворять требованиям, предъявляемым к сварке рельсов по условиям термической обработки рельсового металла и иметь наработку тоннажа не выше чем восстанавливаемая плеть.

Технология вварки в плеть рельса может быть двух видов: с частичным раскреплением плети и ее изгибом; с полным раскреплением короткой части плети и ее перемещением.

При вварке рельса с изгибом плети (рис. 10.14) на участке *БВ* длиной 5 м гайки отвертывают на несколько оборотов, а на участках *ЕА* и *ГД* длиной по 50 м клеммные болты, наоборот, закрепляют, чтобы исключить перемещение плети. На участке *ВГ* длиной 40 м клеммы снимают. Раскрепленную часть плети поднимают над ребордами подкладок и изгибают в горизонтальной плоскости: на прямых участках — в сторону оси пути, а на кривых — в наружную сторону кривой. Изгиб плети заканчивают, когда ее торец совпадет с торцом рельсовой вставки. В процессе сварки изогнутая часть плети постепенно выпрямляется под действием продольного усилия, создаваемого сварочной машиной. При этом по окончании сварки плеть должна оставаться изогнутой; стрела остаточного изгиба, измеряемая в месте наибольшего удаления внутреннего края подошвы изогнутой плети от края реборды подкладки, должна оставаться в пределах 15—30 см; в противном случае сварной стык должен быть забракован и вырезан из плети.

После остывания замыкающего стыка (через 2—3 мин после окончания сварки) оставшуюся изогнутой часть плети выпрямляют приложением поперечного усилия. Постановку клемм и закручивание гаек производят в направлении от замыкающего сварного стыка.

Сдвиг плети на участке *ВГ* при ее изгибе перед сваркой и при выправлении после сварки должен производиться по металлическим скользунам, равномерно распределенным на участке изгиба; должно быть обеспечено свободное, без большого трения поперечное перемещение плети по ним. Сварные стыки должны быть обозначены несмываемой белой краской на внутренней стороне рельса двумя парами вертикальных полос и взяты на учет в дистанции пути.

Вварка в плеть рельса должна производиться при температуре плети, отличающейся от температуры закрепления не более чем на 5 °С. Если это условие не выполнено, то необходимо перезакрепить плеть при наступлении этой температуры или ввести плеть в расчетный температурный режим принудительно. Вваривают вставки, как правило, при положительных температурах; допускается вварка при температуре не ниже минус 10 °С.

Работой по окончательному восстановлению плети, лежащей на главном пути, руководит старший дорожный мастер, а на станционном пути — дорожный мастер.

При вварке вставки без изгиба плети перед укладкой в путь рельса без болтовых отверстий (вместо вырезанной дефектной части плети) со стороны короткой части плети в уравнительном пролете заменяют рельс на укороченный; на участке между дефектным местом и уравнительным пролетом ослабляют на три-четыре оборота клеммные болты; с помощью гидравлического натяжного устройства передвигают короткую часть плети в сторону уравнительного пролета на величину, позволяющую уложить в путь подготовленный рельс без болтовых отверстий, имеющий большую длину (с учетом ее уменьшения при сварке) по сравнению с вырезанной дефектной частью плети; после укладки этого рельса в путь производят сварку плети с уложенным рельсом в стыке со стороны длинной части плети. Затем с помощью гидравлического натяжного устройства перемещают короткий конец плети в сторону второго стыка сварки с целью создания необходимого усилия прижатия свариваемых концов рельсов.

Для обеспечения электрического контакта с губками рельсосварочной машины стыкуемые поверхности на концах рельсов должны быть предварительно зачищены до металлического блеска. После сварки грат и выдавленный мегалл удаляют обрубкой в горячем состоянии по всему периметру сварных стыков и места обрубки шлифуют.

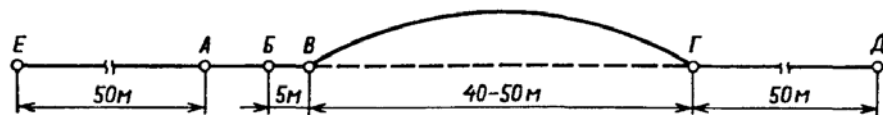


Рис 10 14 Схема изгиба рельсовой плети
 АБ — вставка, БВ — участок ослабления клеммных болтов ВГ — участок изгиба плети

Неровности на поверхности катания в месте сварки рельса не должны превышать 0,3 мм на длине 1 м.

Продвижение машины ПРСМ через неостывший сварной стык, имеющий цвет каления, допускается при условии наложения на него специального металлического мостика.

После окончания сварки второго стыка, укороченный рельс в уравнительном пролете заменяют на нормальный.

БЕССТЫКОВОЙ ПУТЬ В КРУТЫХ КРИВЫХ

11.1. ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ В КРИВЫХ

Работа пути в кривых характеризуется усиленным (по сравнению с прямыми участками) воздействием проходящего подвижного состава на элементы верхнего строения. Этому способствуют и центробежные силы, возрастающие с уменьшением радиуса кривой; чем круче кривая, тем труднее вписывается в нее подвижной состав. С уменьшением радиуса кривой уменьшается скорость, при которой процесс вписывания становится динамическим. При динамическом вписывании возрастают: горизонтальные силы, передаваемые от колес на рельсы; направляющие усилия на контакте гребней колес и рабочих граней головок рельсов; поперечные составляющие сил трения колес по поверхности катания рельсов; рамные усилия, передаваемые через колесную пару на рельс; поперечные силы, возникающие в возвращающих устройствах экипажей; реакции шкворней тележек и т.д.

В расчетах прочности пути рост дополнительных боковых воздействий на путь с уменьшением радиуса кривой при проходе по ней подвижного состава оценивается увеличением коэффициента f перехода от осевых напряжений в подошве рельса σ_0 к кромочным σ_k . Значение f резко возрастает с уменьшением радиуса кривой.

Дополнительные факторы, действующие в кривых при проходе поездов, обуславливают ускоренное (по сравнению с прямыми участками) накопление остаточных деформаций и расстройств (в первую очередь большой боковой износ рельсов и других элементов, появление в рельсах дефектов контактно-усталостного происхождения, нарушение положения пути в плане и профиле и др.).

Особенно напряженно работает в кривых звеньевой путь, уложенный на железобетонных шпалах. Специалисты ВНИИЖТа с помощью экспериментов установили, что в кривых радиусами 350—420 м в каждом стыке, перекрытом шестидырными накладками, в плане имеет место "уголок" 1,5—2,0°, а при четырехдырных накладках до 2,5—3,0° (рис. 11.1). Поэтому замена звеньевого пути на бесстыковой позволяет получить особенно значительный эффект прежде всего в крутых кривых $R \leq 600$ м. Однако, в температурно-напряженных сварных плетях при повышении температуры происходит снижение устойчивости бесстыкового пути с уменьшением радиуса кривой. Это происходит по-

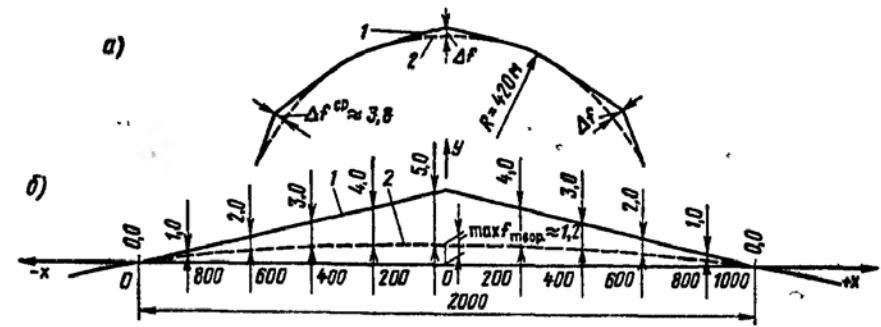


Рис. 11.1. Очертание рабочей грани наружного рельса Р65 в кривой радиусом 420 м при наличии стыков: а — план кривой; б — то же рельсовой нити в зоне стыка; 1 — фактическая кривая; 2 — теоретическая кривая

тому, что в кривых сжимающие температурные силы в рельсовых плетях создают горизонтальные составляющие ΔN_t , направленные наружу кривой в сторону возможного выброса пути (рис. 11.2). Горизонтальную составляющую температурных сил на каждом элементарном участке кривой dx можно определить по формуле:

$$\Delta N_t = N_t \sin \frac{d\varphi}{2},$$

где φ — центральный угол кривой.

Для восприятия ΔN_t требуется дополнительное (по сравнению с прямыми участками) сопротивление изгибу пути. При типовой конструкции верхнего строения пути добавочное сопротивление на одну шпалу должно быть:

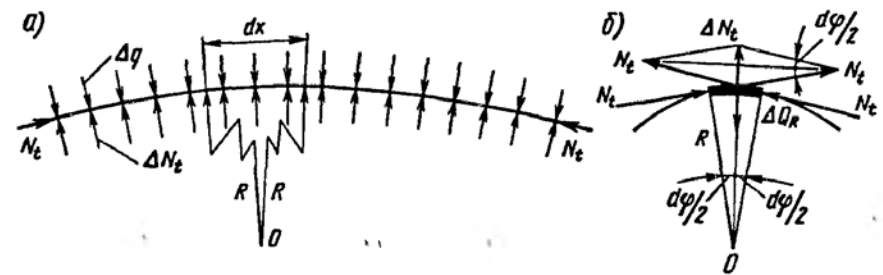


Рис. 11.2. Поперечные силы в кривой, возникающие при действии продольной сжимающей температурной силы: а — кривая, нагруженная продольными силами; б — схема определения радиальных составляющих температурной силы

$$\Delta Q_R \geq N_t \sin \frac{l}{2R}.$$

где l — расстояние между осями шпал.

Отнеся усилие ΔQ_R к единице длины пути, получим дополнительное погонное сопротивление Δq_R , Н/м, поперечному сдвигу пути в балласте, необходимое в кривых:

$$\Delta q_R \geq 2,5 \cdot 10^6 \frac{F}{l} \sin \frac{p}{2R \Delta t}.$$

Другая причина ограничения укладки бесстыкового пути в кривых — увеличенное динамическое воздействие проходящего подвижного состава на путь. Из-за больших динамических напряжений, особенно при высоких скоростях, прочность рельсов иногда оказывается недостаточной для восприятия дополнительных температурных напряжений, которые могут достигать 150 МПа и более. Из-за этого бесстыковой путь на дорогах МПС РФ до сих пор не укладывают в кривых радиусом менее 350—400 м. Все эти причины обусловили существенное ограничение радиусов кривых, в которых считается возможным укладывать бесстыковой путь (обычно до $R \geq 600$ м) и, в первую очередь, в районах с годовыми температурными амплитудами рельса T_A более 100—105 °С.

11.2. ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ДОПУСКАЕМОЙ ГОДОВОЙ АМПЛИТУДЫ КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУР РЕЛЬСОВ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ В КРИВЫХ МАЛЫХ РАДИУСОВ

Возможность увеличения амплитуды за счет повышения прочности рельсов. Проанализируем факторы, ограничивающие годовые температурные амплитуды колебаний температур рельсом в кривых радиусом 600 м и менее.

Как известно, амплитуда допускаемых изменений температур рельсов $[T]$ определяется формулой:

$$[T] = [\Delta t_y] + [\Delta t_p] - [\Delta t_s], \quad (11.1)$$

где $[\Delta t_s]$ — минимальный интервал температур, в котором окончательно закрепляются плети (обычно для расчетов принимают 10 °С, но не менее 5 °С); $[\Delta t_p]$ — допускаемое понижение температуры рельсовых плетей по сравнению с температурой их закрепления, определяемое их прочностью при действии растягивающих продольных сил, включая растягивающие кромочные напряжения в подошве рельсов от воздействия локомотивов; $[\Delta t_y]$ — допускаемое повышение температуры рельсов по сравнению с температурой их закрепления, определяемое устойчивостью пути против выброса при действии сжимающих продольных сил.

Таблица 11.1

Локомотивы	Допускаемое по условию прочности рельсов понижение температуры $[\Delta t_p]$, °С, в кривых радиусом, м		
	500	400	300
ВЛ8	90	88	82
ВЛ60, ВЛ60 ^к	74	72	76
ВЛ80 ^т , ВЛ80 ^р	82	83	83
ВЛ85	78	81	76
ЧС7, ЧС8	83	82	76
2ТЭ116	83	78	75

Примечание. Допускаемая скорость движения в кривой радиусом 500 м — 105 км/ч, 400 м — 95 км/ч, 300 м — 80 км/ч.

Таблица 11.2

Радиусы кривых, м	Годовые амплитуды температур рельсов $[T]$ при следующих значениях $[\Delta t_p]$, °С		
	75	80	85
300	92	97	102
400	103	108	113

В табл. 11.1 приводятся допускаемые по условиям прочности рельсов понижения температуры $[\Delta t_p]$ в кривых радиусами 500, 400 и 300 м для ряда локомотивов, наиболее неблагоприятных с точки зрения воздействия на рельсы.

Данные, приведенные в табл. 11.1, получены для типовой (для дорог МПС РФ) конструкции бесстыкового пути в крутых кривых: термоупрочненные рельсы Р65 на железобетонных шпалах (эпюра 2000 шт./км); балласт из щебня скальных пород фракции 25—60 мм. Очертания балластной призмы типовые. Нормативное прижатие рельса к основанию в узле скрепления должно составлять 19,6 кН, что обеспечивает сопротивление продольному перемещению рельсовой плети $r = 25 \div 30$ кН/м.

Для возможности использования формулы (11.1) необходимо знать также значения $[\Delta t_y]$ в кривых радиусом 600 м и менее. Действующими ТУ-2000 для типовой конструкции пути установлены следующие значения $[\Delta t_y]$: при радиусе 500 м — 41 °С; 400 м — 38 °С и 300* — 27 °С.

В табл. 11.2 приводятся допускаемые годовые амплитуды температур рельсов в кривых радиусами 300 и 400 м для значений $[\Delta t_p]$, равных 75, 80 и 85 °С (как типовых из табл. 11.1).

* Действующими ТУ-2000 сфера применения бесстыкового пути в кривых ограничена радиусом 350 м. Данные по $[\Delta t_p]$ и $[\Delta t_y]$ для кривой радиусом 300 м приведены в иллюстративном порядке.

Как видно из табл. 11.2 при радиусе 300 м годовая амплитуда [7] не превышает 92—102 °С, а при радиусе 400 м составляет 103—113 °С. Таким образом, укладка бесстыкового пути в крутых кривых возможна на значительном протяжении железных дорог страны.

Однако имеется дополнительный лимитирующий фактор, который корректирует данные табл. 11.2. Это — величина зазора λ , который образуется при сквозном изломе рельсов при температурах, близких к минимальным. Расчеты по известной зависимости

$\lambda = 0,24 \frac{\Delta t_p^2}{r}$ показывают, что для типовой конструкции бесстыкового пути с рельсами Р65 величина λ будет следующей: при $\Delta t_p = 75$ °С $\lambda = 45$ мм; при $\Delta t_p = 80$ °С $\lambda = 52$ мм и при $\Delta t_p = 85$ °С $\lambda = 58$ мм при допустимом значении $\lambda^{\max} = 40$ мм.

Некоторые специалисты считают возможным пропуск поездов при $\lambda = 50$ мм (и даже 60 мм). Однако эти цифры в отдельных случаях могут быть приемлемы только для прямых участков или пологих кривых. Как уже было сказано, в крутых кривых имеет место "уголок" в плане, равный в среднем при четырехдырных накладках 2,5—3,0°. В этой связи следует учитывать, что при сквозном изломе рельсов зимой концы изломанных рельсов в таких кривых будут взаимно расположены под углом до 4—5°, что усугубляет условия схода колеса с разорванной рельсовой колеи.

Применение для участков бесстыкового пути в крутых кривых рельсов улучшенного качества несомненно повышает надежность пути, снижает вероятность изломов рельсов. Однако, так как таковые полностью исключить пока не удастся, лимитирующим фактором остается величина зазора, который образуется при разрыве колеи в холодное время года.

Результаты наблюдений и расчетов, проведенных в 1997—1998 гг. специалистами лаборатории бесстыкового пути ВНИИЖТа, позволили установить размеры зазоров λ , образующихся в случае излома плети при минимальных зимних температурах рельсов на ряде станций дорог дальневосточной зоны России. В табл. 11.3 для примера приводятся значения λ для шести пунктов, где организованы систематические наблюдения за температурами рельсов. Можно видеть, что зазоры λ значительно превосходят допускаемые $\lambda^{\max} = 40$ мм. В добавление следует указать, что при ослаблении клеммного нажатия и уменьшении величины сопротивления продольному перемещению рельсовой плети ниже 30 кН/м при изломе рельсов величина зазора λ становится существенно больше значений, приведенных в табл. 11.3.

Таблица 11.3

Пункт наблюдения	t_{\min}	Зазоры при разрыве плети λ , мм, при температуре закрепления °С	
		20	30
Зима (В.-Сибирская ж.д.)	—60	62	78
Нижеудинск (В.-Сибирская ж.д.)	—59	60	77
Забайкальск (Забайкальская ж.д.)	—60	62	78
Соловьевск (Забайкальская ж.д.)	—60	62	78
Борзя (Забайкальская ж.д.)	—60	62	78
Сретенск (Забайкальская ж.д.)	—60	62	78

Из вышеизложенного следует, что повышать допускаемую амплитуду температур рельсов [T_A] за счет увеличения члена [Δt_p] мы не можем по условию обеспечения безопасности движения поездов.

Увеличение устойчивости бесстыкового пути при его нагревании в летнее время за счет усиления и развития подрельсовых опор. В кривых процесс потери устойчивости бесстыкового пути отличается от такового в прямых участках. Устойчивость в кривых утрачивается быстрее при меньших значениях [Δt_y], раньше начинаются поперечные подвижки путевой решетки; при хорошо отрихтованной рельсовой колее они происходят относительно равномерно по всей длине кривой. На прямых участках стрелы искривления длиннее, потому что накопленная энергия до выброса там больше, чем в кривой, где при нагревании имеют место поперечные подвижки. До начала выброса в кривых наряду с равномерным перемещением плетей поперек колеи отмечаются местные "микроразрядки" за счет сжимающих сил. В этой связи наличие местных отступлений в плане способствует образованию именно в этих местах "углов", развитие которых приводит к одностороннему (наружу колеи) выбросу пути. Например, в кривых участках пути радиусом 300 м, если уширение колеи будет находиться в пределах допусков (от +8 до +10 мм в зависимости от скорости движения поездов), фактические радиусы в отдельных местах могут быть 240—250 м, что отрицательно влияет на местную устойчивость рельсовой колеи.

Многочисленные (более 300) эксперименты на специально сооруженном стенде ВНИИЖТа, где в натуральную величину проводились исследования потери устойчивости пути, позволили установить, что продольные силы сжатия в рельсах при нагревании электрическим

током до определенной величины N не вызывают поперечных деформаций рельсошпальной решетки. Эти величины N , пересчитанные на температуру нагрева Δt , существенно меньше той, которая установлена нормативами и ТУ-2000. Если принять величины N в качестве расчетных, то это резко ограничило бы сферу применения бесстыкового пути.

При увеличении продольных сил сверх N появляются микроперемещения пути поперек оси, которые на начальной стадии растут медленно. При достижении критических величин N_k поперечные деформации не превышают для кривых 0,4 мм. Если прекратить нагревание, то при остывании рельсов возвращению пути в исходное состояние под влиянием сил упругости изогнутых рельсов препятствуют силы трения шпал по балласту и в узлах рельсошпальной решетки. В действующем пути под динамическим воздействием колес подвижного состава силы трения уменьшаются, и при небольших деформациях рельсошпальная решетка возвращается в исходное состояние.

Допускаемые критические (расчетные) силы N_k и им соответствующие значения $[\Delta t_y]$ определены экспериментально для кривых участков пути по начальной деформации 0,4 мм. В этой связи весьма важно сравнивать сопротивляемость балластной призмы смещению рельсошпальной решетки поперек колеи при ее минимальных деформациях — практически до 0,4 мм. Нередко оценка эффективности указанных мероприятий проводится при поперечном смещении шпалы на 1—2 мм и более, а иногда и по Q_{\max} , что нельзя считать правомерным. Учитывая вышеизложенное, эффект следует учитывать при смещениях шпал поперек колеи на кривых участках пути, при сдвигах до 0,4—0,5 мм.

Указанные особенности протекания процесса потери устойчивости в кривых ставят под сомнение предложения некоторых инженеров решить вопрос о возможности укладки бесстыкового пути в кривых радиусами $R \leq 400$ м увеличением записанного в ТУ-2000 значения $[\Delta t_y]$ за счет снижения запаса устойчивости для этих кривых в 1,2—1,3 раза, приравняв их (коэффициенты запаса) к прямым или пологим кривым.

Правильным решением проблемы является усиление бесстыкового пути в крутых кривых с использованием уже имеющихся инженерных приемов. В табл. 11.4 приводятся возможные способы усиления бесстыкового пути в крутых кривых. Главная идея всех приведенных решений — включить в работу на поперечный сдвиг балластной призмы повышенные объемы щебня.

Сгущение эпоксы шпал до 2200 шт./км широко практикуется на железных дорогах США и реализация этого мероприятия на наших дорогах вполне возможна. Повышение при этом значения $[\Delta t_y]$ на 3—4 °С многого дать не может, однако в сочетании с комплексом мероприятий по омоноличиванию щебеночной призмы $[\Delta t_y]$ увеличивается на 13—16 °С.

Применение железобетонных шпал с развитым поперечным сечением по концам по типу австрийских (рис. 11.3) повышает $[\Delta t_y]$ не менее, чем на 6—7 °С. На рис. 11.4 приводятся другие конструкции усиленных железобетонных шпал.

При оценке эффективности мероприятий, направленных на повышение сопротивляемости шпал смещению поперек колеи, необходимо, прежде всего, учитывать величины этих параметров при минимальных деформациях рельсошпальной решетки поперек колеи.

На рис. 11.5 и 11.6 приводятся зависимости нарастания сопротивления шпал сдвигу поперек оси при наличии бетонных "зубьев" на подошве, специальных наконечников на концах шпал ("фартуков") и типовых железобетонных шпал (ничем не усиленных).

Таблица 11.4

Способы усиления бесстыкового пути	Значения $[\Delta t_y]$, °С, при радиусах кривых		
	500	400	300
Обычный (не усиленный) путь на железобетонных шпалах при эпоксе 2000 шт./км	39	35	27
"Сгущение" эпоксы шпал до 2200 шт./км	43	39	30
Применение железобетонных шпал с развитым поперечным сечением по концам (с "ушами") по типу австрийских	50	46	34
Укладка малогабаритных рам типа МГРТ-3 на три опоры (длина рамы 1,50 м)	49	45	33
Омоноличивание балласта полимерными вяжущими составами	46—49*	42—45*	34—37*
Установка на концах железобетонных шпал стальных наголовников	48	44	36

* Меньшие цифры — омоноличивание только плеча и откосной части, большие — включая балласт в шпальных ящиках.

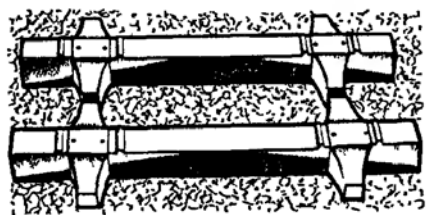


Рис. 11.3. Железобетонные шпалы гига Вр. 14d для крутых кривых (Австрия)

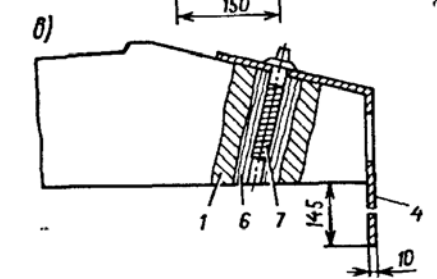
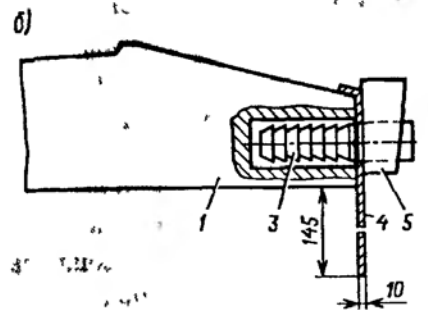
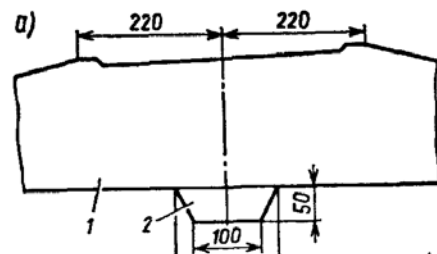


Рис. 11.4. Варианты усиления железобетонных шпал для повышения сопротивления сдвигу в балласте

а — бетонный зуб на нижней постели шпалы, б и в — стальные фартуки, укрепленные соответственно сверху и с торца шпалы, 1 — шпала, 2 — бетонный зуб, 3 — анкер, 4 — фартук, 5 — клин, 6 — деревянная втулка, 7 — шуруп

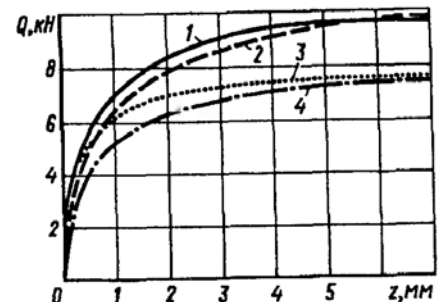


Рис. 11.5. Кривые средних сопротивлений сдвигу поперек пути железобетонных шпал в зависимости от перемещений: 1 — шпалы с бетонными зубьями, 2, 4 — с фартуками, установленными соответственно со стороны наружной и внутренней нитей кривой, 3 — шпалы без усиления

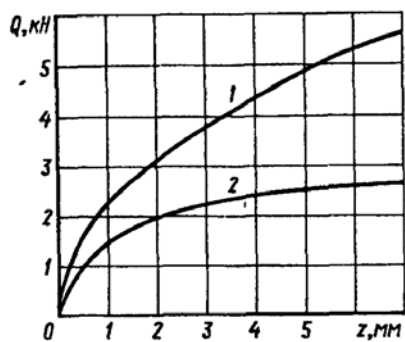


Рис. 11.6. Изменение средних сопротивлений сдвигу поперек пути деревянных шпал от перемещений 1, 2 — соответственно при наличии и отсутствии наголовников

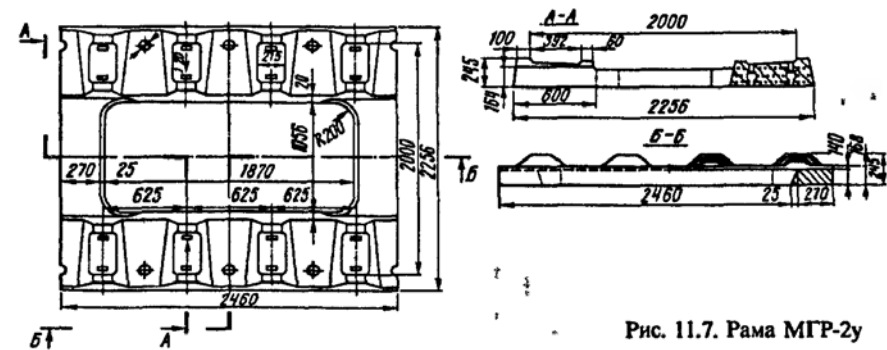


Рис. 11.7. Рама МГР-2у

Отдельно следует остановиться на усилении подрельсового основания за счет укладки малогабаритных рам. На ряде участков главного пути дорог МПС РФ более 10 лет успешно эксплуатируются малогабаритные рамы типа МГР-2у длиной 2,46 м (рис. 11.7), имеющие расход бетона на 1 м длины пути $0,23 \text{ м}^3$, что практически совпадает с погонным расходом бетона ($0,21 \text{ м}^3/\text{м}$) при эпюре шпал 2000 шт./км. Однако эксперименты показали, что их применение возможно на прямых участках пути и в кривых радиусами 600 м и более. При более крутых кривых применение МГР-2у возможно только при наличии промежуточных рельсовых скреплений, позволяющих поперечное перемещение рельса на величину $\pm 6 \text{ мм}$. Такие скрепления запроектированы, однако их серийное изготовление пока не начато.

Специалисты МИИТа совместно с институтами Гипротранспуть и Гипропромтрансстрой создали конструкции малогабаритных рам МГРТ-4 длиной 2,00 м (четыре опоры), которые при типовых скреплениях КБ-65 могут укладываться на прямых и кривых радиусами 600 м и более, а также МГРТ-3, уменьшенной до 1,50 м длины (три опоры), применимые для тех же скреплений на кривых участках пути при радиусах 350 м и более (рис. 11.8). Использование малогабаритных рам позволяет повысить значение $[\Delta t_y]$ на $7-10^\circ\text{C}$, а в сочетании с омоноличиванием щебня в кривых радиусами 350 м получить величину возможного нагрева рельсовой плети сверх нейтральной температуры укладки до $42-44^\circ\text{C}$, что соответствует величине $[\Delta t_y]$ для кривых радиусом 600 м (42°C).

Омоноличивание балластной призмы. Виды вяжущих веществ, применяемых при омоноличивании балластной призмы, а также сам механизм стабилизации призмы был подробно рассмотрен в п. 3.5.

Проведенный ВНИИЖТом комплекс исследований позволил установить возможные сферы рационального применения омоноличивания щебеночной балластной призмы, в их числе — откосная часть балластной призмы на участках бесстыкового пути, особенно в кру-

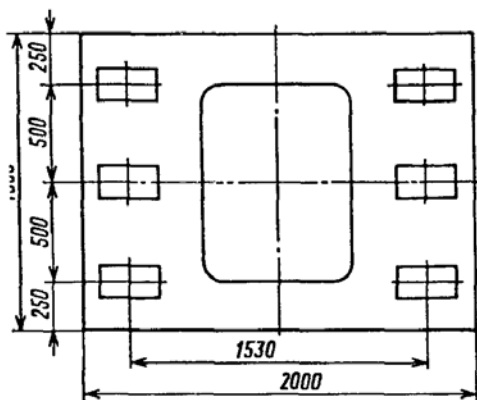


Рис. 11.8 Рама МГРТ-3, укладываемая в кривых радиусом до 350 м

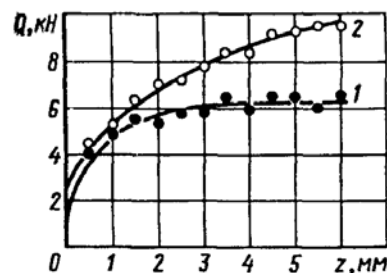


Рис. 11.9. Кривые средних сопротивлений сдвигу шпал поперек пути: 1 — неомоноличенная балластная призма; 2 — балластная призма, обработанная латексом СКС-65ГП

тых кривых радиусами 300—349 м. Повышение устойчивости бесстыкового пути против выброса в крутых кривых достигается укреплением щебня на откосной части балластной призмы с помощью латекса (рис. 11.9).

При испытаниях устойчивости бесстыкового пути различают две характерные стадии потери устойчивости: "первое критическое состояние" и "выброс" ("второе критическое" или "закритическое состояние"). В среднем критическое повышение температуры омоноличенного балласта в 1,8 раза больше, чем в неусиленном пути, и в 1,2 раза больше, чем в пути со шпалами, усиленными на концах металлическими штампованными жесткими наголовниками (капами), имеющими фартуки больших размеров (ширина 30 см, заглубление в балласт 18 см). В табл. 11.5 для иллюстрации

Таблица 11.5

Виды усиления пути	Средняя температура нагрева рельсов в кривой радиусом 250 м, °С	
	до первого критического состояния	до закритического состояния
Неусиленный путь	21	52
Путь, усиленный капами	30	Более 72
Омоноличенный путь	37	Более 75

Таблица 11.6

Место обработки щебня	Потребное количество латекса, т/км	
	для однопутного участка	для двухпутного участка
Откосная часть балластной призмы с шириной плеча, см:		
45	16,6	17,5
35	15,2	16,4
25	15,1	14,7

приводятся результаты натуральных экспериментов по нагреванию плетей бесстыкового пути в кривой радиусом 250 м, проведенных специалистами ВНИИЖТа.

На основании изложенного можно отметить, что омоноличивание балластной призмы вяжущими материалами значительно повышает устойчивость пути в плане и профиле и позволяет увеличить допустимую амплитуду температур, при которой возможно применение бесстыкового пути в крутых кривых радиусом 300—349 м.

В табл. 11.6 приводятся данные о потребном количестве латекса, необходимого для омоноличивания откосной части балластной призмы.

БЕССТЫКОВОЙ ПУТЬ НА СТАНЦИЯХ¹

12.1. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ СТАЦИОННЫХ ПУТЕЙ

Конструкция верхнего строения станционных путей должна соответствовать условиям эксплуатации данной станции. По нормативам 1960—1970 гг. рельсы тяжелых типов (Р50 и тяжелее) укладывались только в главные пути в пределах станций. Все остальные станционные пути перекрывались рельсами Р50 и легче. Железобетонные шпалы в пределах станций рекомендовалось укладывать только в главные пути, для остальных станционных путей применялись деревянные шпалы. Щебеночный балласт, как наиболее мощный вид балласта, рекомендовался также для главных путей и путей сквозного прохода поездов.

Необходимость соответствия конструкции верхнего строения станционных путей утяжеляющимися условиями эксплуатации железных дорог нашла свое отражение в нормативных документах 1980-х гг., где рекомендуется при очередном ремонте станционных путей укладывать рельсы только тяжелых типов с деревянными и железобетонными шпалами и щебеночным и асбестовым балластом во всех группах станционных путей. Основным источником получения материалов для усиления станционных путей стала старогодная путевая решетка с железобетонными шпалами, снимаемая при капитальном ремонте с главных путей.

Одним из способов усиления станционных путей является ликвидация рельсовых стыков. К началу 1980 гг. доля станционных путей с рельсами типов Р50 и тяжелее составила 60 %, а с балластом из щебня, сортированного гравия и асбеста, где разрешалось сваривать рельсы в плети, — 40 % общей длины станционных путей; бесстыковой путь составлял не более 2 %.

Следует отметить, что опыт применения бесстыкового пути на станциях в СССР имелся. В 1960-х гг. на станционных путях проводилась сварка рельсов, возможности для этого при рельсах легких типов, песчаном балласте и костыльных скреплениях были ограничены.

Усиление станционных путей укладкой старогодных рельсов тяжелых типов, снятых с главного пути, позволило вновь вернуться к идее бесстыковых станционных путей. Во ВНИИЖТе были проведены исследования устойчивости такого пути с деревянными

шпалами и костыльными скреплениями, с балластом из мелкозернистого щебня и гравия, с песчано-гравийным балластом, с уменьшенной эпюрой шпал. Эти исследования показали, что в определенных эксплуатационных и климатических условиях возможно использование бесстыкового пути облегченной (по сравнению с типовой для перегонов) конструкции, что позволяет расширить сферы применения бесстыкового пути до 70—75 % протяженности станционных путей.

Главными путями станций служат продолжением путей на перегонах. По ним проходят все организованные поезда, часто без остановки на станции. Скорость движения по этим путям может быть такой же, как и на перегонах. Поэтому главные пути в пределах станций отнесены к 1—4-му классам и даже могут быть внеклассными, как и главные пути перегонов, если скорость движения по ним превышает 140 км/ч. Бесстыковой путь здесь устраивается по тем же нормам, что и на главных путях. На главных путях 1—2-го классов в пределах станций все элементы верхнего строения должны быть новыми. На путях 3-го класса допускается применение в дополнение к новым материалам бывших ранее в эксплуатации элементов рельсошпальной решетки, но отремонтированных и прошедших контроль на соответствующих предприятиях в стационарных условиях. В главные пути 4-го класса, как на перегоне, так и в пределах станции, должны укладываться только старогодные материалы после переборки рельсошпальной решетки и их классификации по группам годности. Балласт — щебеночный или асбестовый. Эпюра шпал, как и на перегонных путях, — 1840 шт./км в прямых участках и в кривых радиусом более 1200 м и 2000 шт./км в кривых радиусом 1200 м и менее.

Приемоотправочные пути работают с несколько меньшей нагрузкой, чем главные, но испытывают значительные продольные воздействия от колес подвижного состава при торможении и трогании с места. Это пути 6-й категории.

В зависимости от грузонапряженности прилегающих к станции участков приемоотправочные пути могут быть 3-го или 4-го классов. Эти пути устраивают на щебеночном балласте, деревянных и железобетонных шпалах с эпюрой 1840 шт./км. На приемоотправочных путях, предназначенных для безостановочного пропуска поездов, рельсы должны быть того же типа, что на перегоне. Бесстыковой путь на приемоотправочных путях можно устраивать из старогодных рельсов Р65 и Р50 и старогодных шпал. Все шире применяют железобетонные шпалы с клеммными скреплениями, снятые с главных путей и отремонтированные на звено-сборочных базах. При деревянных шпалах и сварных плетях обычно оставляют костыльное скрепление, устанавливая на каждой шпале пружинные противоугоны "в замок". По концам плетей около стрелочных переводов укладывают по два-три уравнивательных рельса.

¹ Пункты 12.3 и 12.4 написали Б. Э. Глюзберг и М. Ю. Хвостик.

Сортировочные и горочные пути на сортировочных станциях с годовой переработкой груза более 50 млн. т брутто относят к 3-му классу; при годовой переработке груза менее 50 млн. т брутто — к 4-му классу. Сортировочные пути, расположенные в парке ниже спускной части горки, — подгорочные, по которым движутся главным образом одиночные грузовые вагоны или группы вагонов со скоростями до 25 км/ч, должны иметь следующую конструкцию верхнего строения: рельсы Р65 и Р50 старогодные; шпалы железобетонные или деревянные старогодные; на путях 3-го класса эпюра шпал в прямых участках 1840 шт./км, а 4-го класса — может быть 1600 шт./км; балласт щебеночный или асбестовый, возможно применение гравийно-песчаного.

Плети, располагаемые в сортировочном парке, можно разделить на три группы в зависимости от их длины. Длина первой группы плетей в сортировочном парке определяется расстоянием от стрелочных переводов головы парка до башмакосбрасывателей первой тормозной позиции; второй группы плетей — от первого башмакосбрасывателя до второго; третья группа плетей располагается в нижней части подгорочного парка между башмакосбрасывателями вторых тормозных позиций и стрелочными переводами конца путей. На некоторых станциях устанавливают башмакосбрасыватели-уравнительные приборы (рис. 12.1), конструкция которых позволяет компенсировать удлинение примыкающих плетей.

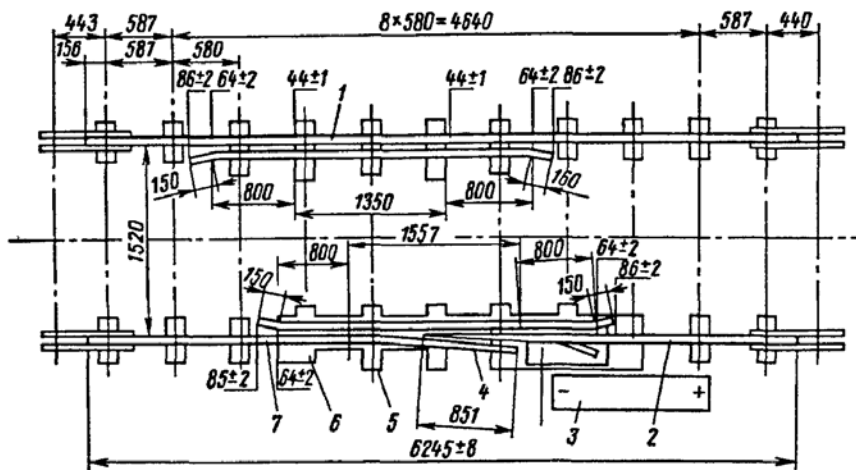


Рис. 12.1. Уравнительный прибор-башмакосбрасыватель в подгорочных путях: 1 — путьевой рельс с контрольным; 2 — задний вылет башмакосбрасывателя; 3 — металлический лист, защищающий брус от падающего башмака; 4 — усовик — подвижная часть уравнительного прибора-башмакосбрасывателя; 5, 6 — сквозные подкладки, 7 — передний вылет башмакосбрасывателя

Соединительные, вытяжные, ходовые, погрузочно-разгрузочные, депоовские и прочие стационарные пути — это пути 5-го класса. Они воспринимают небольшую нагрузку и строят их по облегченным нормам (малые радиусы кривых, большие уклоны, слабая конструкция верхнего строения). Полезная длина таких путей обычно менее 150—250 м. Так что в ряде случаев сооружать здесь бесстыковой путь бывает нецелесообразно. Однако, если длина пути не менее 100 м, в гравийно-песчаный или другой более мощный балласт уложены железобетонные (или деревянные) шпалы при эпюре не менее 1600 шт./км, то рельсы типа Р65 или Р50 выгоднее сварить в плети, чем эксплуатировать их в звеньевой конструкции.

За рубежом рельсы сваривают сплошь, включая в плети стрелочные переводы. Для сварки используют термитный и даже электродуговой способы. ВНИИЖТ совместно со стрелочными заводами и конструкторскими бюро ведет разработку технических и технологических вопросов сварки рельсов внутри стрелочных переводов и с примыкающими к ним плетями бесстыкового пути.

12.2. НОРМЫ УСТРОЙСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ НА СТАНЦИЯХ

В 1986 г. впервые на отечественных железных дорогах были утверждены Временные технические указания по укладке и содержанию бесстыкового пути на станциях. Они действовали до выхода в 1991 г. Технических указаний по устройству, укладке и содержанию бесстыкового пути, где были изложены нормы устройства и эксплуатации станционных путей с бесстыковой конструкцией верхнего строения. Сейчас эти нормативы обобщены и сформулированы в ТУ-2000.

Бесстыковой путь на станциях устраивают при очередном капитальном ремонте верхнего строения или при сплошной смене рельсов, сопровождая ее работами, предусмотренными средним ремонтом.

Плети сваривают в РСР или в пути, либо переукладывают с перегонов. Они могут быть из рельсов типов Р65 и Р50 новых и старогодных всех групп годности. При этом должны соблюдаться требования ТУ "Рельсы железнодорожные старогодные отремонтированные сварные" и "Рельсы старогодные для железных дорог широкой колеи".

В предыдущие годы основным способом повторного использования плетей была их разрезка на звенья и переукладка вместе со скреплениями и шпалами в малоделятельные и станционные пути с последующей сваркой в пути на новом месте укладки. В ряде случаев бесстыковые плети перевозились на новое место службы целиком, без предварительной разрезки. Такой опыт есть на Октябрьской, Горьковской и других дорогах.

В последние годы для повторного использования плетей чаще прибегают к перекладке их без разрезки. На каждой дороге в соответствии с накопленным общесетевым опытом повторного использования и местными условиями разработаны свои технологические процессы сохранения старогодных плетей и дальнейшей их укладки при капитальном ремонте пути.

На станциях можно применять железобетонные и деревянные шпалы, костыльное скрепление. Правила повторного использования снятой с главного пути старогодной рельсошпальной решетки с железобетонными шпалами установлены соответствующими Техническими указаниями.

В станционные пути 3-го и 4-го классов рельсошпальная решетка укладывается после ее переборки на звеносборочной базе; в пути 5-го класса она перекалывается непосредственно из пути, на котором выполняется ремонт, минуя звеносборочную базу.

Балласт для бесстыкового пути на станциях может быть щебеночным, асбестовым, из сортированного или карьерного гравия, гравийно-песчаным. Размеры и очертания балластной призмы должны соответствовать типовым конструкциям балластной призмы на станционных путях и стрелочных переводах.

При железобетонных шпалах, щебеночном или асбестовом балласте плети разрешено укладывать на прямых участках и в кривых радиусом 300 м и более; при сортированном гравии, гравийном и гравийно-песчаном балласте — на прямых и в кривых радиусом не менее 600 м. При деревянных шпалах и костыльном скреплении плети применяют на прямых и в кривых радиусом не менее 600 м.

Возможность эксплуатации бесстыкового пути на станциях проверяют по ТУ-2000, сравнивая допустимую температурную амплитуду $[T]$ рельсов с наибольшей T_A амплитудой в данном месте. Значения T_A , а также наибольшие и наименьшие температуры рельсов в данном месте $t_{\max \max}$ и $t_{\min \min}$ определяют по ТУ-2000.

Допустимую температурную амплитуду находят сложением (с учетом интервала закрепления) допустимого повышения температуры плети по сравнению с температурой закрепления $[\Delta t_y]$ и допустимого понижения температуры $[\Delta t_p]$:

$$[T] = [\Delta t_p] + [\Delta t_y] - 10 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Наибольшие допустимые повышения температуры $[\Delta t_y]$ по сравнению с температурой закрепления t_3 , определенные по условию устойчивости пути против выброса, приведены в табл. П.2.1 ТУ-2000. Эти нормы распространяются на все группы станционных путей и варианты верхнего строения, уложенные вновь или переложённые повторно с переборкой рельсошпальной решетки. Для пути с рельсами Р65 и железобетонными шпалами значения $[\Delta t_y]$ приведены в табл. 12.1.

Если решетка укладывается повторно без переборки ее элементов или на третьем этапе при трехэтапном использовании материалов, то значение $[\Delta t_y]$ должно быть уменьшено на 3 $^\circ\text{C}$ по сравнению с приведенным в табл. П.2.1 ТУ-2000.

Допустимые понижения температуры рельсов $[\Delta t_p]$ определяются в соответствии с приложением 2 ТУ-2000. Значения $[\Delta t_p]$ для бесстыкового пути из термоупрочненных рельсов Р65, железобетонных шпал и щебеночного балласта при обращении некоторых локомотивов приведены в табл. 12.2.

Изменение прочностных свойств рельсов в процессе эксплуатации в расчетах бесстыкового пути учитывается изменением коэффициента запаса прочности $k_{\text{п}}$.

Для плетей из старогодных рельсов, уложенных и закрепленных в соответствии с ТУ-91, $k_{\text{п}}$ увеличивается до 1,4 вместо 1,3 для рельсов первого срока службы. Это приводит к уменьшению $[\Delta t_p]$ на 5 $^\circ\text{C}$ по сравнению с данными табл. П.2.2 ТУ-91. При укладке старогодных рельсов в станционные пути, кроме приемоотправочных, предназначенных для безостановочного пропуска пассажирских и грузовых поездов $k_{\text{п}}$, может быть принят 1,2, что на 5 $^\circ\text{C}$ увеличивает $[\Delta t_p]$.

Таблица 12.1

Вид балласта	Экюра шпал	Допускаемое повышение температуры по условию устойчивости пути, $^\circ\text{C}$					
		в прямом участке	в кривых радиусом, м				
			2000	1000	600	500	350
Щебеночный	2000	58	53	49	43	41	35
	1840	54	50	46	41	39	33
	1600	47	43	40	36	33	—
Асбестовый	2000	55	52	47	42	39	32
	1840	52	48	43	39	36	29
	1600	46	42	37	34	31	—
Из валунов и гальки	2000	46	41	36	30	—	—
	1840	42	38	33	27	—	—
	1600	36	33	29	24	—	—
Гравийный и песчано-гравийный	2000	45	40	34	27	—	—
	1840	42	37	32	25	—	—
	1600	36	32	28	22	—	—

Таблица 12.2

Локомотив	Скорость, км/ч	Допускаемое понижение температуры по условию прочности рельсов, °С					
		в прямом участке	в кривых радиусом, м				
			2000	1000	600	500	350
ВЛ10У	20	123	120	119	115	113	110
	40	115	112	111	107	105	101
	60	107	104	103	99	97	92
ВЛ80Р	20	126	123	123	118	116	113
	40	118	115	115	110	108	104
	60	110	107	107	102	100	95
ТЭЗ	20	125	124	123	117	117	113
	40	117	116	115	109	108	104
	60	111	108	107	101	99	95
ТЭ10	20	124	121	120	123	111	109
	40	116	113	112	115	103	100
	60	108	105	104	97	95	91

В новых ТУ-2000, в связи с тем что Департаментом пути и сооружений МПС последовательно и жестко проводится политика обязательного ремонта профиля головки рельсов (перед их повторной укладкой) на металлообрабатывающих станках в РСП или РШП в пути, $k_{п} = 1,3$ принят как для рельсов первого срока службы, так и старогодных рельсовых плетей, прошедших диагностирование и ремонт в стационарных условиях или профильное шлифование и диагностирование в пути. Для рельсов с большим приведенным износом головки, пропустивших нормативный тоннаж или переложенных без шлифования, $k_{п} = 1,4$.

При укладке бесстыкового пути с гравийным балластом значения $[\Delta t_p]$ уменьшают на 3 °С, а с песчано-гравийным на 5 °С по сравнению со значениями для щебеночного балласта. Уменьшение эпюры шпал до следующей типовой эпюры приводит к снижению $[\Delta t_p]$ на 3 °С.

Границы интервала закрепления, т.е. самую низкую и самую высокую температуры закрепления, находят по следующим формулам:

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

Верхнюю границу интервала проверяют, кроме того, по условию недопущения разрыва стыковых болтов при понижении температуры рельсов по сравнению с температурой закрепления: $\max t_3 \leq t_{36}$, где

t_{36} — максимальная допустимая температура закрепления по условию прочности стыковых болтов уравнительного пролета, определяемая по табл. 12.3. Если окажется, что $\max t_3 > t_{36}$, то за верхнюю границу интервала закрепления принимают t_{36} . Для каждой из российских железных дорог в ТУ-2000 предложены оптимальные температуры закрепления плетей, которые должны быть применены и для всех групп станционных путей.

Фактические температуры закрепления каждой плети записывают в Журнал учета службы и температурного режима рельсовых плетей. Разница между температурами закрепления правой и левой плетей при любых шпалах и балластах не должна превышать 10 °С. В этом случае температурой закрепления следует считать среднюю между ними, если путевые работы связаны с нарушением устойчивости всей рельсошпальной решетки (подъемка пути, рихтовка, машинная очистка щебня и т.п.). Когда работы выполняют по одной рельсовой нити (восстановление целостности плети, перешивка пути и др.), при определении возможности их производства в расчет принимают температуру закрепления только этой плети.

В местах примыкания бесстыкового пути с железобетонными шпалами к участкам звеньевому пути с деревянными шпалами, к стрелочным переводам и башмакосбрасывателям устраивается уравнительный пролет из двух пар рельсов длиной 12,5 м, одна из которых укладывается на железобетонные шпалы, другая — на деревянные. У всех деревянных шпал, кроме стыковых, должно быть установлено по четыре противоугона.

В зоне примыкания парковых путей к стрелочной улице между крестовиной перевода и плетью необходимо не менее двух уравнительных рельсов.

Таблица 12.3

Число уравнительных рельсов	Максимальная температура закрепления по условию прочности стыков в районах с минимальными температурами рельсов, °С				
	-- 46 и ниже		от -- 45 до -- 35		35 и выше
	Скрепления				
	клемные	костыльные	клемные	костыльные	клемные и костыльные
2	30	25	35	30	40
3		30		35	40
4		30		35	50

В соответствии с требованиями п. 2.5.4 ТУ-2000 на путях всех групп в стыках уравнильных рельсов надо обязательно применять шести-дырные накладки, стягиваемые шестью болтами. Крутящий момент, приложенный к гайке, должен быть не менее 600 Н·м при рельсах типа Р65 и 400 Н·м при Р50.

Длина сварных плетей устанавливается в зависимости от расположения стрелочных переводов, изолирующих стыков, переездов, башмакосбрасывателей, кривых радиусом менее 300 м при щебеночном балласте и менее 600 м на других видах балласта. На станционных путях можно укладывать плети длиной 100 м.

На участках с отдельными скреплениями плети содержат так же, как и на перегонах. При деревянных шпалах и костыльном скреплении плети и уравнильные рельсы прикрепляют к каждому концу шпалы пятью костылями. От продольных перемещений при изменениях температуры и угона рельсы закрепляют новыми пружинными противоугонами.

На всех путях (кроме приемоотправочных) со щебеночным или асбестовым балластом и эapurой шпал 1840 шт./км и более устанавливают "в замок" по четыре противоугона у каждой шпалы (с двух сторон на каждом конце шпалы) в пределах 100-метровых концов плетей и у каждой второй шпалы на остальном протяжении плети. В приемоотправочных путях и путях с верхним строением другой конструкции противоугоны ставят "в замок" у каждой шпалы. На уравнильных рельсах должно быть по четыре противоугона у всех шпал, кроме стыковых.

При костыльном скреплении температурой закрепления плети следует считать среднюю между измеренными перед началом и после окончания установки противоугонов. Для ускорения закрепления противоугоны можно ставить сначала на каждой пятой шпале. Установку противоугонов и зашивку плетей всеми костылями заканчивают как можно быстрее в день укладки. При эксплуатации такого пути надо следить, чтобы усилие затяжки стыковых болтов соответствовало ТУ-2000, а противоугоны плотно прижимались к шпалам. Необходимо периодически сплошь добивать костыли и поправлять противоугоны, заменяя ослабшие.

Серьезного внимания в бесстыковом пути на станциях требует предотвращение угона, который может нарушить расчетный температурно-напряженный режим такого пути. На наличие угона указывают слитые или чрезмерно растянутые стыковые зазоры, следы клемм на подошве рельсов, смещения подкладок по шпалам, взбугривание или неплотное прилегание балласта к боковым граням шпал и перекося шпал.

ТУ-2000 устанавливают также порядок ремонта пути. Сплошную подъемку и рихтовку с применением машин выполняют в соответствии с требованиями табл. 4.4 ТУ-2000. Ремонт без применения путевых

машин делают согласно табл. 4.1 ТУ-2000. При температуре плетей, превышающей температуру закрепления на величины больше указанных в этой таблице, нельзя выполнять работы, связанные с ослаблением сопротивления бесстыкового пути боковому и вертикальному перемещению (это исправление просадок, толчков и перекосов с вывеской рельсошпальной решетки домкратами, рихтовка, подъемка, выправка продольного профиля, очистка щебня и т.д.). Предварительно нужно сделать разрядку температурных напряжений. В одиночном порядке заменять подкладки, прокладки, клеммные и закладные болты, пружинные шайбы и клеммы, костыли и противоугоны при температуре рельсов, превышающей температуру закрепления плети на 15 °С и больше, можно не чаще, чем через 10 шпал.

12.3. СВАРКА РЕЛЬСОВ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ В ПУТИ

При проектировании и строительстве линий стрелочные переводы рассматриваются как препятствие, влияющее на длину рельсовых сварных плетей. Для решения этой проблемы на железных дорогах МПС РФ внедряется новое поколение стрелочных переводов на железобетонных брусках. Повышенные требования к пути на линиях для скоростного движения определили конструктивные особенности переводов. Переводы нового поколения имеют улучшенную динамику за счет использования гибких острижков и крестовин с гибко-поворотным сердечником с удлиненными рельсовыми окончаниями и стыками накладочного типа, упругих клемм скреплений, подрельсовых прокладок различной жесткости, меньшего количества стыков. Снижение динамических эффектов при прохождении подвижного состава по зоне стрелочного перевода достигается вваркой перевода в бесстыковой путь и сваркой стыковых зазоров на самом переводе. На стрелочных заводах сварка при изготовлении элементов стрелочных переводов выполняется электроконтактным способом.

Геометрия стрелочных переводов такова, что применение в пути сварочных машин для электроконтактной сварки затруднено, поэтому для сварки стыков в зоне перевода применяется термитная сварка, выполняемая с использованием специальной оснастки.

Опыт термитной сварки насчитывает более 100 лет. За рубежом электротермитной сваркой изготавливают рельсовые плети для бесстыкового пути. Рельсовые плети и стрелочные переводы, сваренные таким способом, эксплуатируются на высокоскоростных магистралях со скоростями до 300 км/ч и на дорогах с осевыми нагрузками до 400 кН. Существует практика сварки всех стрелочных переводов в пределах станции. Термитной сваркой был сварен путь в тоннеле

под проливом Ла-Манш. Этот вид сварки используется на железных дорогах многих стран, в том числе с тропическим и холодным климатом.

В СССР термитная сварка рельсов стала применяться начиная с 1930-х гг. В 1960—1965 гг. в ЦНИИ МПС велись научно-исследовательские работы по повышению качества термитной сварки, разрабатывались технологии ремонта этим способом рельсовых плетей. Однако показатели прочности и пластичности соединений, выполненных термитной сваркой, были хуже по сравнению с электроконтактной. Кроме того, стоимость термитной сварки была выше. Путевое хозяйство нуждалось в больших объемах сварных рельсов и было ориентировано на электроконтактную сварку, успешно применялись высокотехнологичные передвижные рельсосварочные машины. Работы по термитной сварке рельсов приостановились.

В настоящее время для решения проблемы сварки стыков стрелочных переводов в путевых условиях на Российских железных дорогах был использован опыт ведущих зарубежных фирм, занимающихся вопросами сварки рельсов. Учеными ВНИИЖТа (Б. Э. Глюзберг, И. З. Генкин, А. М. Тейтель) имеющиеся технологии были адаптированы для климатических условий России и особенностей конструкции отечественных стрелочных переводов. Переводы, сваренные термитом, успешно прошли полигонные и эксплуатационные испытания. Наибольшее распространение получили сварочные технологии фирм "Электро-Термит" (Германия) и "Снага" (Словакия). Разработаны и утверждены в Департаменте пути и сооружений МПС РФ Технические указания на алюминотермитную сварку рельсов в пределах стрелочных переводов по технологии этих фирм.

Сварка стыков (кроме изостыков) стрелочных переводов, уложенных на деревянных или железобетонных брусках, в главных, приемо-отправочных, горочных и других станционных путях применяется на железных дорогах Российской Федерации с 1996 г. Одним из российских предприятий, выполняющих алюминотермитную сварку стрелочных переводов, является Муромский стрелочный завод.

Ведутся работы по внедрению алюминотермитной сварки рельсов в метрополитенах для сварки путевых и контактного рельсов. В то же время проводятся научные исследования, направленные на создание отечественной технологии и материалов для термитной сварки.

В основе алюминотермитной сварки лежит химическая реакция, происходящая с большим выделением тепла между основными частями термитной порции (окись железа и высокочистый алюминий тонкого помола) после ее точечного поджига и кислородом. К основным частям добавляются частицы стали (для демпфирования реакции), а также, в зависимости от свариваемого материала, различные легирующие добавки (С, Mn, Cr, V, Mo). В результате образуется сталь (необходимого для сварки качества) и шлак.

Способ алюминотермитной сварки рельсов можно охарактеризовать следующими этапами:

создание необходимого зазора между свариваемыми торцами рельсов;

формовка места сварки при помощи огнеупорных материалов;

прогрев свариваемых рельсов;

заливка термитной стали в форму;

выдержка термитной стали в форме;

удаление сварочной формы;

обработка сварного шва;

прогрев сварного шва;

шлифовка рельсов в зоне сварки.

Алюминотермитная сварка рельсов может применяться для сваривания объемнозакаленных рельсов с рельсами, имеющими поверхностную закалку, или поверхностно закаленных рельсов между собой, а также с термически неупрочненными. При этом применяется термит повышенной прочности марки 1200 (с временным сопротивлением литого металла 1200 кН/мм^2). При сварке термически неупрочненных рельсов применяется термит обычной прочности марки 900.

Алюминотермитная сварка, как правило, производится при положительной температуре воздуха. При отрицательной температуре требуется дополнительный прогрев концов рельсов на длине 1 м от стыка.

Работы по алюминотермитной сварке производятся объединенной бригадой, в состав которой входят три—пять монтеров пути, руководимых дорожным мастером, и бригада из двух-трех специалистов-сварщиков, имеющих сертификаты от фирмы производителя.

Перед началом сварочных работ в пути проверяется качество сварных соединений рельсов путем испытания на статический поперечный изгиб четырех контрольных образцов рельсов каждого типа (по два образца с растяжением в подошве и головке), сваренных бригадой сварщиков с применением данной партии термита. Испытания выполняются в рельсосварочном предприятии с участием производителя работ, представителя РСП, службы пути железной дороги, на которой выполняется алюминотермитная сварка рельсовых элементов стрелочных переводов, и представителя ВНИИЖТ МПС РФ. При положительном результате испытаний сварка рельсов этой партией термита может производиться в течение двух месяцев. В последующем должны проводиться повторные испытания каждые два месяца.

В табл. 12.4 приведены наименьшие приемочные значения прочности и пластичности рельсов, сваренных термитом, при статическом поперечном изгибе.

Т а б л и ц а 12.4

Зона растяжения образцов при пролете в 1 м	Разрушающая нагрузка, кН, для рельсов типа		Стрела прогиба, мм, для рельсов типа	
	P65	P50	P65	P50
Подошва (нагружение на головку)	1500	1000	20	20
Головка (нагружение на подошву)	1250	850	15	15

Работы по сварке рельсов производятся на закрытом для движения поездов стрелочном переводе. При подготовке рельсов к сварке удаляется мазут и смазка со свариваемых поверхностей, стыковой зазор между торцами рельсов устанавливается размером 24—26 мм. Затем делается предварительное возвышение концов рельсов с помощью клиньев на 1—1,5 мм с целью компенсации усадки сварного шва, для чего освобождаются болты промежуточных рельсовых креплений не менее чем на трех шпалах в каждую сторону от стыка.

После постановки на стык и закрепления сварочных полуформ, зазоры в которых промазываются уплотняющим огнеупорным песком, приступают к предварительному прогреву концов рельсов подводящей кислородно-пропановой газовой смесью. Длительность подогрева определяется профилем рельсов и применяемой технологией сварки и составляет примерно 2—8 мин.

После завершения предварительного подогрева стыка горелка снимается, над полостью формы размещается тигель с порцией термита и вводится высокотемпературный запал (рис. 12.2). Масса термитной порции зависит от применяемой сварочной технологии, типа рельсов и их твердости. Через несколько секунд, по мере прохождения реакции восстановления и легирования железоуглеродистого сплава, запорное устройство тигеля автоматически открывается, и жидкий металл заливается в форму по сечению рельса. Для протекания процесса кристаллизации металла сварного шва требуется 3—4 мин. Избыточный металл и

шлак выливаются в специальные кюветы, имеющиеся у сварочной формы.

Освобожденный от полуформ сварной стык обрабатывается сначала вручную, затем механизированным способом путем срезки грата и литников по поверхности катания и боковым граням головки рельса в горячем состоянии. Для нормализации металла сварные стыки рельсовых элементов стрелочных переводов путей 1—3-го класса подвергаются нагреву подошвы рельсов газопламенными горелками. После этого производится в два этапа механическая обработка сварного стыка по поверхности катания и боковым граням головки рельса абразивным инструментом. Остальная приливная часть профиля сварного рельсового стыка зачищается стальной щеткой от остатков песчаной формовочной смеси. Окончательная шлифовка производится после остывания стыка. После первого этапа грубой шлифовки допускается пропуск поездов по стыку со скоростями до 25 км/ч.

Для проведения сварки в тоннелях и метрополитенах применяется специальное оборудование для отсасывания газов, выделяющихся при сварке, с фильтром для очистки воздуха. На сварочное устройство устанавливаются защитные экраны, которые препятствуют разлетанию искр, возникающих при сварке.

Весь сварочный цикл выполняется в течение 40 мин, а сам процесс сварки занимает не более 25 мин.

Для сварных стыков стрелочных переводов, лежащих на путях со скоростями движения свыше 120 км/ч, в месте термитной сварки на длине 1 м допускаются местные неровности по направлению вверх и в горизонтальной плоскости не более 0,2 мм. Для других категорий путей — не более 0,3 мм. Прогиб вниз (седловины) в сварных стыках не допускается.

Твердость металла в зоне сварных стыков должна соответствовать твердости металла прокатных рельсов. Допускается снижение твердости в сварных термитных стыках относительно нижней границы на 10 %, а в переходных зонах — до 15 %.

Качество сварки стыков контролируется ультразвуковым методом. При отсутствии ультразвукового контроля в сварных стыках стрелочных переводов главных путей целесообразна установка предохранительных накладок, изготавливаемых из типовых стыковых накладок (рис. 12.3).

При эксплуатации сварных стыков контроль за их состоянием осуществляется визуально с периодичностью, предусмотренной для осмотров стрелочных переводов, а также дефектоскопными средствами по графику в соответствии с приказом 2Ц от 17.04.97 г.

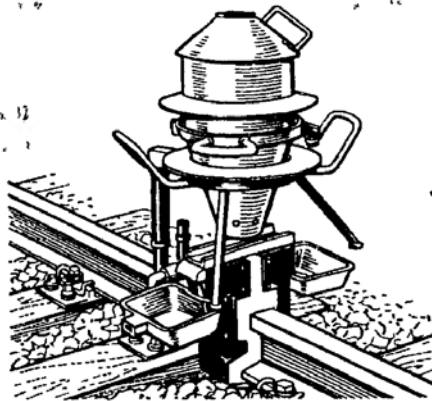


Рис. 12.2. Устройство для термитной сварки рельсов

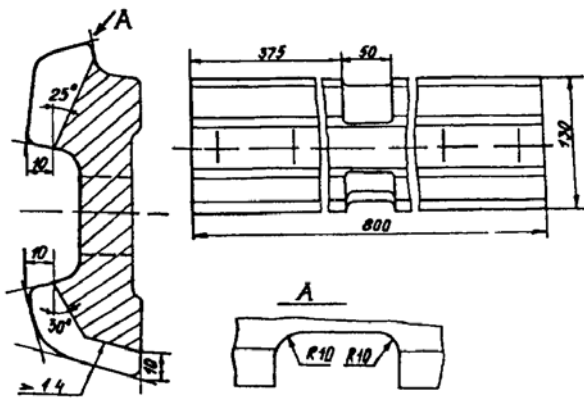


Рис. 12.3. Предохранительная накладка

При прохождении на экспериментальном кольце ВНИИЖТа полигонных испытаний стрелочных переводов со стыками, сваренными алюминотермитным способом, не было изъято ни одного стыка по причине дефектов в зоне сварки. По сварным стыкам было пропущено более 200 млн. т брутто груза. Установленный гарантийный срок службы сварных стыков стрелочных переводов, выполненных алюминотермитным способом, для рельсов типа Р65 составляет 100 млн. т брутто пропущенного по ним груза, но не более трех лет со дня проведения сварочных работ.

12.4. СПЕЦИАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ В ЗОНАХ ПРИМЫКАНИЯ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ К СВАРНЫМ СТРЕЛОЧНЫМ ПЕРЕВОДАМ

Для погашения продольных температурных сил, возникающих в рельсовых плетях, стрелочные переводы отделяются от бесстыкового пути двумя парами уравнительных рельсов с каждой стороны перевода. Это типовое решение, записанное в ТУ-2000, не может быть использовано на участках, примыкающих к сварным стрелочным переводам на скоростных линиях.

На железнодорожных линиях МПС РФ со смешанным грузопассажирским движением со скоростями пассажирских поездов до 200 км/ч и грузовых до 100 км/ч для компенсации температурных деформаций рельсовых плетей применяются уравнительные стыки или устраиваются специальные переходные участки.

Опытная конструкция уравнительного стыка разработана стрелочной лабораторией ВНИИЖТа совместно с ПТКБ ЦП МПС. Уравнительный стык защищает стрелку и крестовину от взаимного смещения их элементов, нарушающего нормальную работу переводных механиз-

мов и внешних замыкателей, а также создающего условия для нарушения безопасного движения по стрелочному переводу. Наибольшее компенсируемое продольное перемещение составляет ± 50 мм.

В зависимости от расположения стрелочного перевода относительно примыкающих участков бесстыкового пути применяются различные схемы установки уравнительных стыков. На рис. 12.4 приведены некоторые типовые схемы их расположения.

Основными элементами уравнительного стыка являются: подвижной рельс, остряк, железобетонные брусья и специальные крепления.

Подвижной рельс представляет собой рельс типа Р65, один конец которого приваривается к окончанию рельсовой плети. Другой конец рельса — свободный и отогнут наружу колеи по круговой кривой радиусом 60 м. Компенсация продольных температурных перемещений конца рельсовой плети происходит за счет смещения подвижного рельса относительно остряка.

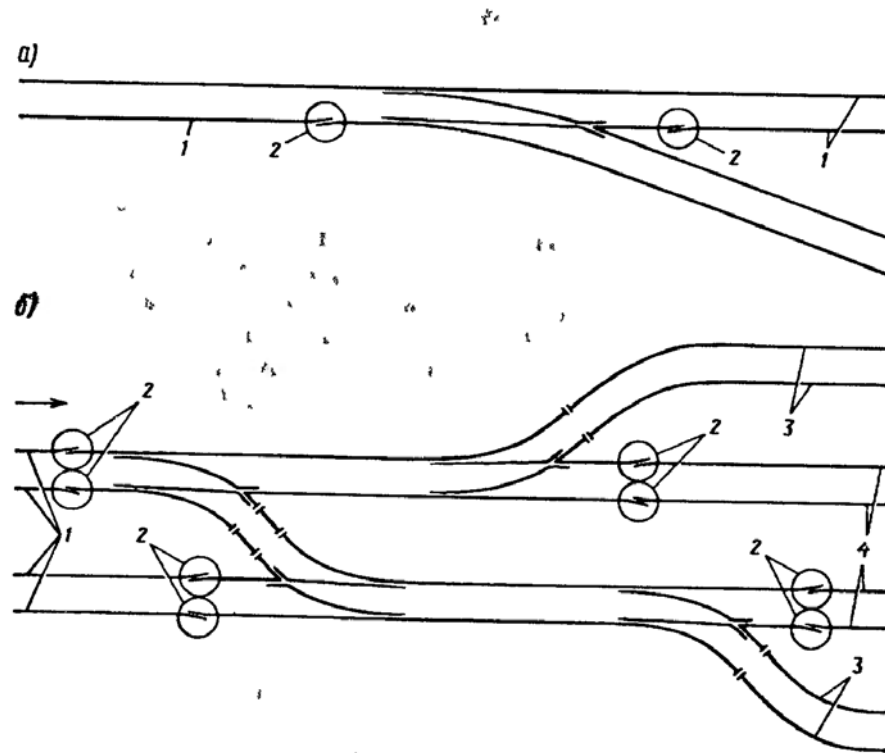


Рис. 12.4 Примеры схем установки уравнительных стыков для защиты стрелочных переводов от температурных деформаций
 а — в средней части бесстыковой плети б — в горловине станции 1 — бесстыковая плеть перегона; 2 — уравнительный стык, 3 — станционный путь 4 — бесстыковая плеть главных станционных путей

Остряк изготавливается из острякового профиля ОР 65 с приварным рельсовым окончанием. В зоне прилегания к подвижному рельсу головка остряка острогана.

Соединение остряка и подвижного рельса выполнено по схеме "косой стык". Закрепление рельсовых элементов осуществляется с помощью специальных креплений, смонтированных на железобетонных брусках.

Конструкция железобетонных брусков позволяет монтировать на них уравнильные стыки как по одной рельсовой нити, так и по двум одновременно. Всего в состав подрельсового основания уравнильного стыка входит 7 специальных железобетонных брусков одного типа-размера и 18 типовых железобетонных шпал.

Полная длина уравнильного стыка составляет 12,5 м.

Монтаж уравнильного стыка при температуре закрепления примыкающей рельсовой плети выполняется в три этапа:

- 1) сборка стыка на стенде на типовых железобетонных шпалах и специальных брусках;
- 2) укладка собранного блока стыка на месте постоянной эксплуатации;
- 3) приварка рельсовых элементов уравнильного стыка к примыкающим участкам бесстыкового пути.

В случае укладки уравнильного стыка при температуре, отличающейся от температуры закрепления плети, положение отогнутого конца подвижного рельса относительно острия остряка корректируется на величину температурной деформации в диапазоне разницы температур закрепления плети и укладки уравнильного стыка. Величина поправки определяется согласно Техническим указаниям по устройству, укладке и содержанию бесстыкового пути (п. 2.6).

Остряк уравнильного стыка располагается со стороны стрелочного перевода.

Приварка рельсовых элементов уравнильного стыка к примыкающим рельсам осуществляется сразу после укладки. Возможна постановка стыков в накладки, которые в течение двух месяцев должны быть сняты, а стыки сварены.

Сварка рельсовых элементов уравнильного стыка с примыкающими рельсами выполняется со стороны стрелочного перевода алюминотермитным способом, со стороны бесстыкового пути — электроконтактным.

Другой конструкцией, обеспечивающей снижение уровня продольных температурных сил, передаваемых с примыкающих участков бесстыкового пути на стрелочный перевод, являются переходные участки. Устройство переходных участков ограничивает величину продольных перемещений примыкающих к стрелочному переводу рельсов до ± 5 мм.

Переходные участки являются продолжением примыкающего со стороны перегона (станции) бесстыкового пути. Они устраиваются с обеих сторон стрелочного перевода. Длина переходного участка — 100 мм.

Переходный участок пути состоит из следующих элементов: рельсовых плетей перегонных или станционных путей, сваренных из новых термически упрочненных рельсов типа Р65; креплений КБ-65 с упругими пружинными клеммами типа "Фоссл" с натяжением клеммных болтов, обеспечивающим прижатие рельса к подкладке с усилием 24 кН;

в качестве подрельсового основания применяются типовые железобетонные шпалы, уложенные по эпюре 2120 шт./км (53 шпалы на звено длиной 25 м). После переходного участка на протяжении 25 м в сторону перегона (станции) эпюра шпал уменьшается до 1840 шт./км (2000 шт./км);

балласта из щебня марки не ниже И-20 фракции 25—60; толщина балласта под шпалой — 40 см, плечо балластной призмы — 45 см. Балластная призма уплотняется динамическими стабилизаторами или специальными балластно-уплотнительными машинами и обеспечивает сопротивление продольному сдвигу шпал в балласте не менее 200 Н/см.

**СФЕРЫ ЦЕЛЕСООБРАЗНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПУТИ,
УЛОЖЕННОГО 25-МЕТРОВЫМИ РЕЛЬСАМИ, В РАЙОНАХ
С БОЛЬШИМИ ТЕМПЕРАТУРНЫМИ АМПЛИТУДАМИ**

**13.1. ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ РАБОТЫ
25-МЕТРОВЫХ РЕЛЬСОВ НА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛАХ
В РАЙОНАХ С БОЛЬШИМИ ТЕМПЕРАТУРНЫМИ АМПЛИТУДАМИ**

К длинным относятся рельсы, у которых нулевой зазор образуется при температуре $t_0 < t_{\max}$ для данного района и дальнейшее повышение температуры вызывает нажатие торцов смежных рельсов с образованием в них дополнительных продольных сил (рис. 13.1).

После смыкания торцов рельсов дополнительная продольная температурная сила определяется, как и для бесстыкового пути, по формуле:

$$N_t'' = \alpha E F'' \Delta t, \quad (13.1)$$

где $\alpha E = 0,0000118 \cdot 2,1 \cdot 10^6 = 2500$ кПа; F'' — площадь поперечных сечений двух рельсов; Δt — повышение температуры рельса после замыкания стыкового зазора.

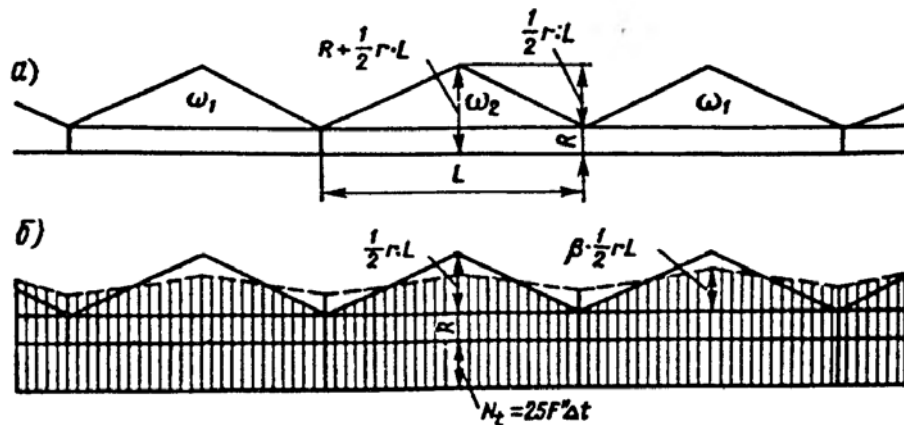


Рис. 13.1. Эпюры продольных температурных сил в длинном рельсе для различных стадий его работы:

a — стыковое и погонное сопротивление преодолены, рельс удлиняется как свободный стержень, зазоры в стыках больше нуля. *б* — произошло смыкание стыковых зазоров, рельс добавочно нагрелся на величину Δt , в результате чего образовалась добавочная продольная сила N_t . Штриховыми линиями показана фактическая эпюра продольных сил (ее площадь заштрихована) от погонного сопротивления с учетом динамического воздействия проходящих поездов

Максимальная продольная сжимающая сила в середине рельса длиной L без учета встряхивания пути поездами

$$N' = R + \frac{1}{2} rL + N_t' \quad (13.2)$$

где R — сила сопротивления в стыках; r — погонное сопротивление рельса; N_t' — дополнительная продольная сила на один рельс от повышения температуры.

При клеммном нормально затянутом промежуточном скреплении на железобетонных шпалах "встряхивание" незначительно изменяет эпюру, изображенную на рис. 13.1, *a*. Чтобы определить значение возможных продольных сил и правильно рассчитать зазоры, строят температурную диаграмму работы рельса (рис. 13.2). По горизонтальной оси откладывают температуру рельса, по вертикальной — размер зазора. Изменение длины свободного стержня, каким был бы рельс при отсутствии погонного сопротивления и сопротивления накладок в стыках, на температурной диаграмме характеризуется прямой AB . В точке A зазор был бы равен нулю, а в точке B — максимально расчетному $\lambda_{\text{расч}}$.

Если укладка рельса произведена с зазором, характеризуемым точкой M , то при понижении температуры на значение $t_{\text{нл}}$, необходимое для преодоления сопротивления накладок в стыках, зазор не изменится, что отразится на диаграмме прямой $M-I$. В процессе дальнейшего понижения температуры рельс начнет укорачиваться, преодолевая погонное сопротивление; зазор при этом увеличивается по закону квад-

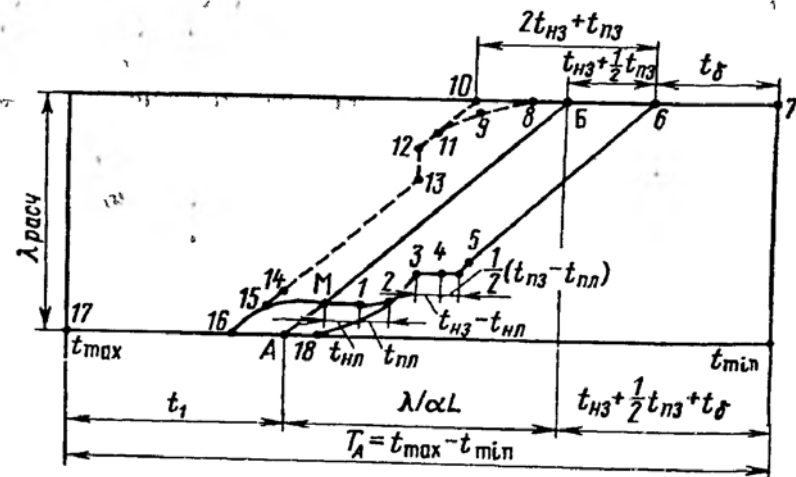


Рис. 13.2. Температурная диаграмма работы длинных рельсов

ратной параболы (1 — 2). После падения температуры на $t_{нл} + t_{пл}$ все сопротивления на длине рельса будут преодолены, и зазор будет изменяться по закону прямой, параллельной AB (2 — 3).

При отрицательных температурах сопротивления смещениям сечения рельса возрастут и для их преодоления необходимо будет дополнительное понижение температуры на величину $(t_{нз} - t_{нл}) + (t_{пз} - t_{пл})$; на диаграмме появится горизонтальный отрезок и квадратная парабола, после чего зазор будет изменяться по закону прямой параллельной AB (5 — 6).

В точке 6 зазор достигнет расчетного максимума, и дальнейшее понижение температуры t_6 может быть не более значения, определяемого возможностью нагружения болтов срезающим усилием. В случае минимальной температуры рельса зазор становится равным рассчитанному максимальному, накладки растянуты, болты воспринимают срезающее усилие.

Повышение температуры рельса приведет сначала к снятию напряжений в болтах, затем к ликвидации растягивающих усилий в накладках и образованию в них аналогичных сжимающих сил, на что требуется перепад температур $2t_{нз}$ (6 — 8). Перемещение конца рельса при преодолении погонного сопротивления на участке 8—9—11 происходит по квадратной параболе. Начиная с точки 11, характеризующей полное преодоление погонного сопротивления, зазор изменяется по закону прямой AB (11—12). В точке 12 при переходе от зимы к лету скачкообразно снизится сопротивление в накладках и погонное сопротивление, что показано на диаграмме условно вертикальным отрезком 12—13. При дальнейшем повышении температуры зазор уменьшается по линейному закону (13 — 16). В точке 16 он будет равен нулю, начнется нажим торцов рельсов друг на друга. С возрастанием продольных сжимающих сил при повышении температуры до t_{max} (точка 17) максимальное значение t_1 определяется максимально допустимой продольной силой в двух рельсах, устанавливаемой, как правило, по условию устойчивости данной конструкции пути. Повторное понижение температуры от точки t_{max} приведет сначала к снятию торцевого нажатия, затем смене сжимающего напряжения в накладках растягивающим, на что потребуется изменение температуры на $2t_{нз}$; далее зазор будет увеличиваться по закону квадратной параболы и после преодоления погонного сопротивления — по закону прямой.

Когда решается задача о возможной годовой температурной амплитуде T_A для рельсов известной длины (например для стандартных длиной 25 м), необходимо параметры $t_{нз}$, $t_{пз}$ и t_6 отнести к двум рельсовым ниткам. Их написание теперь будет $t''_{нз}$, $t''_{пз}$ и t''_6 . В связи с этим при известных значениях L на основании рис. 13 2

можно написать, что температурная амплитуда рельса T_A будет следующей:

$$T_A = t_1 + \frac{\lambda}{\alpha L} + t''_{нз} + \frac{t''_{пз} + t''_6}{2}, \quad (13.3)$$

где λ — расчетный стыковой зазор.

Результаты расчетов показывают, что величина $t''_{пз}/2$, входящая в формулу (13.3), незначительно влияет на изменение длины рельса и во многих случаях при анализе работы 25-метровых рельсов ее можно принимать равной 2 °С, что соответствует погонному сопротивлению 6,4 кг/см нитки¹. В этом случае формула (13.3) упрощается:

$$T_A = t_1 + \frac{\lambda}{\alpha L} + t''_{нз} + t''_6 + 2. \quad (13.4)$$

При известной годовой амплитуде T_A , преобразуя формулу (13.3), можно получить наибольшую длину рельса для данных условий эксплуатации:

$$\max L = \frac{\lambda}{\alpha} \cdot \frac{1}{T_A - t_1 - t''_{нз} - t''_6 - 0,5 t''_{пз}} \quad (13.5)$$

или

$$\max L = \frac{\lambda}{\alpha} \cdot \frac{1}{T_A - t_1 - t''_{нз} - t''_6 - 2}. \quad (13.6)$$

Для решения задач по формуле (13.6) необходимо знать величину t_1 — температуру, определяющую максимальную допустимую продольную силу в рельсах (после образования нулевого зазора), которая может быть допущена по условию устойчивости рельсошпальной решетки. Решение поставленной задачи о возможных способах увеличения расчетной длины рельса L или увеличения годовой амплитуды укладки T_A при стандартной длине рельса 25 м проводилось комплексно.

¹ Длина рельсов, рассчитанная по точной формуле (13.5) и по приближенной (13.6), отличается не более чем на 1 %, что в условиях определенного разброса исходных данных вполне допустимо

Таблица 13.1

На основе исследований ученые ВНИИЖТа разработали предложения по повышению морозостойкости рельсовой стали, увеличению конструктивного стыкового зазора за счет увеличения диаметров болтовых отверстий с упрочнением кромок последних, повышению сопротивлений стыков растяжению—сжатию за счет увеличения числа болтов и повышения момента их затяжки, упрочнению болтов за счет увеличения их диаметров и термообработки и т. д.

Лаборатория бесстыкового пути смогла провести цикл испытаний устойчивости рельсошпальной решетки на стенде, позволивший установить нормы применения в местах с суровым климатом бесстыкового пути или звеньевых с рельсами длиной 25 м. Всего на стенде было проведено 12 опытов. Рельсы длиной 25 м были старогодные; шпалы — деревянные с эпюрой 1840 шт./км, а также старогодные; промежуточные крепления — костыльные; стыковые — стандартные с четырехдырными накладками и "сырыми" болтами; балласт — щебеночный. Такой вариант верхнего строения обычен в процессе эксплуатации. Всякие усиления и усовершенствования идут в "запас" устойчивости.

В одном опыте было проверено влияние эксцентриситета передачи продольных сил через стык (в зазор вложили пластинку). Методика испытаний была типовая (как при сварных плетях). В процессе нагрева фиксировали первое и второе критические состояния. Было выявлено, что звеньевой путь без зазоров (но при $e = 0$) при нагреве ведет себя как и бесстыковой (сварной). Форма искривления путевой решетки в начале и в конце процесса аналогичны. При $e \neq 0$ устойчивость звеньевых пути уменьшается по сравнению с бесстыковым.

Эти результаты позволили распространить выводы и на кривые участки пути. В результате были рекомендованы допускаемые по условию устойчивости пути повышения температуры рельсов звеньевых пути по сравнению с температурой при замыкании зазоров (табл. 13.1). В табл. 13.1 приводятся величины возможного нагрева рельсовых плетей (рельсы Р65, эпюра шпал 2000 шт./км, балласт-щебень) при которых возникают продольные силы, близкие к критическим Δt_y . Для звеньевых пути $\Delta t_y^{зв} = 0,9 \Delta t_y^{бесст}$. При деревянных шпалах Δt_y меньше, чем при железобетонных.

Критические силы при других типах рельсов могут быть получены при помощи коэффициента η_1 : для Р50 $\eta_1 = 0,9$, для Р75 $\eta_1 = 1,15 \div 1,20$.

Коэффициент шпал η_2 зависит от их эпюры и пропорционален расстоянию между осями. Для станционных путей, где разрешаются эпюры 1600 и 1440 шт./км, η_2 равны соответственно 0,87 и 0,78.

Конструкция пути	Допускаемое повышение температуры рельсовой плиты Δt_y^* в кривых радиусом, м							
	1200	1000	800	600	500	400	350	300
<i>Железобетонные шпалы</i>								
Бесстыковой	50	49	47	42	39	35	31	27
Звеньевой, длина рельсов 25 м	45	44	42	38	35	32	28	24
<i>Деревянные шпалы</i>								
Бесстыковой	44	43	41	37	34	31	27	23
Звеньевой, длина рельсов 25 м	40	39	37	33	31	28	24	21

* Для звеньевых пути величина Δt_y соответствует значению t_1 на рис. 13.2.

Лабораторными испытаниями сопротивлений повороту рельсов относительно шпал в горизонтальной плоскости с отдельными креплениями установлена незначительная угловая жесткость костыльных креплений по сравнению с жесткостью отдельного крепления КБ и большая узловая податливость, т. е. меньшая жесткость крепления ЖБР по сравнению с КБ. Однако при стендовых испытаниях бесстыкового пути как при деревянных шпалах с костыльными креплениями, так и при железобетонных шпалах со креплениями ЖБР допустимые значения критических сил оказались ниже, чем при отдельных креплениях. В связи с этим при креплениях, отвечающих требованиям ТУ, коэффициент, учитывающий тип креплений, $\eta_3 = 1,0$.

Большая часть опытов по определению устойчивости пути при отдельных креплениях проводилась с новыми элементами верхнего строения пути. Опыты же с деревянными шпалами и костыльными креплениями проводились со старогодными элементами. Но допускаемые продольные усилия в таком пути оказались все же не ниже значений для пути с новыми деревянными шпалами и отдельными креплениями. Поэтому коэффициент крепления η_3 может быть во всех случаях принят равным единице.

В расчетную формулу (13.3) для определения T_A входит член t_{13} и, казалось бы, что, резко увеличив стыковое сопротивление (например, применяя высокопрочные болты), можно получить значительное уве-

13.2. РАСЧЕТНЫЕ РАЗМЕРЫ СТЫКОВЫХ ЗАЗОРОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА УСЛОВИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РЕЛЬСОВОГО ПУТИ И КОЛЕС ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

личение величины T_A . Однако, если за счет сильного сжатия накладок создать очень большое стыковое сопротивление, то может оказаться такое положение, когда при нагревании наступает нарушение устойчивости пути, а изменение зазора все еще не происходит. Поэтому выдвигается требование, согласно которому стыковое сопротивление по двум рельсовым нитям $R''_н$ с учетом добавочной продольной силы

в середине рельса за счет погонного сопротивления $\frac{r''L}{2}$ не может превышать наибольшую расчетную продольную критическую силу N_k по условию устойчивости. Отсюда

$$R''_н + \frac{r''L}{2} \leq \beta N_k, \quad (13.7)$$

где β — коэффициент запаса; $\beta < 1$.

При переходе от $N_k^{\text{бесст}}$ к $N_k^{\text{зв}}$ берем коэффициент запаса, равный 0,9 ($N_k^{\text{зв}} = 0,9N_k^{\text{бесст}}$), имея в виду, что расчетные значения N_k существенно ниже уровня закритических сил N_3 , при которых происходит выброс пути. В случае использования зависимости (13.7) при излишнем крутящем моменте гаечного ключа звеньевой путь превращается в непрерывную плетть, возможность снятия продольных сил при удлинении 25-метрового рельса исчезает. В результате нарушение устойчивости такой конструкции может иметь место при наличии стыкового зазора.

Учитывая вышеизложенное, принимая $\beta = 0,8$ и используя выражение (13.7), а также $\frac{1}{2}t''_н = 2^\circ\text{C}$, получаем простую зависимость между $t_н$ и t_1 .

$$t''_н < 0,8t_1 - 4. \quad (13.8)$$

Максимальные значения $t''_н$ стыкового сопротивления (по одной рельсовой нити), полученные по формуле (13.8), оказываются, в ряде случаев, меньшими, чем сопротивление шестидырных накладок в стыке, образованное с применением специального гаечного ключа. Для рельсов Р65 специальным гаечным ключом длиной 1 м и усилием рабочего 500—600 кН можно получить сопротивление по одной нитке при шестидырной накладке 350—405 кН, а по двум нитям — 700—810 кН, что соответствует $t''_н = 35\div 40,6^\circ\text{C}$. Сопоставим эти цифры с данными табл. 13.1. Можно убедиться, что уже при радиусе кривой 600—800 м при такой большой затяжке болтов нарушение устойчивости пути может наступить еще до начала движения рельса в накладках.

Расчетный стыковой зазор определяется наибольшим его конструктивным размером λ_{max} и допусками в содержании $\pm\Delta\lambda$. Максимальный конструктивный зазор зависит от диаметров отверстий в рельсах d и накладках, а также стыковых болтов. Увеличение зазора приводит к повышению динамического воздействия в зоне стыка. Интенсивность возрастания воздействия на путь колес подвижного состава при различных размерах стыкового зазора исследована во ВНИИЖТе В. Ф. Барабошиным и Н. И. Ананьевым. В процессе экспериментов зазоры последовательно принимали равными 5, 10, 20, 30 и 40 мм. Зазор больше конструктивного создавали шестидырными накладками. Статические осевые нагрузки вагонов были 205 кН, скорость движения — 70 км/ч. Изменения наибольших ускорений рельсов, шпал, балласта и нагрузок на опоры при увеличении зазора от 0 до 40 мм приводятся в табл. 13.2 и графиках на рис. 13.3.

Анализ данных исследований показал, что увеличение стыкового зазора до 26—28 мм не вызывает резкого ухудшения работы элементов пути в зоне стыка и в определенных условиях эксплуатации может быть допущено (при шестидырных накладках, хорошо закрученных гайках болтов и т. д.). Конструктивные размеры зазоров λ_{max} при различных диаметрах отверстий в рельсах d будут следующие: $d = 36$ мм, $\lambda_{\text{max}} = 23$ мм; $d = 40$ мм, $\lambda_{\text{max}} = 27$ мм. С учетом допусков на содержание ± 2 мм расчетными зазорами $\lambda_{\text{расч}}$ следует считать: при $\lambda_{\text{max}} = 27$ мм $\lambda_{\text{расч}} = 23$ мм; $\lambda_{\text{max}} = 23$ мм $\lambda_{\text{расч}} = 19$ мм. Используя материалы табл. 13.1, расчетные формулы (13.6) и (13.8), определим годовую температурную амплитуду T_A для расчетных зазоров $\lambda_{\text{расч}}$ равных 19 и 23 мм.

Учитывая, что стыковое сопротивление в накладках в процессе эксплуатации снижается, в табл. 13.3 приводятся значения T_A для следующих величин $t_н$: при $R = 300, 350$ и 400 м $t_н = 5$ и 10°C ; при $R = 500$ м $t_н = 10$ и 15°C .

Таблица 13.2

Параметр	Значение параметра, %, при размере зазора, мм				
	0	10	23	30	40
Ускорение шпал	100	112	117	142	208
Ускорение балласта	100	113	120	150	180
Ускорение рельса	100	104	110	141	200
Нагрузки на опоры	100	101	104	115	148

Таблица 13.3

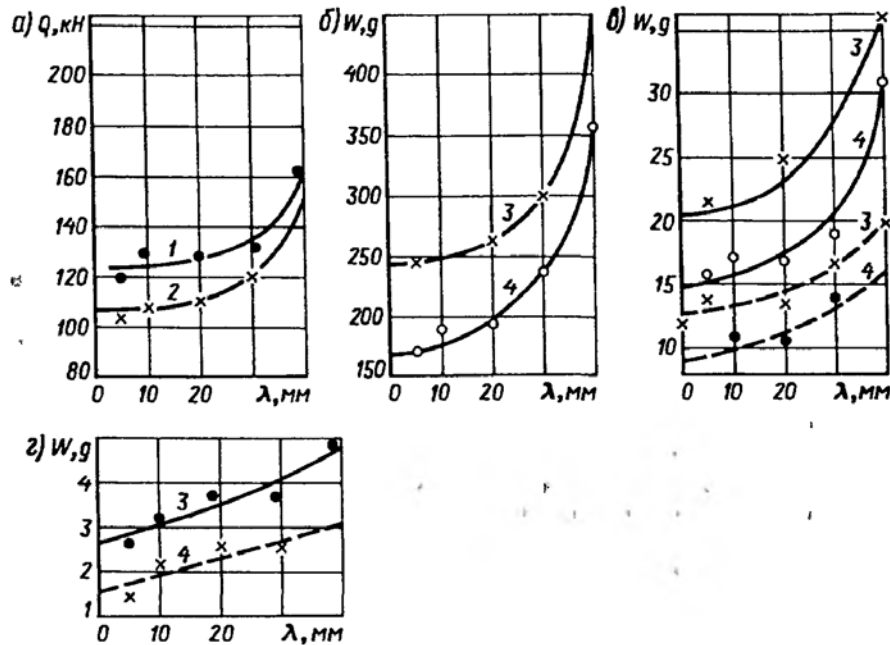


Рис. 13.3. Кривые влияния размера зазора λ на нагрузки (а) и ускорения принимающего конца рельса (б), стыковой шпалы под принимающими (сплошная линия) и отдающими (штриховая) концами рельса (в), в балласте в стыковом шпальном ящике (г): 1 — Q_{max} при $v = 70$ км/ч; 2 — Q_{cp} при $v = 70$ км/ч; 3, 4 — соответственно при $v = 70$ км/ч и $v = 40$ км/ч

Из материалов табл. 13.3 видно, что при расчетном зазоре $\lambda_{расч} = 19$ мм, даже если включить в работу на срез стыковые болты, в кривых радиусов 300—400 м в районах с годовой амплитудой $T_A \geq 110$ °С звеньевой путь с рельсами длиной 25 м не может эксплуатироваться без периодических (два раза в год) разрядок температурных напряжений.

При увеличении отверстий в рельсах с 36 до 40 мм максимальная величина стыкового зазора λ_{max} возрастает с 23 до 27 мм, что позволяет (с учетом допусков на содержание) иметь конструктивный расчетный зазор $\lambda_{расч} = 25 \pm 2$ мм — 23 мм (что является достаточным с позиции устойчивости пути летом и недопущения разрыва плетей зимой). При $\lambda_{расч} = 23$ мм, $t_6 = 5$ °С и $t_H = 10$ °С представляется возможным эксплуа-

Радиус R , м	Тип шпал	Годовая температурная амплитуда T_A , при которой возможна укладка и эксплуатация (без сезонных разрядок) рельсовых звеньев длиной 25 м					
		$t_H = 5$ °С		$t_H = 10$ °С		$t_H = 15$ °С	
		$\lambda_{расч} = 19$	$\lambda_{расч} = 23$	$\lambda_{расч} = 19$	$\lambda_{расч} = 23$	$\lambda_{расч} = 19$	$\lambda_{расч} = 23$
300	Деревянные	92/97	108/113	97/102	113/118	—	—
	Железобетонные	95/100	111/116	100/105	116/121	—	—
350	Деревянные	95/100	111/116	100/105	116/121	—	—
	Железобетонные	99/104	115/120	104/109	120/125	—	—
400	Деревянные	99/104	115/120	104/109	120/125	—	—
	Железобетонные	103/108	119/124	108/113	124/129	—	—
500	Деревянные	102/107	118/123	107/112	123/129	107/112	121/126
	Железобетонные	108/111	122/127	111/116	127/132	111/116	135/135

Примечание. В числителе приведены данные при неключении стыковых болтов на срез (при $t_6 = 0$), в знаменателе — с учетом восприятия части продольных сил, эквивалентных добавочному снижению температуры рельса на 5 °С ($t_6 = 5$ °С).

тировать звеньевой путь с рельсами длиной 25 м в районах с годовыми перепадами температур $T_A = 116 \div 121$ °С при деревянных шпалах и $T_A = 118 \div 127$ °С при железобетонных.

Проведенные на экспериментальном кольце полигонные испытания термообработанных рельсов с отверстиями в шейке 40 мм и эксплуатационные испытания на участках Северо-Кавказской железной дороги (Белореченская — Майкоп и Ростов — Пчеловодческая) показали надежность работы этой конструкции при правильном содержании стыков, перекрытых шестидырными накладками.

Изготовление значительной партии рельсов с отверстиями 40 мм (вместо стандартных 36 мм) с одновременным упрочнением металла высверленной в шейке поверхности не удалось согласовать на Кузнецком металлургическом комбинате в предыдущие годы из-за необходимости значительных затрат на проектирование и установку нового добавочного оборудования. Учитывая условия рыночной экономики и острую необходимость изготовления отдельных партий рельсов с упрочненными отверстиями $d = 40$ мм для дорог Дальнего Востока, этот вопрос необходимо включить в план новой техники.

**13.3. ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ
НА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛАХ.
ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ НА ПЕРЕВАЛЬНЫХ УЧАСТКАХ**

Бесстыковой путь на железобетонных шпалах — значительно более жесткая конструкция, чем путь на деревянных шпалах. Специально проведенными экспериментами в процессе прохождения грузовых поездов на главных путях Западно-Сибирской железной дороги (рельсы Р65, шпалы деревянные и железобетонные, эпюра 1840 шт./км, электротяга) были получены следующие значения расчетных модулей упругости пути $\epsilon_{расч}$ для летних и зимних условий (табл. 13.4).

При уменьшении податливости пути его неравноупругость уменьшается. С этой точки зрения динамическое воздействие колес на рельсы при железобетонных шпалах должно быть меньше, чем при деревянных.

На скоростных железных дорогах Японии, Франции, Германии уложен бесстыковой путь на железобетонных шпалах при практически полном отсутствии на поверхности головки волнообразного износа. Пассажиры в поездах не ощущают каких-либо динамических воздействий. Имеет место действительно "бархатный путь", хотя под рельсом располагаются относительно тонкие (4—5 мм) прокладки из полимерных материалов. Но если не удален волнообразный износ, колеса имеют местные неровности, и тем более, если периодически оси вагонов перескакают рельсовые стыки, то при железобетонных шпалах комфортабельность езды резко снижается. Одновременно отмечаются повышенные (против того, что имели место при деревянных шпалах) динамические воздействия колес на рельсы: резко возрастает вибрация рельсошпальной решетки и подшпального основания, ускоренно накапливаются остаточные деформации. Весь этот процесс заметно прогрессирует при увеличении скоростей движения поездов.

Из изложенного вытекает, что по ряду технических и экологических требований звеньевой путь на железобетонных шпалах при высоких скоростях движения и большой грузонапряженности имеет ряд существенных недостатков. Однако включим в исследование элементы технико-экономического анализа.

Таблица 13.4

Тип шпал	Количество шпал на 1 км, шт.	$\epsilon_{расч}$, кПа	
		Лето	Зима
Железобетонные	1840	100 000	170 000
	2000	110 000	185 000
Деревянные	1840	26 000	45 500
	2000	30 000	49 000

При годовых перепадах температур рельсов $T_A \geq 105+110$ °C и наличии кривых радиусом 300—400 м бесстыковой путь нельзя применять: при t_{max} может иметь место нарушение устойчивости рельсошпальной решетки; если уложиться в разрешенное повышение температуры, равное t_1 (см. рис. 13.2), то в зимнее время может иметь место излом рельса под поездом с образованием зазора до 70—90 мм, что может повлечь сход колес с рельсов. В настоящее время на перевальных участках в кривых радиусами 300—400 м укладывают звеньевой путь на деревянных шпалах с костыльным скреплением. При расчетном зазоре 19 мм бригадам приходится два раза в год делать регулировку зазоров с укладками укороченных или удлиненных "рубков". Все это, включая воздействия больших горизонтальных сил от колес подвижного состава, приводит к непрерывному уширению рельсовой колеи, "измочаливанию" шпал в зоне костыльных отверстий, ускоренному выходу древесины. Многие бригады в целях недопущения уширения колеи укладывают три—пять железобетонных шпал на звене длиной 25 м, тем самым создавая повышенную неравноупругость пути. Укладка на этих участках 25-метровых звеньев на железобетонных шпалах при наличии в рельсах упрочненных отверстий диаметром 40 мм позволяет иметь расчетный зазор $\lambda_{расч} = 23$ мм, что может исключить сезонные регулировки зазоров. Более надежная связь между собой правой и левой рельсовой нити исключит частые перешивки пути. Не потребуются частая смена деревянных шпал. Все это плюсы.

Но остается открытым вопрос о стыках на железобетонных шпалах. Все вышеизложенное в полной мере относится и к пути на деревянных шпалах. Однако ударно-динамическое воздействие колес на рельс при жестком железобетонном основании оказывается существенно большим.

В зоне стыков непрерывность рельсовой нити прерывается, стык перекрывается накладками, которые входят в пазуху рельса, обеспечивая практически полную передачу продольной силы (при хорошо затянутых болтах) и только частичную передачу изгибающего момента в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

При проходе колеса через зону стыка (рассматривая стык как упругий шарнир) повышенный прогиб концов рельсов образует уголок, вследствие чего колесо при перекаtywании реализует ударное воздействие с головкой конца принимающего рельса (рис. 13.4). В зависимости от конструкции накладок, силы стягивания их болтами, состояния пути величина просадки рельсовой нити в зоне стыка может превышать аналогичную просадку в средней части рельса в 1,3—1,5 раза. На кривых участках пути радиусами 300—350 м "уголок" в плане в зоне стыка может достигать 1°30'—2°10' и более.

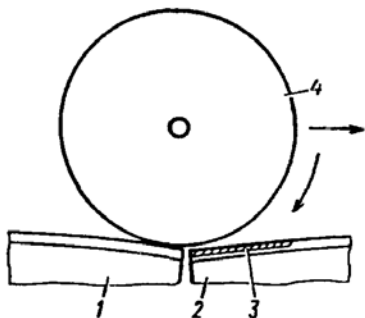


Рис. 13.4. Схема взаимодействия колеса и рельса в момент перехода через стык: 1 — отдающий конец рельса; 2 — принимающий конец рельса; 3 — зона ударного взаимодействия колеса и рельса; 4 — колесо

Динамическое воздействие колес на рельс в стыке возрастает в 1,6—2,5 раза по сравнению с тем, что имеет место в средней части рельса, а соответствующее увеличение вертикальных сил на стыковые шпалы — в 1,10—1,8 раза. Максимум динамического воздействия колеса на головку принимающего конца рельса находится на расстоянии 110—170 мм от зазора. В результате прохода колеса через стык сопровождается резким (практически ударным) взаимодействием с образованием на концах рельсов зоны смятия головки. Длина не-

ровности на отдающих концах в среднем равна 30 мм, а глубина — 0,3—0,5 мм вне зависимости от эксплуатационных условий. Эти неровности образуются в начальной стадии работы рельсов в пути за счет сплыва металла на торце рельса в имеющийся зазор, а затем сохраняют свои размеры в процессе эксплуатации, не увеличиваясь ни по длине, ни по глубине.

В отличие от неровностей, возникающих на отдающих концах рельсов, неровности на принимающих концах имеют две формы — клиновую и седлообразную. Клиноватая форма износа связана, главным образом, с наличием встречной ступеньки (т. е. когда высота отдающего конца рельса меньше принимающего). Однако эта форма износа неустойчива. После выравнивания стыкуемых рельсов по высоте клиноватые неровности начинают переходить в седлообразные. Седлообразные неровности образуются как при наличии попутной ступеньки, так и когда высота стыкуемых рельсов одинакова. Они не переходят ни в какие другие формы и в процессе эксплуатации развиваются как по глубине, так и по длине, распространяясь до 300—350 мм от конца рельса.

Таким образом, проход колеса через стык сопровождается качественно иными (чем в средней части рельса) условиями взаимодействия этих двух элементов. Траектория движения колеса понижается, происходит ударно-динамическое контактирование, вследствие чего появляется повышенная местная деформация головки принимающего рельса.

На кривых участках пути, вследствие того, что моменты сопротивления двух накладок в горизонтальной плоскости (поперек пути) меньше, чем у рельса, в зоне стыка непрерывность кривизны рельсовой нити нарушается с образованием "уголка" в плане. Отсюда возникает резко повышенное воздействие на боковую грань головки в этой зоне и соответственно на 35—50 % боковой износ рельсов в стыке по отношению к середине звена.

Конструкция пути	Недостатки конструкции	Рекомендуемые мероприятия
<i>Конструкция, эксплуатируемая в настоящее время</i>		
Звеньевой путь с 25-метровыми рельсами на деревянных шпалах; скрепление костыльное, болтовые отверстия $d = 36$ мм	Из-за недостатка расчетного зазора дважды в год проводится регулировка зазоров со сменой уравнительных рубок. Происходит непрерывное уширение колес. Из-за частых перешивок срок службы деревянных шпал 7—10 лет	1. Замена основных шпал на дубовые и другие твердые породы. 2. Укладка на звене не менее четырех—шести железобетонных шпал
<i>Возможное промежуточное улучшение конструкции</i>		
Звеньевой путь на деревянных шпалах, костыльные прикрепители, диаметр болтовых отверстий увеличивается с 36 до 40 мм с упрочнением металла в этой зоне	Путь остается звеньевым, однако при конструктивном зазоре $\lambda = 23$ мм не требуется сезонная регулировка зазоров с перекладкой уравнительных рельсов	1. Замена основных шпал на дубовые и другие твердые породы 2. Заказать опытную партию рельсов типа Р65 с болтовыми отверстиями 40 мм (упрочнение металла в этой зоне)
<i>Кардинальное улучшение конструкции</i>		
Укладка бесстыкового пути на малогабаритных рамах (МГР); промежуточные скрепления с анкером, заделанным в МГР, позволяют регулировать ширину колеи и поперечное смещение рельсов. Погонный вес МГР приближается к весу железобетонных шпал при эпюре 2000 шт./км	Конструкция повышает устойчивость бесстыкового пути на 30—40 %. Однако для его выправки по уровню следует применять ВПО-3000 и электрошпалоподбойки	1. Запроектировать промежуточные скрепления, позволяющие поперечные перемещения рельсов. Изготовить опытную партию и испытать на экспериментальном кольце. 2. Изготовить МГР особой конструкции с вмонтированными в них штырями. 3. Испытать на экспериментальном кольце устойчивость бесстыкового пути на МГР в кривых 300—400 м

В настоящее время на дорогах России главный путь имеет кривые $R = 351 \div 500$ м и менее на протяжении около 6730 км. Около половины этих участков расположены в зонах, где годовые амплитуды рельсов $T_A > 105 \div 110$ °С. Как обеспечить содержание пути на этих сложных участках?

Решение поставленной задачи целесообразно проводить по этапам, при этом планируя работы таким образом, чтобы каждый этап давал определенный экономический эффект. В табл. 13.5 приводится в общем виде направление возможных решений по существенному снижению затрат, материалов и рабочей силы на текущее содержание железнодорожного пути на перевальных участках в кривых радиусами 300—500 м в районах с большими годовыми перепадами температур $T_A \geq 110—115$ °С.

13.4. ПРИМЕНЕНИЕ ЗВЕНЬЕВОГО ПУТИ С 25-МЕТРОВЫМИ РЕЛЬСАМИ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМИ ШПАЛАМИ НА ЛИНИЯХ С НЕБОЛЬШИМИ ОБЪЕМАМИ ПЕРЕВОЗОК

Бесстыковой путь современного типа — это температурно-напряженная конструкция, для полноценной реализации (создания) которой необходимы значительные капиталовложения: рельсы высокопрочные, термообработанные, обладающие повышенной прямолинейностью; шпалы, как правило, железобетонные; земляное полотно должно быть предварительно оздоровлено; щебеночная призма очищена на полную глубину. В ряде случаев между зоной основной площадки и шпалами укладываются прослойки из полимерных материалов. Толщина щебня (из твердых пород) под шпалами — 30—40 см, плечо за концами шпал — 35—45 см, откосы призмы 1:1,5. При текущем содержании и ремонтах необходимо строго выполнять ряд технологических требований.

Помимо комфортабельности движения, бесстыковой путь позволяет значительно уменьшить эксплуатационные расходы, затраты на ремонт подвижного состава (на 12—15 %), снизить основное удельное сопротивление движению поезда (на 9—11 %), существенно сократить потребность в рабочей силе на текущем содержании пути. Расчетами и опытом эксплуатации доказано, что при значительных объемах перевозок, особенно при больших пассажиропотоках и высоких скоростях движения, капиталовложения, связанные с созданием бесстыкового пути современной конструкции, обычно окупаются в пределах 8—10 лет.

В описанных выше условиях звеньевой путь с 25-метровыми рельсами на железобетонных шпалах — неприемлемая конструкция. На отечественных дорогах мы в этом много раз убеждались: оставление в главном грузонапряженном пути инвентарных рельсов

хотя бы на 1 год приводит к быстрому расстройству пути, в том числе образованию в зонах стыков деформаций основной площадки земляного полотна. Установлено, что затраты рабочей силы и материалов на содержание коротких уравнильных пролетов при их расположении через 450—550 м оказываются соизмеримыми с расходами на содержание сварных плетей бесстыкового пути, длина которых в 10—12 раз больше двух—четырех коротких уравнильных рельсов.

Все вышеизложенное справедливо для грузонапряженных линий, а также для участков скоростного движения. Однако на ряде малодеятельных участков железных дорог при обращении 2—3 пар грузовых поездов в сутки и небольших скоростях движения вложение крупных затрат на сооружение современного температурно-напряженного бесстыкового пути, включая оздоровление земляного полотна, может оказаться экономически нецелесообразным мероприятием. По причине малой грузонапряженности окупаемость единовременных капиталовложений за счет некоторой экономии в эксплуатационных расходах выходит далеко за пределы общепринятых нормативов в 8—10 лет (см. пп. 15.6 и 15.7).

Предыстория появления таких малодеятельных линий может быть двояка.

Вариант I — они сооружались с расчетом на малые объемы перевозок. Конструкция пути такой линии — рельсы типа Р50 второй укладки, старогодные деревянные шпалы, соответствующее костыльное скрепление, балласт — песчано-гравийная смесь. На отечественных дорогах такие участки имеются, однако общее их протяжение незначительно (это обычно подъездные пути к крупным предприятиям).

Вариант II — линии сооружались и капитально ремонтировались как магистраль с годовыми объемами перевозок до 40—50 млн. т-км брутто/км в год и более. Однако по причине закрытия шахт и других предприятий, а также перевода грузопотоков на параллельные магистрали или автотранспорт объемы перевозок сократились в несколько раз, а конструкция пути осталась достаточно мощной, рассчитанной на прежние объемы перевозок. Именно такое положение сложилось на участках ряда отечественных дорог МПС РФ. Большинство малодеятельных линий были в недавнем прошлом грузонапряженными магистралями (рис. 13.5).

На начало 1999 г. около 57 тыс. км главных путей имели грузонапряженность менее 10 млн. т-км брутто/км в год, в том числе менее 5 млн. т-км брутто/км в год — 30 тыс. км. В большинстве случаев это магистрали, которые имели еще в 1993 г. грузонапряженность до 25—30 млн. т-км брутто/км в год. На главных путях дорог России лежит более 120 тыс. км рельсов тяжелых типов Р65 и Р75, при этом более половины из них имеют наработку менее 50 % от норматива.

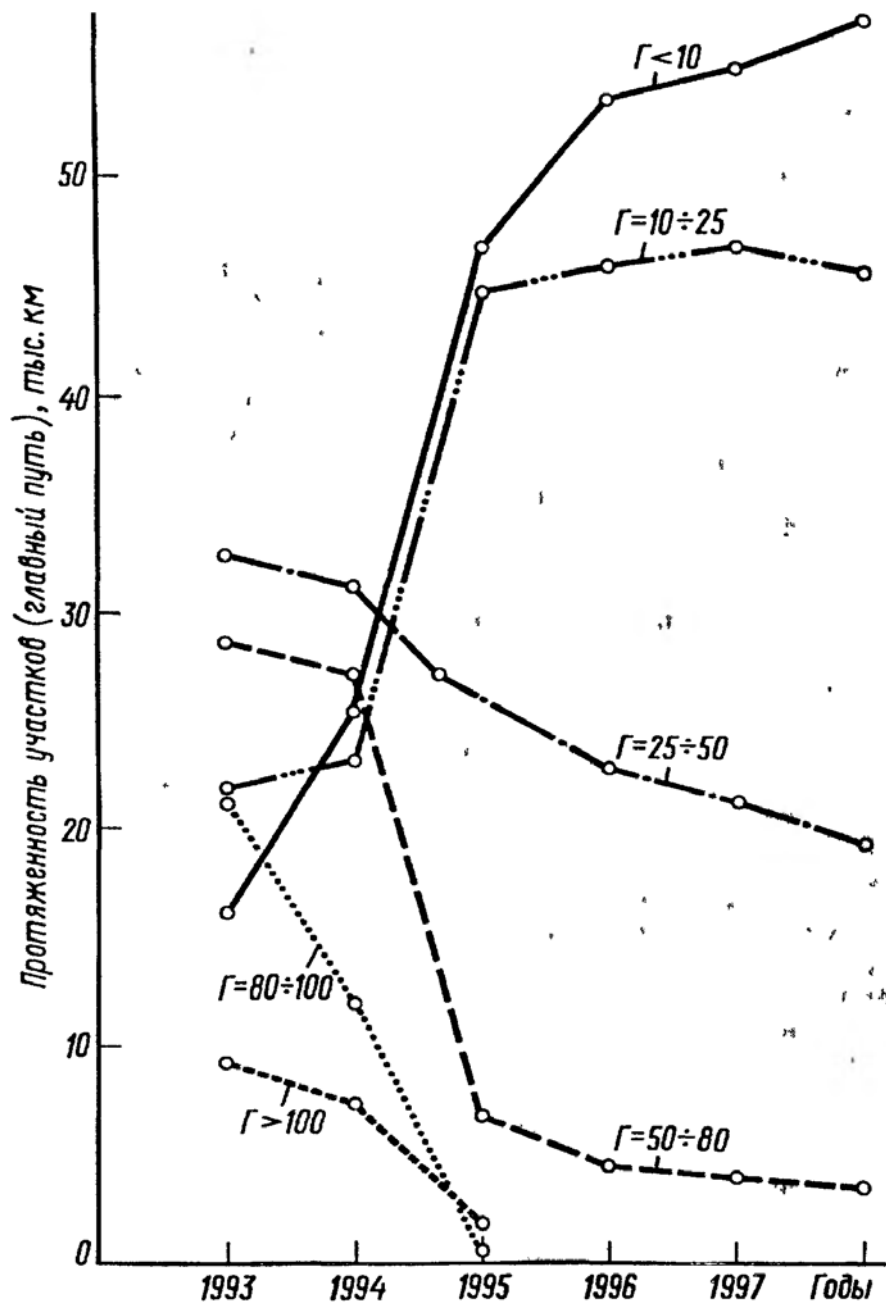


Рис 13.5 Изменение грузонапряженности Γ , млн. т·км брутто/км в год, полигонов сети железных дорог России в 1993—1998 гг

Отсюда следует, что большинство малодеятельных линий уложено рельсами Р65 и Р75. Сроки службы деревянных шпал: новых — 12—15 лет, переложённых (частично отремонтированных) — 8—10 лет.

На линиях с грузонапряженностью до 10—15 млн. т·км брутто/км в год, не говоря уже о линиях с более низкой грузонапряженностью, происходит быстрый процесс гниения деревянных шпал. Сроки службы переложённых рельсов оказываются в несколько раз большими, чем сроки службы деревянных шпал.

Из вышеизложенного вытекает необходимость ускорить разработку рациональных технологий ремонта пути и поддержания его в состоянии, обеспечивающем безопасность движения поездов.

В табл. 13.6 приводятся в общем систематизированном виде возможные решения по оздоровлению, усилению и ремонту участков пути, имеющих очень низкую грузонапряженность.

Технико-экономические расчеты по определению рациональных сфер применения звеньевоего пути с 25-метровыми рельсами на железобетонных шпалах (четыре типа конструкции: Ж-1н, Ж-1с, Ж-2с, Ж-3с) в сравнении с бесстыковым путем обычной конструкции (800-метровые плети с тремя уравнительными звеньями) на железобетонных шпалах и звеньевым путем на деревянных шпалах показали, что звеньевоего путь на железобетонных шпалах имеет преимущество перед двумя другими конструкциями по приведенным затратам при малой грузонапряженности и скоростях движения.

В табл. 13.7 приведены рекомендуемые конструкции звеньевоего пути на железобетонных шпалах из новых (Ж-1н) и старогодных материалов (Ж-1с, Ж-2с и Ж-3с) и сферы их применения.

Решению об укладке звеньевоего пути на железобетонных шпалах на путях групп и категорий В4, В5, Д2 и Д3 должна предшествовать опытная проверка.

Приведенный в табл. 13.6 и 13.7 материал и соответствующие рекомендации можно рекомендовать для предварительного анализа и продумывания перед составлением калькуляции и технологии ремонта. Выбор того или иного решения окончательно принимается руководителями служб и дистанций пути с учетом местных условий: наличием свободной рельсошпальной решетки с железобетонными шпалами, места расположения производственных баз, наличия рабочей силы и др.

В заключение следует подчеркнуть, что в большинстве случаев замена старогодной рельсошпальной решетки с гнилыми шпалами на звеньевоего путь с 25-метровыми старогодными рельсами и железобетонными шпалами оказывается более целесообразной, чем оставление в пути деревянных шпал.

Таблица 136

Сочетание групп и категорий пути	Скорости движения поездов, км/ч		Грузонапряженность, млн т·км брутто/км в год		Наработка тоннажа после капитального ремонта, млн т брутто		Конструкция и состояние пути на середину 1999 г.			Возможные решения по оздоровлению, усилению и ремонту пути
	пассажирских	грузовых	1993 г.	1999 г.	Рельсы	Шпалы	Балласт			
Д2	121—140	>80	25—35	10—15	550—600	Бесстыковой путь, Р65, второй укладки	Железобетонные	Щебень засоренный	Балласт	Капитальный ремонт с очисткой шпал. Переборка скрепленных на базах. Вырезка дефектных рельсов из плетей. Укладка бесстыкового пути, профилиная шпаловка
Д3	101—120	>70	20—25	8—10	150—180	Р65, второй укладки, 25 м	Деревянные гнилые	Щебень засоренный		Ремонт с очисткой шпал. Замена на деревянные шпал. Укладка звенового пути на железобетонных шпалах. Профилиная шпаловка
Д3	81—100	>60	15—20	5—8	100—120	Р65, второй укладки, 25 м	Деревянные изношенные	Щебень засоренный		Ремонт с очисткой шпал. Замена на дефектные рельсов. Укладка звенового пути на железобетонных шпалах. Профилиная шпаловка
Д3	61—80	>50	10—15	4—6	100—120	Р65, 250 второй укладки, 25 м	Деревянные дефектные	Песчано-гравийная смесь		Снятие старой рельсошпальной решетки. Укладка 25-метровых рельсов Р65 на железобетонных шпалах. Выправка пути машиной ВПО с добавлением балласта. Профилиная шпаловка
Д4	40—60	>40	8—10	3—4	100—120	Р50, второй укладки, 25 м	Деревянные дефектные	Песчано-гравийная смесь		Вариант 1. Замена дефектных рельсов, шпал, скрепленных в пути. Комплекс выправочных работ. Профилиная шпаловка Вариант 2. Удаление старогодной рельсошпальной решетки. Укладка 25-метровых рельсов Р65, снятых с главных путей. Замена отдельных дефектных элементов верхнего строения пути. Подбивка балласта. Комплекс выправочных работ

Таблица 137

Тип конструкции пути	Рельсы	Шпалы	Скрепления	Конструкция стыковой зоны	Сфера применения		
					Класс путей	Группы, категории путей	Дополнительные ограничения
Ж-1а	Р65 новые термоупроченные I группы I-го класса с упрочненным первым болтовым отверстием	Железобетонные новые, шесть стыковых шпал с амортизаторами в подрельсовой зоне на нижней стороне шпал	Новые типа ЖБР-65 (бесподкладочные с упрочненными прутковыми клеммами и резиновой прокладкой над подошвой рельса) или КБ-65	Шестицирные накладки новые термоупроченные с тарельчатыми шайбами. На шести стыковых шпалах под подошву рельса укладываются резиновые прокладки толщиной 18—20 мм. Расстояние между осями шести стыковых шпал 420 мм	3	В4	1 В районах, отмеченных по СНиП 2 01 01—82 к северным условиям 2 При грузонапряженности до 30 млн т км брутто/км в год
Ж-1с	Р65 старогодные I группы годности с иарботкой тоннажа не более 700 млн т брутто, отремонтированные и диагностированные в стационарных условиях, не имеющие признаков деформности, с упрочненным первым болтовым отверстием	Железобетонные старогодные, шесть стыковых шпал новых с амортизаторами	Отремонтированные старогодные КБ-65. На шести стыковых шпалах новые типа ЖБР-65 или КБ-65	То же, что для Ж-1а. Допускается применение новых и старогодных стыковых накладок	3	В5 Д2 Д3	При грузонапряженности до 40 млн т км брутто/км в год

Тип конструкции пути	Рельсы	Шпалы	Скрепления	Конструкция стыковой зоны	Сфера применения	
					Класс путей	Дополнительные ограничения
Ж-2с	Р65 старогодные I группы годности с наботкой тоннажа до 1000 млн т брутто удовлетворяющие ТУ на укладку в путь старогодных рельсов	Железобетонные старогодные	Старогодные КБ-65 (с заменой негодных элементов)	Старогодные шестидырчатые накладки с тарельчатыми шайбами на шести стальных шпалах под подошву рельса в скрепления КБ-65 укладываются резиновые прокладки толщиной 18—20 мм. Расстояние между осями шести стыковых шпал — 420 мм	4	Д5 Д6
Ж-3с	Р65 старогодные II и III групп годности	Железобетонные старогодные. Допускается укладывать четыре—шесть стыковых деревянных шпал новых или старогодных	Старогодные КБ-65	Старогодные шести- или четырехдырчатые накладки (на тарельчатых шайбах) на деревянных пристыковых шпалах под подкладку косоугольного скрепления укладываются резиновая прокладка толщиной 6—8 мм	5	Стандартные, станционные и прочие пути

Примечания 1 Звеньевой путь на железобетонных шпалах применяется в прямых и кривых с радиусами $R \geq 350$ м 2 Эпюры шпал на путях 3-го и 4-го классов в прямых и кривых $R > 1200$ м — 1840 шт/км в кривых $R \leq 1200$ м — 2000 шт/км на путях 5-го класса в прямых и кривых $R > 650$ м — не менее 1600 шт/км в кривых $350 \leq R \leq 650$ м — 1840 шт/км

3 Толщина соответствующего вида балласта под шпалой не менее 30 см на путях 3-го класса 25 см — 4-го класса 15 см — 5 класса

БЕССТЫКОВОЙ ПУТЬ НА МОСТАХ, В ТОННЕЛЯХ И МЕТРОПОЛИТЕНАХ

14.1. БЕССТЫКОВОЙ ПУТЬ НА МОСТАХ

Укладка бесстыкового пути на мостах не менее эффективна, чем на земляном полотне. В результате ликвидации стыков уменьшаются динамические напряжения в элементах пролетных строений, снижаются интенсивность расстройств их соединений и мостового полотна, а соответственно уменьшаются затраты на содержание как пути на мостах, так и самих мостов. Поэтому применение бесстыкового пути на мостах — важная задача. При укладке сварных рельсовых плетей бесстыкового пути и длинных рельсов на мостах должны учитываться особенности совместной работы пути и моста. Основной особенностью здесь является подвижность подрельсового основания, вызванная изменением длины пролетного строения при изменении температуры воздуха и проходе подвижного состава. Подвижность пролетного строения при интенсивном торможении может составлять от 20 до 30 % его температурных перемещений. В то же время сварные рельсовые плети, перекрывающие мост, могут оставаться неподвижными. При наличии связей "рельс — пролетное строение" в рельсовых плетях появляются дополнительные продольные усилия, передающиеся при непрерывной рельсовой нити бесстыкового пути не только на пролетные строения, но и на опорные части и на подходы к мосту. Поэтому до укладки бесстыкового пути мосты обследуют и, если необходимо, капитально ремонтируют.

Металлические пролетные строения длиной до 25 м на российских железных дорогах в плановом порядке заменяют на железобетонные с ездой на балласте. В России не допускается укладка бесстыкового пути на деревянных мостах и мостах с деформированными опорами (осадки, сдвиги и т. д.). На зарубежных дорогах требования аналогичны, хотя в США и Канаде бесстыковой путь в отдельных случаях укладывают и на деревянных эстакадах. Такие мосты еще применяются в районах с вечной мерзлотой, например, на линии Аляска — Канада — Центр США, так как древесина сохраняется здесь хорошо.

В России на мостах и подходах к ним железных дорог обычно укладывается тот же тип рельсов, что и на перегонах. В настоящее время на мостах эксплуатируются преимущественно термоупрочненные рельсы типа Р65. Имеющиеся незакаленные рельсы Р65 и даже

термоупрочненные рельсы Р50 в плановом порядке заменяются на термоупрочненные Р65. В зависимости от климатических и эксплуатационных условий на мостах и подходах к ним может укладываться бесстыковая путь с рельсовыми плетями, перекрывающими мост и подходы, путь с длинными сварными рельсами (длинной не более длины температурного пролета) и звеньевой путь с рельсами длиной 25 м.

Как на отечественных, так и на зарубежных железных дорогах на мостах применяют два типа мостового полотна: балластное (с ездой на балласте) и безбалластное. Мостовое полотно с ездой на балласте (рис. 14.1) применяется с железобетонными пролетными строениями длиной преимущественно до 33 м и сталежелезобетонными — длиной более 33 м.

На мостах с железобетонными пролетными строениями длиной до 3,6 м с ездой на балласте рельсовые плети работают практически независимо от пролетного строения и не испытывают дополнительных воздействий, связанных с его деформациями. Такие мосты почти не имеют спроектированного подъема, а изменение температуры пролетного строения вследствие большой массы бетона происходит с 4—5-часовым отставанием от изменения температуры окружающего воздуха. Поэтому при изменении температуры и проходе поезда продольные деформации (изменения длины) такого пролетного строения бывают невелики. Это позволяет устраивать на железобетонных мостах с пролетными строениями до 33 м с ездой на балласте бесстыковую путь такой же конструкции, как и на земляном полотне. Рекомендуется применять плети такой длины, чтобы они полностью перекрывали весь мост. Концы плетей следует располагать не ближе 50—100 м от шкафных стенок устоев моста.

На мостах с ездой на балласте, имеющих полную длину более 50 м, а также с путепроводах с ездой на балласте при полной их длине более 25 м для предупреждения большого поперечного смещения от оси моста подвижного состава в случае его схода требуется укладывать контррельсы. На мостах с ездой на балласте путь укладывают на специальных мостовых железобетонных шпалах, к которым можно прикреплять контррельсы. Контррельсы крепятся к шпалам шурупами, вворачиваемыми в деревянные вкладыши. Контррельсы сводятся концами, образуя чешнок, острия которого должны быть не ближе 10 м от задней стенки устоя (рис. 14.2). При укладке на мостах железобетонных шпал в пределах "чешноков" располагают шпалы с постепенным уменьшением расстояния между осями деревянных вкладышей (рис. 14.3).

В качестве балласта на мостах и подходах к ним применяется щебень из твердых пород. На отдельных мостах и подходах к ним эксплуатируется путь на асбестовом балласте. Однако в последние годы в плановом порядке асбестовый балласт заменяется щебено-

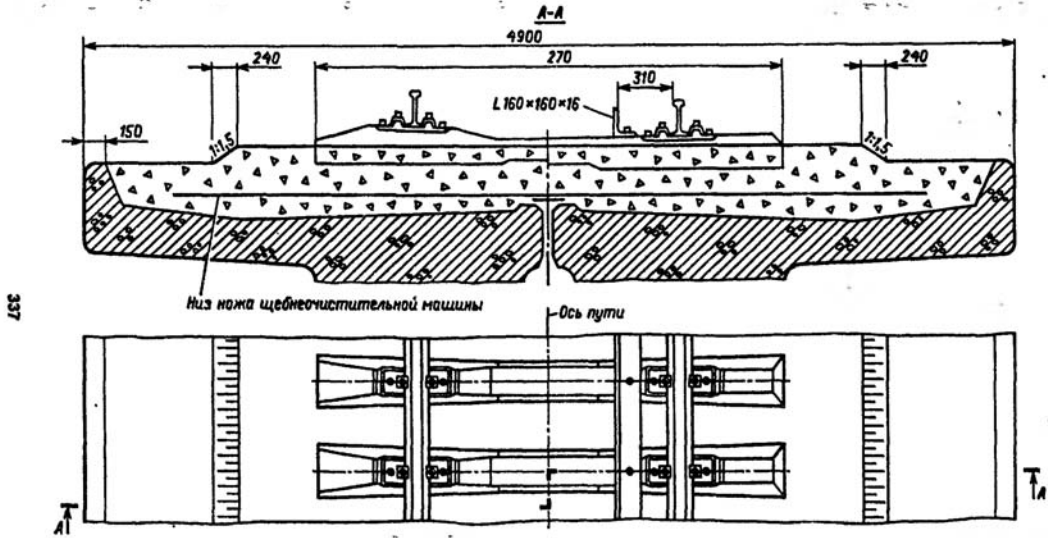


Рис. 14.1. Мостовое полотно с ездой на щебеном балласте и железобетонных шпалах при балластном корыте, предусматривающем пропуск щетноочистительных машин: слева — без охранных приспособлений (с обычными железобетонными шпалами); справа — с охранными приспособлениями (шпалы железобетонные для укладки на мостах)

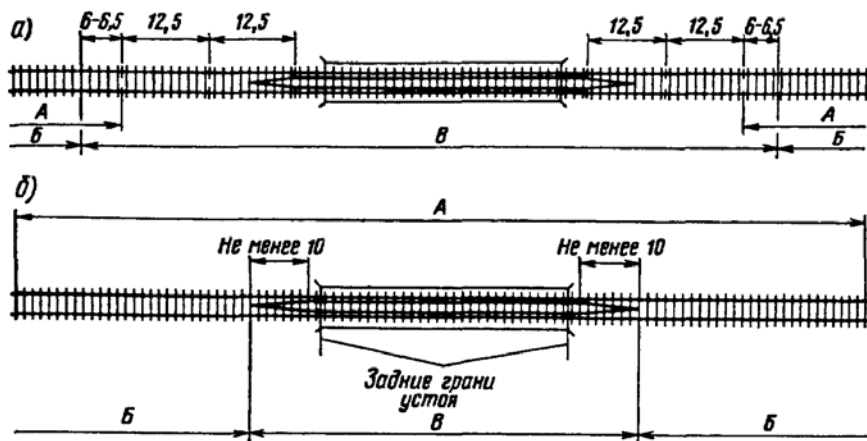


Рис. 14.2. Схемы расположения железобетонных и деревянных шпал при примыкании рельсовых плетей к мостам (а) и перекрытии мостов рельсовыми плетями (б): А — рельсовые плети; Б — железобетонные шпалы; В — деревянные шпалы

ным. Ширина плеча балластной призмы на мостах и подходах к ним устраивается не менее 35 см. При этом она не зависит от класса линии, т. е. последний не является фактором, обеспечивающим устойчивость бесстыкового пути. Толщина балластного слоя под шпалой устраивается не менее 25 см. На отдельных мостах из-за габаритов толщина балластного слоя может быть ограничена до 15 и даже 10 см. В таких случаях необходимо принимать все меры для уменьшения динамического воздействия подвижного состава на путь. Это достигается путем ликвидации рельсовых стыков в пределах моста и периодической шлифовкой рельсов.

На мостах старой постройки в процессе эксплуатации высота балластной призмы увеличивалась в результате выправки пути в профиле, а также из-за отсутствия достаточно простых технологий по очистке щебня на мостах. Это приводило к значительному увеличению постоянной нагрузки на мост. Для ограничения ее высота балласта под шпалой не должна превышать типовую более чем на 30 см. При большей высоте ширина лотка становится недостаточной для обеспечения необходимого поперечного профиля призмы. Поэтому в новых проектах ширина лотка понизу составляет 4,9 м. В эксплуатируемых мостах старой постройки во избежание осыпания балласта с пролетного строения приходится наращивать борта лотков. На некоторых дорогах укладывают железобетонные уголки, горизонтальная полка которых размещается под балластом. Во всех случаях необходимо,

чтобы нижняя постель шпалы была ниже борта и дополнительная нагрузка от увеличения собственного веса пролетного строения не превосходила допустимую.

Довольно часто устраивают мостовое полотно с металлическими ортотропными плитами с ребрами жесткости. Плита имеет одинаковую жесткость в продольном и поперечном направлениях и включает в работу верхнего пояса продольной балки, что упрощает и усиливает конструкцию моста и удешевляет его содержание. На плите укладывают обычное верхнее строения пути (щебень, шпалы и т. д.). Такое мостовое полотно сооружено на мосту через р. Майн во Франкфурте-на-Майне (Германия). Речной пролет этого моста — 168 м. Иногда вместо металлической применяют железобетонную плиту, ра-

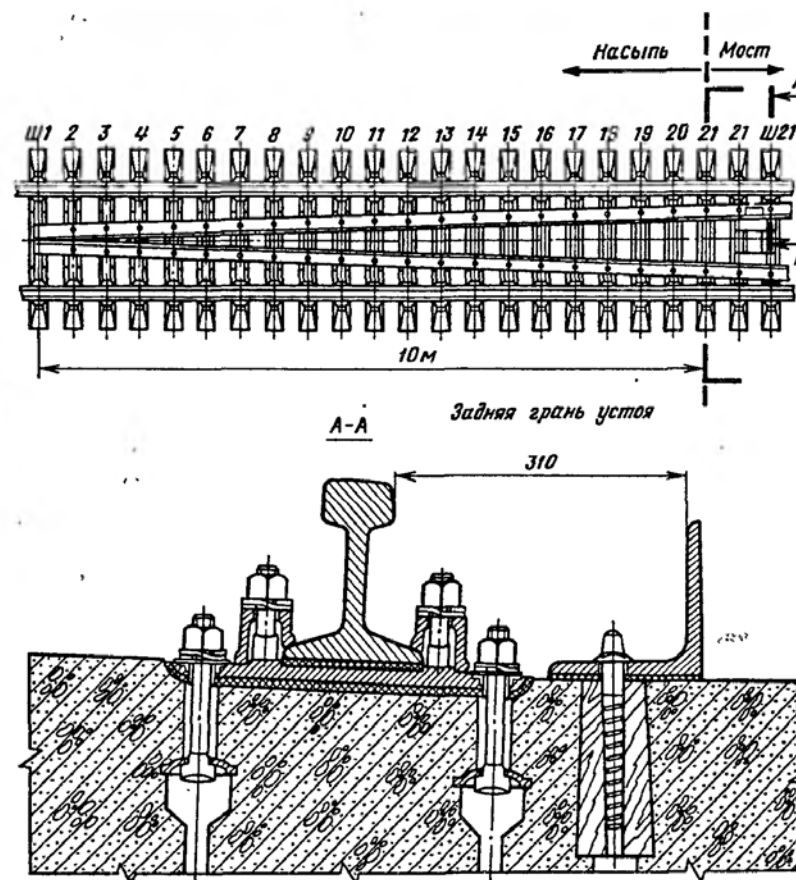


Рис. 14.3. Схема укладки железобетонных шпал в пределах "челноков" (цифрами обозначены типы шпал от Ш1 до Ш21)

богатающую совместно с верхними поясами главных ферм пролетного строения. Плиты в этом случае, как правило, прибиваются к балкам клею на эпоксидной основе. Путь укладывается на щебне. Имеются и другие конструкции балластного мостового полотна. На железных дорогах России, кроме железобетонных мостов, мостовое полотно с ездой на балласте применяется преимущественно на сталежелезобетонных мостах, включающих металлические пролетные строения с установленными на них железобетонными балластными корытами. Балластное корыто на таких мостах работает совместно с верхними поясами продольных балок, на которых оно закрепляется. Однако и на этих мостах влияние продольных подвижек пролетных строений на рельсовые плети снижается за счет балласта. Содержание пути на мостах с ездой на балласте наиболее просто и экономично по сравнению с другими конструкциями мостового полотна и мало отличается от эксплуатации пути на земляном полотне. Тем не менее, на большей части металлических мостов применяется безбалластное мостовое полотно.

Безбалластное мостовое полотно может быть на деревянных и металлических поперечинах или на железобетонных плитах.

Мостовое полотно на деревянных поперечинах (мостовых брусьях) устраивается согласно рис. 14.4. В качестве охранных приспособлений на мостах с деревянными и металлическими поперечинами применяются контроулки сечением $160 \times 160 \times 16$ мм. На эксплуатируемых мостах впродоль до переустройства или капитального ремонта допускаются контроулки меньшего сечения, но не менее $150 \times 100 \times 14$ мм.

Мостовое полотно с металлическими поперечинами эксплуатируется преимущественно на мостах довоенной постройки.

В последние годы резко возросли объемы укладки мостового полотна с железобетонными плитами (рис. 14.5). Изготовление и укладка безбалластных железобетонных мостовых плит производится по типовым проектам. Сопражение железобетонных плит с балками пролетных строений может производиться с помощью прокладного слоя из цементно-песчаного раствора с деревянными прокладками, из антисептированных деревянных досок и резины, а также других конструкций.

В качестве охранных приспособлений на мостах с железобетонными плитами применяются контроулки сечением $160 \times 160 \times 16$ мм. Охранные приспособления на мостах с безбалластным мостовым полотном (деревянные, металлические поперечины, железобетонные плиты) устанавливаются при длине мостового полотна более 5 м или при расстоянии мостов в кривых радиусом менее 1000 м.

Как известно, одна из основных особенностей работы пути, в том числе и бесстыкового, на мостах заключается в подвижности подрельсового основания. Рельсовые плети бесстыкового пути, пересекающие мост, не имеют возможности перемещаться вместе с основанием.

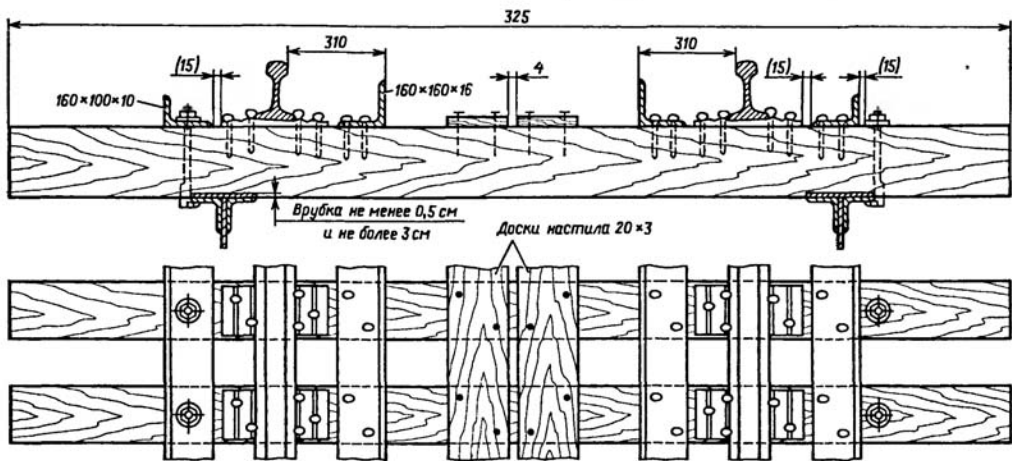


Рис. 14.4. Мостовое полотно на мостовых брусьях с костьюным креплением рельсов: слева — охранный уголок прикреплен лапчатым болтом, справа — охранный уголок прикреплен костьюми. П р и м е ч а н и е. В скобках даны минимально необходимые зазоры между рельсовыми подкладками, охранными уголками и шайбами лапчатых болтов на участках, оборудованных автоблокировкой

Поэтому при наличии связей "рельсовые плиты — пролетное строение", вследствие продольных подвижек последнего как в плетях, так и в продольных балках пролетного строения, появляются дополнительные продольные силы. Ввиду того что площадь поперечного сечения продольных балок, поясов ферм пролетного строения многократно превышает площадь сечения рельса, наиболее опасны дополнительные продольные силы для рельсовых плит. Дополнительные силы в рельсовой плите в сумме с поперечными силами от подвижного состава, а также от изменения температуры плиты не должны вызывать перенапряжений рельсов в зоне моста и подходов. Это требование выполняется при условии

$$(k_n \sigma_k + \sigma_t + \sigma_m) \leq [\sigma],$$

где k_n — коэффициент запаса прочности рельсов, принимаемый равным 1,3; σ_k — основные расчетные (изгибные) напряжения от воздействия подвижного состава; $\sigma_t = \alpha E F \Delta t$ — температурные напряжения рельсовой плиты; α — коэффициент линейного расширения рельсовой стали; E — модуль упругости рельсовой стали; F — площадь сечения рельса; $\Delta t = (t_i - t_0)$ — перепад температуры рельсовой плиты (t_i) относительно температуры ее закрепления (t_0); σ_m — дополнительные напряжения в рельсовой плите, вызванные продольными подвижками пролетного строения; $[\sigma]$ — допускаемые напряжения, принимаемые для термоупрочненных рельсов равными 400 МПа, а для сырых — 350 МПа.

В данном условии учитывается, что температура рельсов на мостах в летнее время может быть ниже на 8—10 °С температуры рельсов на подходах к ним, а также что в зимнее время продольные деформации пролетного строения, вызванные проходом поезда, противоположны по направлению температурным и уменьшают воздействие последних на плиты. В то же время условие свидетельствует о сложной схеме загрузки рельсовой плиты, перекрывающей мост (рис. 14.6).

Значения продольных сил в рельсовой плите на мосту зависят от целого ряда факторов:

$$N_A = \alpha E F (t_i - t_0) - 0,5 r_m l_m;$$

$$N_B = \alpha E F (t_i - t_0) + 0,5 r_m l_m.$$

Для определения дополнительных сил в рельсовых плетях на мостах и подходах к ним, вызванных подвижками пролетного строения, необходимо знать длины пролетных строений, значения перемещений и распределение сил сопротивления (r_m) по длине мостового полотна.

Точность определения дополнительных сил обуславливается выбором функции, характеризующей взаимосвязь сил сопротивления и перемещений.

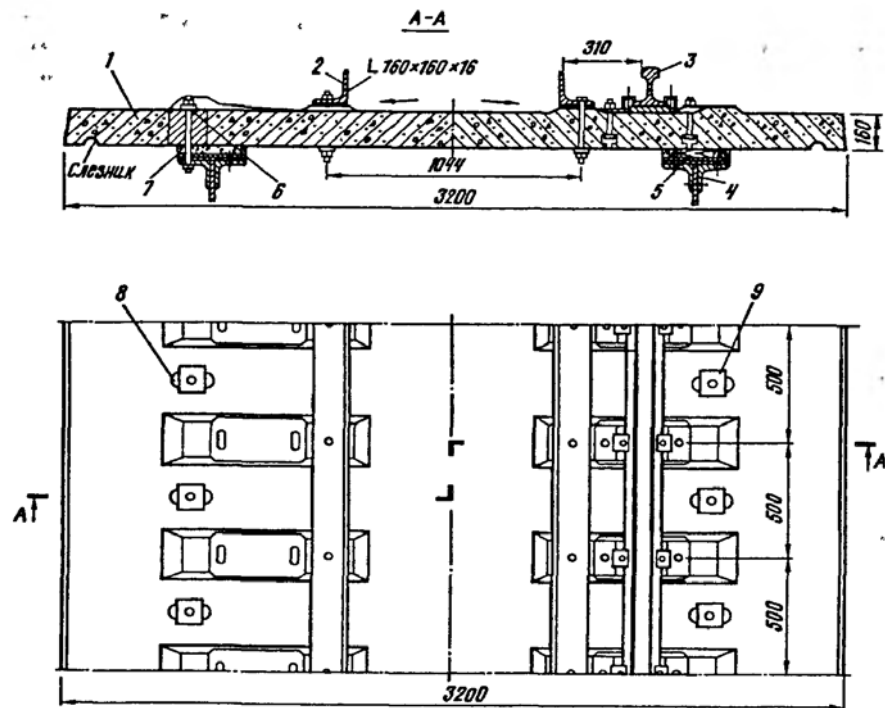


Рис. 14.5. Мостовое полотно на безбалластных железобетонных плитах: 1 — безбалластная железобетонная плита; 2 — контуролок; 3 — путьевой рельс со скреплениями; 4 — главные балки; 5 — опорная деревянная прокладка; 6 — высокопрочная шпилька крепления плиты; 7 — цементно-песчаная подливка; 8 — овальное отверстие для шпильки и нагнетания раствора под плиту; 9 — шайбы

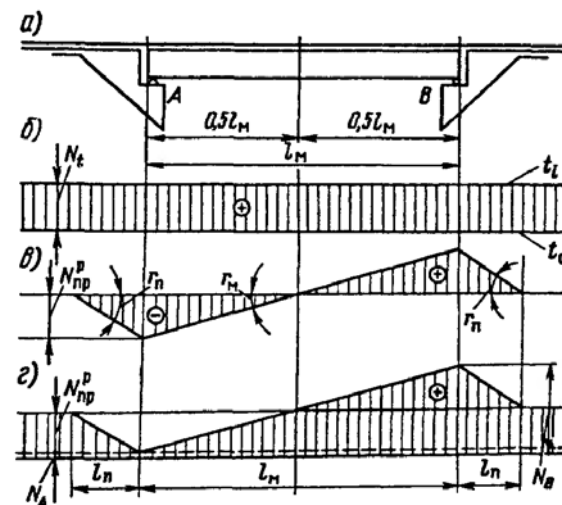


Рис. 14.6. Продольные силы в рельсовой плите, перекрывающей металлический мост: а — схема моста; б — эпюра продольных сил при изменении температуры плиты от t_0 до t_i ; в — то же при изменении температуры пролетного строения; z — суммарная эпюра; r_m и r_n — погонные сопротивления сдвигу плиты на мосту и на подходах

На участках с подвижками пролетного строения более 3—5 мм происходит фрикционное проскальзывание его относительно рельсовых плетей, и сопротивления уже не зависят от величины перемещений, т. е. $r_m = \text{const}$.

В известных зарубежных работах при определении дополнительных продольных сил в рельсовых плетях принимают $r_m = \text{const}$. Это упрощение при перемещениях пролетного строения, вызванных изменениями температуры на 15 °С, почти в 2 раза увеличивает расчетное значение силы по сравнению с ее фактической величиной. При увеличении перепада температуры разность между расчетными и фактическими значениями дополнительных сил уменьшается. Например, для пролетного строения длиной 55 м при перепаде температуры на 45 °С разность между расчетной и фактической величиной дополнительных продольных сил не превышает 7—10 %.

При сплошном закреплении плетей скреплениями КД, КБ на мостах с пролетными строениями длиной 45—55 м, их продольные деформации могут вызвать в рельсовых плетях дополнительные осевые напряжения порядка 50—75 МПа, которые в сумме с изгибными и температурными напряжениями могут превышать допускаемые значения по прочности рельсов. Эти дополнительные напряжения способствуют быстрому расстройству мостового полотна, опорных частей пути в зоне подходов, а в отдельных случаях и выбросу пути в зоне подходов. Поэтому закрепление рельсовых плетей в соответствии с требованиями к их закреплению на земляном полотне неприемлемы для безбалластных мостов.

Самый лучший вариант в плане взаимодействия плетей и пролетных строений — применение скреплений, которые не препятствуют перемещению продольных строений относительно плетей. Закрепление рельсовых плетей без защемления подошвы рельсов на отечественных железных дорогах применяется на безбалластных мостах длиной 33 м и менее, а на зарубежных дорогах — на мостах длиной до 25—30 м. При таком закреплении плетей удлинение или укорочение пролетных строений не вызывает дополнительных сжимающих или растягивающих напряжений в плети, а величина зазора при изломе плети не превышает допускаемого значения. Закрепление плетей на мостах длиной до 33 м осуществляется при помощи костыльных или раздельных скреплений (КД, КБ) с неплотно забитыми костылями или клеммами с подрезанными лапками, что обеспечивает зазор между клеммой и верхом подошвы рельса (рис. 14.7) При длине мостов больше 33 м во избежание раскрытия большого зазора рельсовые плети закрепляются на ограниченном протяжении мостового полотна в зоне неподвижного конца пролетного строения ($0,2—0,25l_m$). На этом участке рельсовые плети крепятся так же, как и на земляном полотне с нормативной затяжкой гаек клеммных болтов. На остальном протяжении мостового полотна плети крепятся без защемления

клеммами. При таком закреплении почти исключается появление в плетях дополнительных сил, вызванных подвижками пролетного строения. Внедрение такой схемы закрепления плетей позволило расширить полигоны применения бесстыкового пути на отечественных железных дорогах на однопролетных мостах длиной до 55 м и многопролетных — до 66 м. На целом ряде зарубежных железных дорог бесстыковой путь укладывается на мостах большей длины (табл. 14.1).

Увеличение длин мостов, на которых можно укладывать бесстыковой путь, на зарубежных железных дорогах достигается за счет более благоприятных климатических условий, применения новых конструкций прикрепления мостовых брусьев к поясам продольных балок или ферм, исключая влияние продольных перемещений пролетного строения на напряженное состояние плетей (рис. 14.8), специальных конструкций рельсовых скреплений. В частности, в Японии применяются скрепления, приведенные на рис. 14.9, из которых "А" обеспечивает погонные сопротивления продольному сдвигу 100 Н/см, "В" — 50 Н/см, "С" — не оказывает сопротивления продольному сдвигу. Комбинацией этих скреплений достигаются требуемые погонные сопротивления. Наряду с выполнением требований по прочности, устойчивости пути, величине зазора, образующегося в случае излома плети, на мостах необходимо соблюдать, чтобы горизонтальные силы, передаваемые рельсовыми плетями на мостовое полотно в момент разрыва плети зимой, не превышали значений расчетных тормозных сил, на которые рассчитываются опорные части и опоры мостов. На однопролетных мостах свыше 55 м и многопролетных свыше 60 м закрепление плетей только в зоне неподвижных концов пролетных строений в климатических условиях железных дорог России не обеспечивает требование по зазору. На этих мостах укладывается либо звеньевой путь, либо рельсовые плети длиной не более длины температурного пролета моста (рис. 14.10). Для компенсации температурных удлинений рельсов, а также удлинений, вызванных проходом поезда, на мосту применяются уравнильные приборы (рис. 14.11).

Т а б л и ц а 14.1

Страна	Максимальные длины мостов, на которых разрешается укладывать бесстыковой путь, м	
	Однопролетные	Многопролетные
Польша	60	170
Германия	60	170
Япония	60	170
Венгрия	60	100
Югославия	50	100

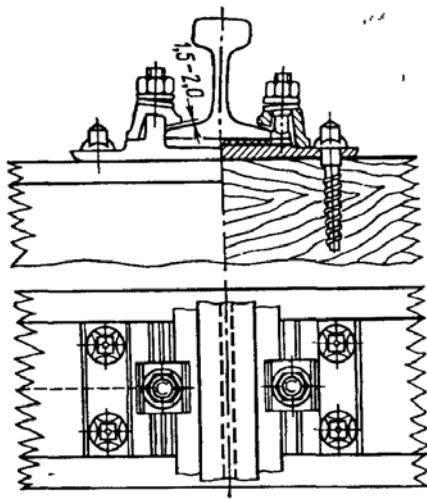


Рис. 14.7. Прикрепление рельсовых плетей к мостовым брускам скреплениями КД с укороченными ножками клемм

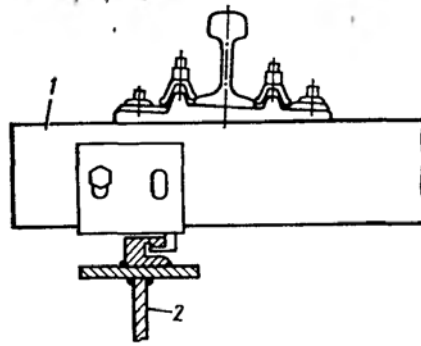


Рис. 14.8. Узел соединения мостового бруса (1) с продольной балкой (2), допускающий их взаимные перемещения

На практике уравнильные приборы укладываются на мостах с длинами температурных пролетов 100 м и более. Рельсовые плиты в пределах таких мостов укладываются типа Р65 с костыльными, раздельными скреплениями КД-65 на мостах с деревянными мостовыми брусками или КБ-65 на мостах с металлическими мостовыми брусками и железобетонными плитами.

Для предупреждения угона пути в пределах моста сварные рельсовые плиты закрепляются в зоне неподвижных концов пролетных строений.

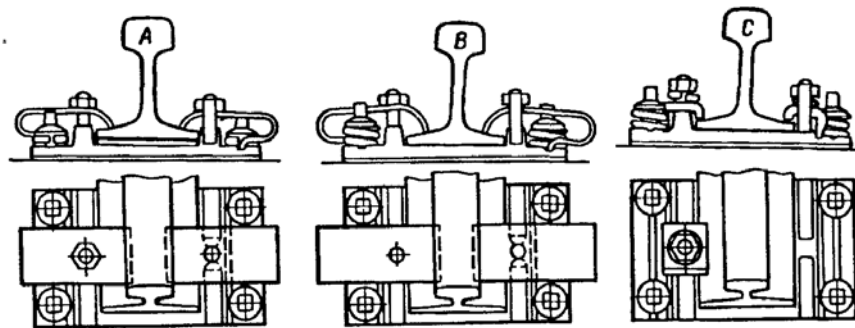


Рис. 14.9. Скрепления, предназначенные для укладки на мостах без балласта

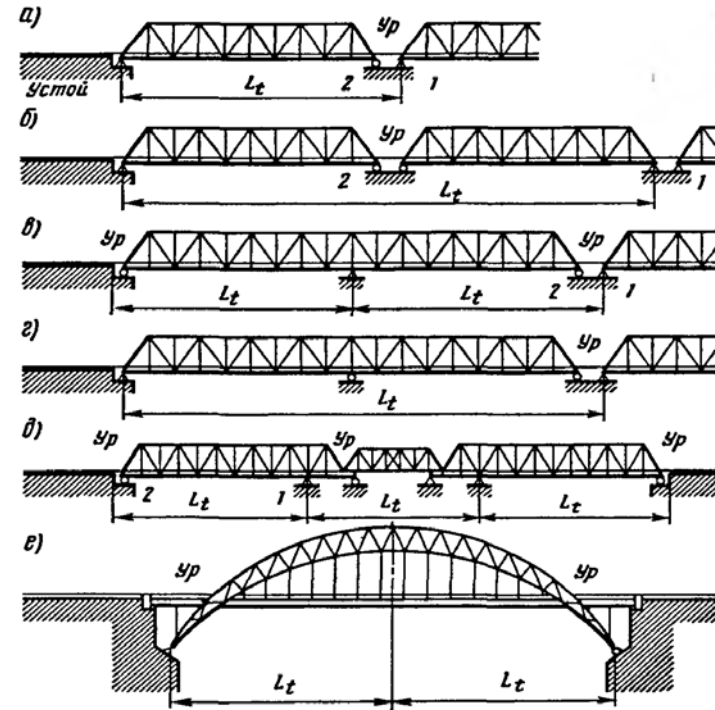


Рис. 14.10. Температурные пролеты мостов: а — с разрезными пролетными строениями в однопролетных мостах или при расположении на промежуточной опоре одной подвижной и одной неподвижной опорных частей смежных пролетных строений; б — то же при расположении на промежуточной опоре двух подвижных опорных частей; в, г — с неразрезными пролетными строениями при расположении неподвижной опорной части в середине и на конце пролетного строения; д — с консольными пролетными строениями; е — с арочными пролетными строениями; L_t — температурный пролет; $У_p$ — место установки уравнильного прибора

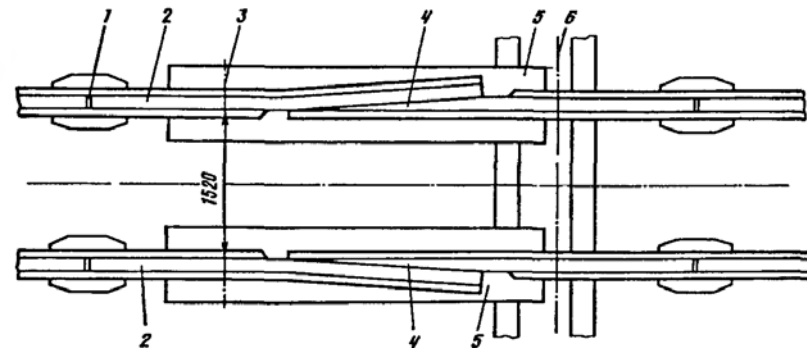


Рис. 14.11. Уравнильный прибор: 1 — передний стык рамного рельса; 2 — рамные рельсы; 3 — начало отгиба рамного рельса; 4 — остряки; 5 — лафеты; 6 — граница соседних температурных пролетов

На мостах с деревянными мостовыми брусками и костыльными креплениями рельсовые плети закрепляются винтовыми или, как исключение, пружинными противоугонами, устанавливаемыми в замок. Винтовые противоугоны устанавливаются у брусков, прикрепленных к противоугонным уголкам, установленным на верхних поясах продольных балок. Количество винтовых и пружинных противоугонов определяется путем деления продольной силы на усилие, которое воспринимается винтовым (рис. 14.12) или пружинным противоугонами.

На мостах с ездой по балласту, с металлическими поперечинами, железобетонными плитами рельсовые плети у неподвижных концов пролетных строений на протяжении, определяемом расчетами, прикрепляются к основанию креплениями КБ с нормативной затяжкой гаек клеммных болтов. Протяженность участков закрепления плетей в зоне неподвижного конца пролетного строения пружинными противоугонами или креплениями КБ с нормативной затяжкой гаек клеммных болтов определяется из условия:

$$l_3 = \frac{T}{r_m},$$

где T — продольная сила от временной нагрузки в момент торможения или разгона поезда; r_m — погонные сопротивления продольному сдвигу рельсовой плети в пределах участка закрепления.

На остальном протяжении пролетного строения рельсовые плети крепятся без защемления подошвы рельса.

На безбалластных мостах с металлическими поперечинами, железобетонными плитами и с ездой по балласту устанавливаются подрельсовые резиновые или резинокордовые амортизаторы. Для уменьшения коэффициента трения между подошвой рельса и амортизаторами в пределах участков, где плети крепятся без защемления подошвы рельса, устанавливаются металлические П-образные прокладки, изготавливаемые из листовой стали толщиной 0,5—2,0 мм (рис. 14.13). В последние десятилетия на многих мостах России с температурными пролетами 100 м и более вместо дорогостоящих уравнильных приборов начали укладывать уравнильные рельсы. Компенсация изменения длины рельсовых плетей на мостах с уравнильными рельсами осуществляется за счет стыковых зазоров, а в необходимых случаях — разности на 40—60 мм одного-двух сезонных уравнильных рельсов. Сезонные рельсы — это рельсы для зимних и летних условий. На зимний период это, как правило, рельсы стандартной длины 12,5 м, а на летний период — укороченные, длиной 12,46; 12,45 или 12,44 м. Укладка плетей с уравнильными рельсами выполняется по специально разработанному проекту, который обязательно должен включать: схему укладки сварных рельсовых плетей и уравнильных рельсов;

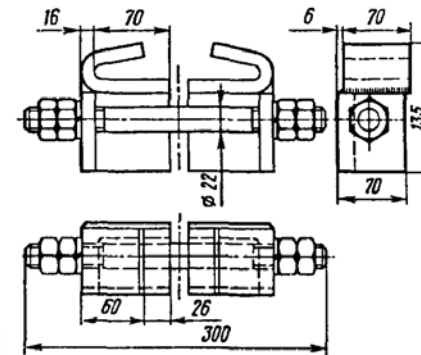


Рис. 14.12. Винтовой противоугон

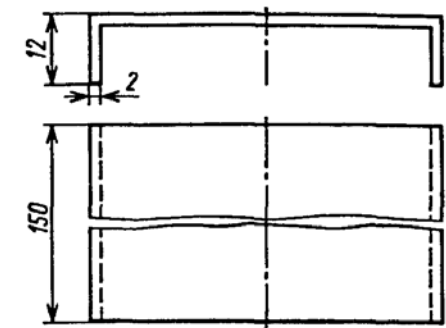


Рис. 14.13. П-образная металлическая прокладка

расчет зазоров в стыках и определение температурного интервала замены сезонных уравнильных рельсов; схему закрепления рельсовых плетей на мостовом полотне и подходах.

В зависимости от конкретного моста в каждом температурном пролете может укладываться не более четырех уравнильных рельсов, один или два из которых могут быть сезонными. Уравнильные рельсы укладываются на подвижном конце пролетного строения так, чтобы средний или крайний рельс перекрывал промежуток между смежными пролетными строениями или пролетным строением и устоем (рис. 14.14). При укладке уравнильных рельсов и закреплении плетей, а также при содержании пути на мостах с уравнильными рельсами зазоры в стыках уравнильных рельсов должны соответствовать расчетным. Расчетные зазоры в стыках устанавливаются в зависимости от максимальной (t_{max}) и минимальной (t_{min}) температуры рельсов на мостовом переходе, общей длины сварных рельсовых плетей и уравнильных рельсов. Максимальная температура рельсов на мостах принимается равной максимальной температуре рельсов на подходах, уменьшенной на 10 °С. С учетом силы трения в стыках уравнильных рельсов полученные значения t_{max} и t_{min} уменьшаются на 5 °С. Например, для Москвы при максимальных и минимальных температурах рельсов на земляном полотне $t_{max\ max} = 58$ °С и $t_{min\ min} = -42$ °С значения максимальных и минимальных температур рельсов на мосту будут равны: $t_{max} = 58 - 10 - 5 = +43$ °С; $t_{min} = -42 - (-5) = -37$ °С. Округляя значения t_{max} и t_{min} до 5 °С в ближайшую сторону, получим $t_{max} = 45$ °С

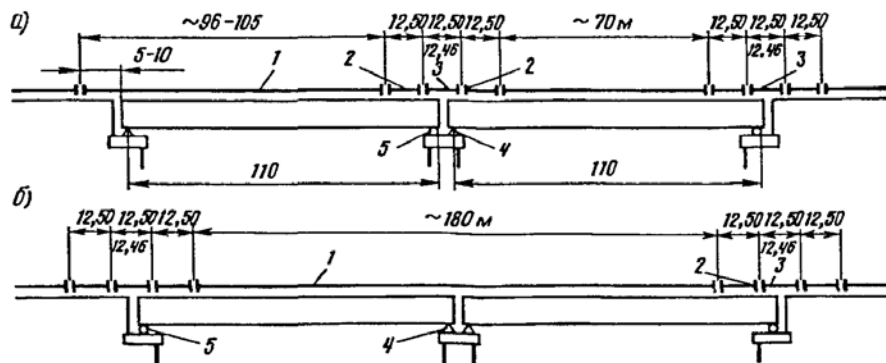


Рис. 14.14. Схемы расположения рельсовых плетей и уравнивающих рельсов на смежных пролетных строениях:

а — с расположением на промежуточной опоре неподвижной и подвижной опорных частей; б — с расположением на промежуточной опоре неподвижных опорных частей, 1 — рельсовая плеть; 2 — уравнивающие рельсы; 3 — сезонный (сменяемый) уравнивающий рельс; 4 — неподвижная опорная часть; 5 — подвижная опорная часть

и $t_{\min} = -35^\circ\text{C}$. Отсюда годовой перепад температуры рельсов на мосту $\max T = 80^\circ\text{C}$. При длине температурного пролета $l_t = 112\text{ м}$ изменение длины рельсовой плети в пределах пролета при годовом цикле изменения температуры рельсов составляет

$$\Delta l_p = \alpha l_t \max T = 125\text{ мм.}$$

Полученное изменение длины рельсовой плети может быть компенсировано стыками уравнивающих рельсов, изменяющимися от 0 до 21 мм, и заменой сезонных уравнивающих рельсов нормальной длины весной на укороченные и, наоборот, укороченных — на нормальные осенью. Укладывая три уравнивающих рельса с одним сезонным длиной 12,46 м, получаем компенсационный промежуток $21 \times 4 + 40 = 124\text{ мм}$, практически равный расчетному удлинению Δl_p .

Для определения величины зазоров в стыках уравнивающих рельсов при различных температурах устанавливается таблица их изменения при изменении температуры на 5°C ($\Delta 5^\circ$):

$$\Delta 5^\circ = \frac{0,118 l_t \Delta t 5^\circ}{n}, \text{ мм,}$$

где l_t — длина температурного пролета; n — число стыков уравнивающих рельсов; $\Delta t 5^\circ$ — температурный интервал 5°C .

Для принятых значений l_t и $n \Delta 5^\circ = 1,65\text{ м}$.

Температура рельсов, $^\circ\text{C}$	Величина зазора (числитель) и сумма зазоров (знаменатель), мм, в стыках уравнивающих рельсов при длине сезонного рельса, м		
	12,46	12,50	
+40	3,0/12	—	
+40 ÷ +35	4,5/18	—	
+35 ÷ +30	6,0/24	—	
+30 ÷ +25	8,0/32	—	
+25 ÷ +20	9,5/38	—	
+20 ÷ +15	11,0/44	1,0/4	
+15 ÷ +10	13,0/52	3,0/12	
+10 ÷ +5	14,5/58	4,5/18	Температурный интервал замены сезонного рельса
+5 ÷ 0	16,0/64	6,0/24	
0 ÷ -5	18,0/72	8,0/32	
-5 ÷ -10	19,5/78	9,5/38	
-10 ÷ -15	21,0/84	11,0/44	
-15 ÷ -20	—	13,0/52	
-20 ÷ -25	—	14,5/58	
-25 ÷ -30	—	16,0/64	
-30 ÷ -35	—	18,0/72	
-35	—	18,0	

Примечание. Данные получены для района Москвы.

С учетом полученного значения $\Delta 5^\circ$ определяются величины зазоров и суммы зазоров в стыках уравнивающих рельсов при различных значениях температур (табл. 14.2).

При t_{\max} указываются зазоры, необходимые для компенсации перемещений рельсов, вызванных проходом временной нагрузки (в уровне рельсового пути). Для других температур зазор определяется путем добавления значений $\Delta 5^\circ$. Сумма зазоров определяется путем умножения зазора на количество стыков.

Тоннель — наиболее сложное и дорогостоящее искусственное сооружение на железной дороге. Поэтому к безопасности движения поездов, состоянию пути в тоннелях и на подходах к ним всегда предъявляются повышенные требования. В тоннелях магистральных железных дорог России и стран СНГ в качестве типовой применяется рельсошпальная решетка с деревянными, реже железобетонными шпалами и со щебеночной призмой. В конструктивном отношении путевая решетка принципиально не отличается от решетки на открытых участках пути. Но из-за особенностей условий работы пути в тоннелях к ней предъявляются повышенные требования в отношении прочности, устойчивости, долговечности, а также к снижению трудоемкости текущего содержания и ремонтов пути.

В коротких хорошо проветриваемых сухих тоннелях, кроме габаритных ограничений, условия работы пути мало отличаются от условий его работы на открытых участках.

В тоннелях большой длины имеют место дополнительные и, как правило, неблагоприятные факторы: повышенная влажность; поступление подземных вод; повышенная запыленность, загазованность воздуха продуктами неполного сгорания топлива локомотивов (при тепловозной тяге), вагонных печей и, конечно же, путевых машин при выполнении ремонтных работ; образование наледи на своде, стенах и рельсовом пути; замерзание воды в водоотводных лотках. В результате перемерзания водоотводных лотков вода поступает на путь, перувлажняет балластную призму, приводит к образованию пучин, которые в тоннелях особенно опасны, так как могут привести к нарушениям габарита и даже деформациям тоннельной обделки.

При повышенной увлажненности рельсы, скрепления и арматура железобетонных шпал в тоннелях подвержены ускоренной коррозии, вызванной химическими и электрохимическими процессами. Наиболее интенсивно повреждаются рельсы и рельсовые скрепления при электрической коррозии, имеющей место на электрифицированных линиях. По данным наблюдений отечественных специалистов срок службы рельсов в сырых тоннелях, расположенных в кривых участках пути, может быть в 2—3 раза меньше, чем на открытых участках. Коррозия рельсов наблюдается не только в зоне контакта подошвы и рельсовых скреплений, но и в зоне рельсового стыка, в частности в зоне болтовых отверстий. Последнее в отдельных случаях приводило к преждевременному выходу рельса. Наиболее эффективная мера защиты от коррозии — устранение обводненности и полное осушение тоннелей. Осушение тоннелей — это дорогостоящий, трудоемкий и длительный процесс, который не всегда удается довести до конца. Поэтому на практике наряду с попытками по осушению тоннелей с целью защиты рельсов и скреплений от коррозии используют анти-

коррозионные покрытия рельсов (в зоне подошвы и стыков) и рельсовых скреплений, повышают уровень изоляции рельсов и скреплений, снижают утечку тяговых и сигнальных токов на электрифицированных линиях.

Наиболее эффективным средством защиты рельсов и скреплений от коррозии на электрифицированных участках является устройство для ограничения утечки тяговых токов за счет секционирования участка пути. Последнее позволяет уменьшить до 15—25 % среднюю величину тока утечки с рельсов и в 4—6 раз снизить коррозионные повреждения рельсов и скреплений.

Стесненность габаритов, загазованность, увлажненность большинства тоннелей осложняют содержание и ремонт пути. Трудоемкость работ по текущему содержанию и ремонтам звеньев пути в тоннелях (особенно выправки, положения в плане и профиле) выше, чем на открытых участках. Это объясняется не только возможными сокращениями сроков службы элементов верхнего строения пути, габаритными ограничениями, но и более жесткими требованиями к безопасности движения поездов и состоянию пути в тоннелях и на подходах к ним. Все это, а также опыт эксплуатации пути показали, что необходимость ликвидации рельсовых стыков в тоннеле значительно острее, чем на открытых участках. Стыки повышают сопротивление прохождению обратного тягового тока на электрифицированных линиях и тем самым способствуют его утечке из рельсовых цепей в балласт и грунт, повышая интенсивность электрической и электрохимической коррозии металлических элементов пути.

Стыки увеличивают основное сопротивление движению грузовых поездов на 8—12 %, а пассажирского — 10—15 %, поэтому ликвидация стыков не только способствует улучшению режимов тяги поездов, но и снижает расходы электроэнергии на электрифицированных участках и дизельного топлива на участках с тепловозной тягой. Стыки рельсов являются зоной повышенных вибрационных воздействий подвижного состава на путь, добавочных сил инерции, воздействующих на путь и обделку. В зоне стыков происходит интенсивное расстройство пути, нарастание остаточных деформаций балластного слоя, повышается выход рельсов, элементов скреплений.

Решением этих проблем может быть только замена звеньев пути в тоннелях на бесстыковой. Применение бесстыкового пути в тоннелях наиболее полно соответствует повышенным требованиям к конструкции пути в тоннелях. Не случайно поэтому тоннели стали первыми железнодорожными объектами, где в ощутимых объемах был применен бесстыковой путь (тоннели Шлехтерн в Германии, 1933 г.; Моффат в США, 1944 г.; Каскадский в Канаде, 1948 г.; Римитака в Новой Зеландии, 1958 г. и т. д.). Этому способствовали не только потребности, но и более льготные температурные условия для бесстыкового пути в тоннелях, чем на открытых участках.

На дорогах мира бесстыковой путь в тоннелях сооружают повсеместно и особенно широко на новых сверхскоростных магистралях в Японии. Так, на линии Новая Саньё тоннели составляют 60 % трассы (111 км) и всюду уложен бесстыковой путь. Бесстыковой путь сооружается в таких тоннелях, как Сейкан длиной 56 км между островами Хонсю и Хоккайдо и др.

Работа бесстыкового пути в тоннелях имеет некоторые особенности. Температура рельсов в них практически совпадает с температурой воздуха (рис. 14.15), особенно в тоннелях длиной более 300—400 м. Температура воздуха в тоннеле и на подходах летом на 22—27 °С меньше, чем за его пределами. Зимой благодаря аккумуляции летнего тепла грунтом температура рельсов близка к температуре воздуха, в длинных тоннелях — на 5—7 °С выше, чем на подходах. В коротких тоннелях (до 300 м) температура воздуха зимой практически не отличается от наземной (разница 1—2 °С) из-за свободного теплообмена (продуваемости тоннеля). В более длинных тоннелях температура рельсов и воздуха может быть выше, чем на подходах на 3—10 °С. В тоннелях, ориентированных с севера на юг, разность температур выше у южного портала. Разность между температурами рельса и воздуха (кроме припортальных зон) обычно не превышает 1—4 °С. Расчетные амплитуды температур рельсов в тоннелях могут быть на 20—30 °С меньше, чем на примыкающих наземных участках. Этот фактор практически снимает ограничения по применению бесстыкового пути в тоннелях. В частности, нет проблемы потери устойчивости пути (выброса).

При проектировании бесстыкового пути необходимо учитывать особые условия его работы вблизи порталов, где происходит смена наземных и подземных температурных условий. В этих местах было бы целесообразно разграничить плети, расположенные в тоннеле и вне его, чтобы каждая работала в одном — внутреннем или наружном — температурном режиме. Но делать стык у портала нежелательно из-за повышенной жесткости основания в этом месте и возможного нагрева концов плетей солнцем. Кроме того, у портала (на расстоянии 5—30 м) нередко располагают изолирующие стыки заградительной сиг-

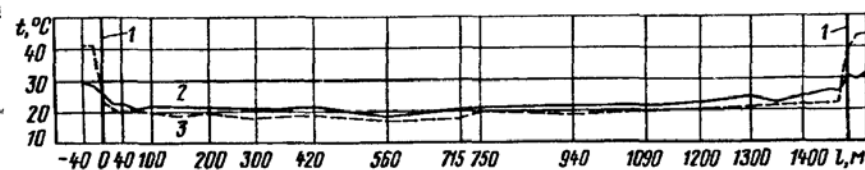


Рис. 14.15. Эпюра температур внутри тоннеля и за его пределами:
1 — порталы; 2, 3 — температуры воздуха и рельсов; l — расстояние от левого портала

нализации и автоблокировки. Поэтому приходится принимать решение о размещении плетей в тоннеле в зависимости от его длины.

В тоннелях длиной более 300 м целесообразно концы плетей размещать внутри тоннеля на расстоянии 10—15 м от портала, соединяя их с "наружным" путем (бесстыковым или звеньевым) уравнительным пролетом. Если длина тоннеля превышает наибольшую допустимую на открытых участках длину плети (950 м), можно рекомендовать сваривать более длинные плети, размеры которых соответствуют длине данного тоннеля. Следует учитывать, что клееболтовые изолирующие стыки можно нагружать продольной силой 120—150 МН, а этого в условиях тоннеля достаточно для вваривания такого стыка в плеть около светофора. Это позволяет укладывать плети длиной, равной длине тоннеля (с вычетом 20—30 м), даже при наличии внутри тоннеля изолирующих стыков.

При коротких (до 300 м) тоннелях, если у порталов нет изолирующих стыков, целесообразно сделать плети возможно большей длины, чтобы тоннель находился в средней части плети, а концы ее могли быть надежно закреплены на подходах к тоннелю. Расчетной, при закреплении таких плетей, должна быть температура, установленная для смежных открытых участков.

В тоннелях, несмотря на льготные температурные условия, рекомендуется применять тяжелое верхнее строение бесстыкового пути (с рельсами типа Р65). Это вызвано стремлением свести к минимуму потребность в ремонтных работах, выполнять которые в стесненных условиях тоннеля сложнее, чем на открытых участках. В нашей стране при сооружении в тоннелях бесстыкового пути укладывают рельсы не легче Р65 и деревянные или железобетонные шпалы на щебеночном балласте. Эпюра шпал в тоннелях должна быть на один класс выше, чем на подходах, т. е. 2000 и 1840 шт./км в тоннеле при 1840 и 1600 шт./км на примыкающих участках. Толщина щебеночного слоя под шпалой — не менее 25 см.

Железобетонные шпалы в тоннелях нашей страны пока применяются ограниченно, хотя они и предусмотрены СНиП. На зарубежных дорогах железобетонные шпалы в тоннелях применяют повсеместно.

Наряду с конструкцией пути на щебеночном балласте на зарубежных железных дорогах широко применяют и безбалластные подрельсовые основания. Устройство в тоннелях безбалластных подрельсовых оснований, кроме увеличения габарита, позволяет повысить надежность пути и сократить расходы на его содержание. Безбалластные подрельсовые основания широко применяют в железнодорожных тоннелях в Японии, Германии, Англии, Нидерландах, Австралии, Канаде, США и других странах. Для уменьшения жесткости основания в тоннелях прокладывают упругие элементы — резиновые прокладки, асфальтовые маты и др.

В СССР впервые безбалластный путь в тоннелях был уложен в 1956—1957 гг. на Закавказской и Львовской железных дорогах. В этих тоннелях деревянные шпалы были омоноличены бетоном. Недостаточный срок службы деревянных шпал и сложность их замены показали бесперспективность такой конструкции подрельсового основания. Следующим шагом по созданию безбалластной конструкции пути в тоннелях явилось омоноличивание бетоном железобетонных шпал. Однако и такой путь в тоннелях не перспективен, так как он не ремонтпригоден. Наиболее перспективным направлением по созданию безбалластного подрельсового основания в тоннелях является применение сборных железобетонных подрельсовых оснований, в том числе плит, малогабаритных рам, лежней. В настоящее время малогабаритные рамы и плиты проходят эксплуатационную проверку в тоннелях.

В качестве скреплений для бесстыкового пути в тоннелях с деревянными шпалами применяют скрепления КД-65, а с железобетонными шпалами, плитами и рамами — КБ-65.

14.3. БЕССТЫКОВОЙ ПУТЬ В МЕТРОПОЛИТЕНАХ

Сегодня никому не нужно доказывать, что в решении городских транспортных проблем наиболее комфортабельным, удобным и экологически чистым видом транспорта является метрополитен. Во всем мире идет бурное развитие метростроения, протяженность сети линий метрополитенов с каждым годом возрастает. Растет количество новых городов в мире, где в ближайшие годы появятся первые линии метрополитенов. Несмотря на сложное экономическое положение, расширяется сеть линий существующих метрополитенов в Москве, Санкт-Петербурге, Нижнем Новгороде, Самаре, Екатеринбурге, Новосибирске. Строятся линии метрополитенов в Красноярске, Казани, Омске, Уфе, Челябинске. В перспективе строительство линий метрополитенов планируется во всех городах с населением, превышающим 1 млн человек.

Каждая вновь вводимая в эксплуатацию линия метро сразу же после открытия начинает работать с максимальной нагрузкой. Грузонапряженность отдельных участков доходит до 45—52 млн. т·км брутто/км в год. Скорости движения поездов непрерывно растут, достигая 80—90 км/ч. На линии московского метро поступают вагоны, которые могут курсировать со скоростями до 100 км/ч. Такая тяжелая эксплуатационная работа сочетается в метрополитенах со сложной трассой. (На Московском метрополитене встречаются уклоны крутизной до 44 %, кривые радиусом 200—300 м и менее.) Хотя у подвижного состава метрополитенов меньшие нагрузки на ось, чем у вагонов магистральных дорог, нередко на путь оказывается значительное воз-

действие, так как, например, число "обмоторенных" осей у вагонов метро в несколько раз больше (до 50 % общего числа). Это создает предпосылки для усиленного бокового износа рельсов в кривых. На отдельных кривых приходится заменять рельсы каждые год-полтора.

На работу пути в метрополитенах влияют условия подземного микроклимата и особенности эксплуатации, когда в течение 20—21 ч в сутки нельзя выполнять путевые работы. Отсутствие солнечного нагрева летом, замораживания зимой, большая длина тоннелей создают в них практически постоянные температурные условия. В то же время в метрополитенах немало мест с большой влажностью, течами через обделку, скоплениями воды после промывки тоннелей и т. д. В этих условиях металлические элементы пути и сооружений подвергаются усиленной коррозии.

В метрополитенах, где агрессивные воды попадают на рельсы, появляется новый дефект коррозионно-усталостного происхождения — сетка микротрещин на поверхности катания, что значительно снижает статическую прочность рельсов. В сильно увлажненных местах наблюдается усиленное загнивание деревянных шпал, срок их службы сокращается до 10—12 лет (в сухих тоннелях Московского метрополитена шпалы служат в среднем до 34 лет). На наземных участках метрополитенов и в тоннелях при проходе поездов возникают вибрации, отрицательно влияющие на близко расположенные сооружения (здания, коллекторы, каналы и др.). Отмеченные особенности условий эксплуатации тоннельных участков метро требуют конструкций пути, обеспечивающих высокую надежность, длительные сроки службы, технологичность при выполнении путевых работ в короткие ночные "окна".

Рельсы, как правило, не легче 50 кг/м в большинстве метрополитенов сваривают в плети (100—200 м). Для закрепления плетей от угона устанавливают необходимое число противоугонов (в Московском метро — клиновые противоугоны). Из-за частого расположения изолирующих стыков (у светофоров, стрелочных переводов и т. д.) до недавнего времени не укладывали плети длиной более 100—200 м. С появлением клееболтовых изолирующих стыков стало возможным применять в тоннелях плети большей длины, вваривая в них в необходимых местах такие стыки, но все равно длина плетей более 250—300 м в тоннелях отечественного метро нереальна, так как в России рельсы сваривают только контактным способом, а сварка в тоннелях не допускается, и плети доставляют в готовом виде с места сварки к месту укладки на тележках сцепами, длина которых ограничивается силой тяги мотовозов. Кроме того, в метро часто расположены пре-

пятствия для укладки плетей: стрелочные переводы, крутые кривые. В связи с этим строительные нормы и правила устанавливают для тоннелей метро наибольшую длину плетей 325 м.

По характеру температурной работы сварной путь в тоннелях метро выгодно отличается от наземных бесстыковых путей: благодаря малым амплитудам колебаний температуры продольные силы в плетях невелики и не угрожают ни разрывом болтов, ни выбросом пути. Продольные подвижки концов плетей в тоннелях метро, как правило, меньше конструктивного зазора стандартного стыка. Благодаря малым подвижкам концов плетей они стыкуются без уравнильных рельсов или приборов.

На первых линиях метрополитена Москвы, открытых в 1935 г., в качестве подрельсового основания была использована конструкция с деревянными шпалами и щебеночным балластом. После сравнительно непродолжительного периода эксплуатации такого пути из-за интенсивных неравномерных просадок рельсовых нитей, сложности их подбивки и замены щебня в стесненных условиях пришлось отказаться от применения щебня в тоннелях метрополитена. В современном метростроении в тоннелях применяют безбалластные конструкции верхнего строения пути. В подземных магистралях метрополитенов России и стран СНГ, кроме первой очереди Московского метрополитена, принят единый тип верхнего строения (рис. 14.16) с деревянными шпалами, втопленными в путевой бетон. Основание пути сооружено из тощевого бетона. В середине колес устроен водоотводный лоток. Во избежание выдергивания шпал из бетона или шурупов из шпал при изгибе рельсов под колесами подвижного состава в этой конструкции заложен принцип "свободного рельса", допускающий вертикальный изгиб рельса без касания им прикрепителей. Это возможно благодаря специальным раздельным креплениям типа "Метро" (рис. 14.17), в которых подошва рельса внутренней кромкой находится под лапчатой ребордой, а наружной — под маятниковым штырем, вставленным в отверстие в высокой наружной реборде. В этом креплении две прокладки: под рельсом — повышает упругость пути и под подкладкой — защищает шпалы от износа. Кроме креплений "Метро", которые успешно эксплуатируются с 1938 г., на путях метрополитенов в России применяют упругие раздельные крепления Д4 (рис. 14.18), Д2 (рис. 14.19), КБ.

Для предупреждения продольных перемещений рельсовых плетей при скреплениях "Метро" в пути на бетоне устанавливаются клиновые противоугоны Шестопалова (рис. 14.20), а в пути на щебне — клиновые или пружинные противоугоны. При других скреплениях противоугоны не ставятся.

Недолговечность деревянных шпал, изготавливаемых в России из мягких пород древесины, большая трудоемкость их замены, связанная с необходимостью вырубки и обратной заливки бетона, отслоение шпал от путевого бетона, их растрескивание и т. д. способствовали разработке новых конструкций подрельсового основания. В тоннелях Московского метрополитена проходят эксплуатационную проверку железобетонные рамы, контактирующие с путевым бетоном через резиновые прокладки-амортизаторы. На линиях Новосибирского метрополитена проходит проверку лежневое железобетонное подрельсовое основание с лежнями, замоноличенными в путевой бетон. Разработан

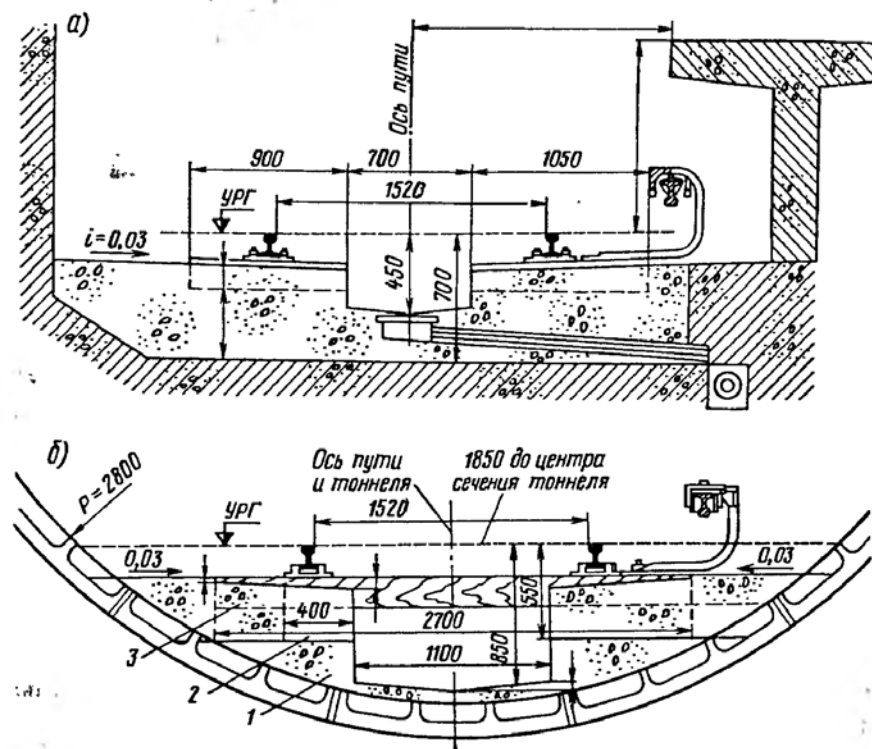


Рис. 14.16. Поперечный разрез пути метрополитена: а — на станции; б — на перегоне; 1 — основание из тощевого бетона; 2 — граница основания пути и путевого бетона; 3 — путевой бетон

вариант виброзащитного пути с лежневым железобетонным подрельсовым основанием, контактирующим с путевым бетоном через амортизирующие прокладки. Эта конструкция подрельсового основания уложена на одном из участков Киевского метрополитена.

В тоннелях метрополитена зарубежных железных дорог применяется, как правило, безбалластное подрельсовое основание; железобетонные шпалы, замоноличенные в путевой бетон; монолитные бетонные основания; железобетонные подрельсовые основания в виде плит, рам и т. д., контактирующие с путевым бетоном или основанием нижней конструкции через амортизирующие прокладки. Скрепления преимущественно бесподкладочные. На всех линиях зарубежных метрополитенов эксплуатируется бесстыковой путь.

На открытых наземных участках отечественных и зарубежных метрополитенов устраивается также бесстыковой путь, но преимущественно с железобетонными шпалами и щебеночным балластным слоем. В качестве скреплений на наземных участках отечественных метропо-

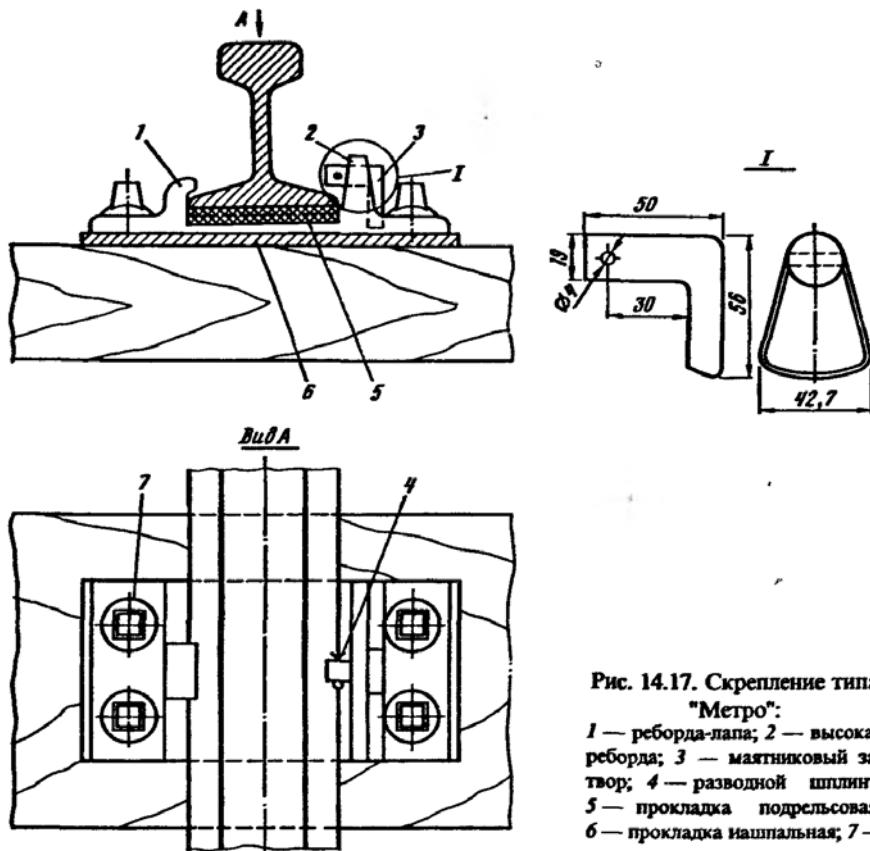


Рис. 14.17. Скрепление типа "Метро":
1 — ребра-лапа; 2 — высокая ребра; 3 — маятниковый затвор; 4 — разводной шплинт; 5 — прокладка подрельсовая; 6 — прокладка напильная; 7 — шурупы

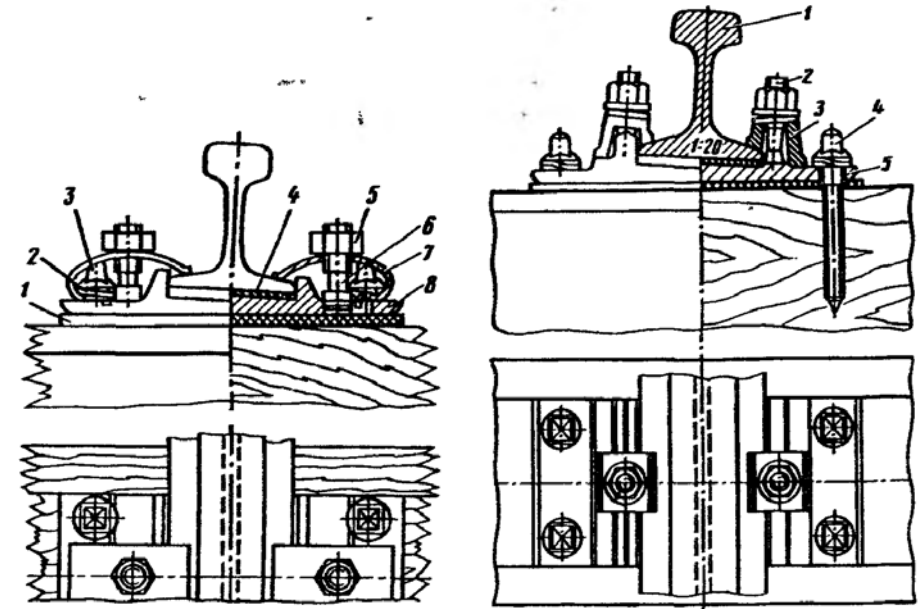


Рис. 14.18. Раздельное промежуточное скрепление типа Д4:
1 — подкладка; 2 — двухвитковая шайба; 3 — путевой шуруп; 4 — прокладка под рельс; 5 — клеммный болт; 6 — гайка; 7 — клемма; 8 — прокладка под подкладку

Рис. 14.19. Раздельное промежуточное скрепление типа Д2:
1 — рельс; 2 — клеммный болт; 3 — клемма; 4 — путевой шуруп; 5 — подкладка

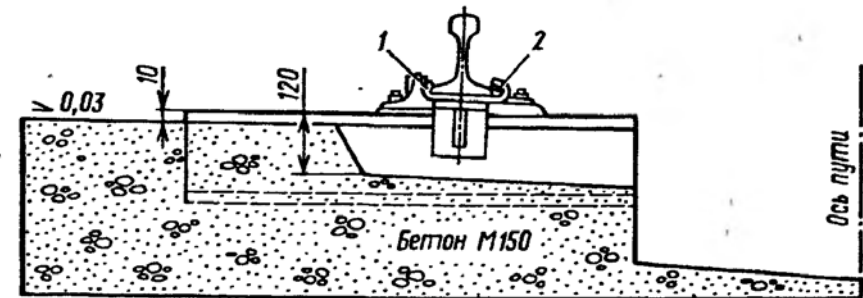


Рис. 14.20. Клиновой противоугон, устанавливаемый в гонделях при пути на бетоне:
1 — скоба противоугона; 2 — клин

литенов применяются скрепления КБ-65. На зарубежных метрополитенах применяются как подкладочные, так и бесподкладочные рельсовые скрепления. Проектирование и укладка бесстыкового пути на наземных участках производятся по нормам для наземных участков бесстыкового пути магистральных железных дорог.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ

15.1. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Эффективность применения верхнего строения пути в целом и его элементов оценивают системой технических, экономических, натуральных и экологических показателей. К техническим показателям относятся: напряжения в рельсах и других элементах пути, устойчивость, выход из строя элементов пути; к экономическим: первоначальные затраты, эксплуатационные расходы, сроки окупаемости, приведенные расходы; к натуральным: производительность труда, расход материалов (с выделением дефицитных), продолжительность "окон" для ремонтных работ и текущего содержания, фондоотдача; к экологическим: количество вредных выбросов в окружающую среду, шумовое загрязнение, понижение работоспособности, ускорение износа основных фондов.

Выбор конструкций пути, установление сфер их рационального применения определяют на основании совокупного анализа всех показателей.

Техническими показателями, прежде всего, характеризуется уровень безопасности движения поездов. Определяются технические показатели расчетами пути на прочность, устойчивость, выход элементов и сравниваются с установленными нормативами.

Путь — многоэлементный, ремонтируемый и восстанавливаемый объект. Он нерезервирован по основному несущему элементу — рельсу и имеет резервирование по элементам рельсового основания. Отказ рельса является отказом пути в целом, а отказ какого-либо элемента рельсового основания, например шпалы, подкладки, прикрепителя не является отказом пути, так как соседние элементы воспринимают нагрузку на себя и этим обеспечивают нагрузочное резервирование.

Рельс совокупно воспринимает все виды воздействия на путь в целом. По указанным причинам выход рельсов из строя принят в качестве ведущего технического показателя работы пути, именно по допустимой его величине установлены сроки важнейших видов ремонтов: обновления и капитального ремонта пути. Нормативы допустимого выхода рельсов для классов пути и его виды установлены приказом МПС № 12Ц от 15.08.1994 г.

В качестве показателей сравнительной экономической эффективности конструкции пути согласно отраслевой методики принимают: приведенные расходы

$$П_i = K_i E_{нi} + Э_i; \quad (15.1)$$

срок окупаемости

$$t_{ок} = \frac{K_1 - K_2}{Э_2 - Э_1}; \quad (15.2)$$

сумму приведенных расходов

$$R_i = K_i + \sum_{t=0}^{t=t_p} Э_i \eta_t + \sum_{t=0}^{t=t_p} C_i \eta_t; \quad (15.3)$$

где K_1, K_2, \dots, K_i — капитальные вложения (стоимость укладки верхнего строения пути), руб/км; $Э_1, Э_2, \dots, Э_i$ — текущие (эксплуатационные) расходы по вариантам верхнего строения пути, руб/км в год; C_i — расходы на ремонты (подъемочные, средние и др.), руб./км; $E_{нi}$ — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, равный 0,1; η_t — коэффициент, учитывающий приведение затрат по времени, t_i — период времени приведения расходов в годах до t_p включительно.

В свою очередь

$$\eta_t = \frac{1}{(1 + E_{нп})^t}; \quad (15.4)$$

где $E_{нп}$ — норматив приведения разновременных затрат, равный 0,08.

Годовой экономический эффект от применения бесстыкового пути

$$Э_r = E_{нi}(K_1 - K_2) + (Э_1 - Э_2) \quad (15.5)$$

или

$$Э_r = \frac{[E_{нi}(K_1 - K_2) + (Э_1 - Э_2)] \eta_t}{12,5} \quad (15.6)$$

Формула (15.5) пригодна при длительном сроке эксплуатации бесстыкового пути, формула (15.6) — при ограниченном.

В переходный период, в условиях больших скачков в изменении цен, проблематичным становится учет коэффициентов приведения затрат во времени, нормативных коэффициентов. Поэтому на практике находят применение упрощенные методы определения эффективности без их учета. Так, согласно Указанию МПС от 03.02.1995 г. № А-105у

при проведении мероприятий, увеличивающих срок службы конструкции пути, экономия в год (экономический эффект) определяется по формуле

$$\mathcal{E}_T = \frac{C_6(K-1)C_m}{T_n} \quad (15.7)$$

где \mathcal{E}_T — экономический эффект (экономия), руб./год; C_6 — стоимость конструкции (элемента) верхнего строения пути базового варианта, руб.; $K = \frac{T_n}{T_6}$ — коэффициент повышения срока службы конструкций (элемента)

пути; T_n — срок службы конструкции (элемента) пути, где реализуются ресурсосберегающие мероприятия (в том числе, например, бесстыкового пути по сравнению с звеньевым), годы; T_6 — срок службы конструкции (элемента) верхнего строения пути базового варианта, годы; C_m — затраты на реализацию ресурсосберегающего мероприятия, руб.

К мероприятиям, увеличивающим срок службы конструкции, относятся применение бесстыкового пути, перекладка рельсов, их шлифовка и др.

Экономический эффект от снижения стоимости конструкции (элемента)

$$\mathcal{E}_c = \frac{C_6 - C_n}{T_6} \quad (15.8)$$

где C_6 — стоимость конструкции (элемента) верхнего строения пути базового варианта; C_n — стоимость конструкции (элемента) верхнего строения пути, где реализовано ресурсосберегающее мероприятие.

К мероприятиям, снижающим стоимость конструкции, относятся: применение в рельсошпальной решетке частично старогодных материалов, повторное использование рельсов, решетки с железобетонными шпалами и др.

По сравнению с изменением цен более устойчивыми являются натуральные показатели:

трудоемкость

$$H = 260H_T + \frac{(H_{кр} + H_{ср}n_{ср} + H_n n_n)T_0}{T_{кр}} \quad (15.9)$$

где H — трудоемкость текущего содержания и всех ремонтов, чел.-дн/км в год; 260 — число рабочих дней в году; H_T — затраты труда на текущее содержание, чел.-дн/км в год; $H_{кр}$, $H_{ср}$, H_n — затраты труда соответственно на капитальный, средний, подъемочный ремонты (здесь могут быть и другие виды ремонта), чел.-дн/км; $n_{ср}$, n_n — количество средних и подъемочных ремонтов за период между капитальными ремонтами (службы конструкции); T_0 — грузонапряженность, млн т-км брутто/км в год; $T_{кр}$ — тоннаж между капитальными ремонтами, млн. т брутто.

Производительность труда

$$П = \frac{260T_0}{H} \quad (15.10)$$

где $П$ — производительность труда т-км брутто/чел. в год; фондоотдача

$$F = \frac{T_{кр.i}}{K_i} \quad (15.11)$$

где F — фондоотдача, млн. т брутто/руб.; $T_{кр.i}$ — тоннаж между капитальными ремонтами конструкции, млн. т брутто; K_i — стоимость укладки конструкции, руб./км.

Экономический эффект от мероприятий по охране природы, если обеспечивается уменьшение объемов загрязнения и концентрации вредных веществ в атмосфере, водной среде и почве или сокращение потребляемых природных ресурсов, определяют по формулам:

$$\mathcal{E}_z = Q_{ср} T_{ср} (D_n - D_k); \quad (15.12)$$

$$\mathcal{E}_n = V(g_n - g_k); \quad (15.13)$$

где \mathcal{E}_z , \mathcal{E}_n — величина экологического эффекта; $Q_{ср}$ — среднесуточная, среднечасовая производительность объекта, м³, т; $T_{ср}$ — средний срок службы объекта; D_n , D_k — предельно допускаемые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ до и после проведения мероприятий; V — объем потребления и производства продукции в натуральном исчислении; g_n , g_k — удельное потребление природного ресурса в натуральном исчислении до и после проведения мероприятий.

15.2. ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

Г При бесстыковом пути повышается безопасность движения поездов по сравнению со звеньевым путем. Благодаря резкому сокращению числа болтовых стыков и уменьшению динамических воздействий существенно облегчается работа рельсов.

Многочратно проведенный анализ показал, что при грузонапряженности 50—55 млн. т-км брутто/км в год и незакаленных рельсах Р65 к моменту прохода 500 млн. т брутто (при отсутствии профильной шлифовки) получается следующая картина изъятия рельсов в штуках на 1 км пути (при плетях длиной около 500 м):

Сварные рельсовые плети на железобетонных шпалах (без учета уравнильных пролетов)	0,8—1,5
Бесстыковой путь в целом (плети и уравнильные пролеты)	1,8—2,4
Звеньевой путь с рельсами длиной 25 м на деревянных шпалах	4—5

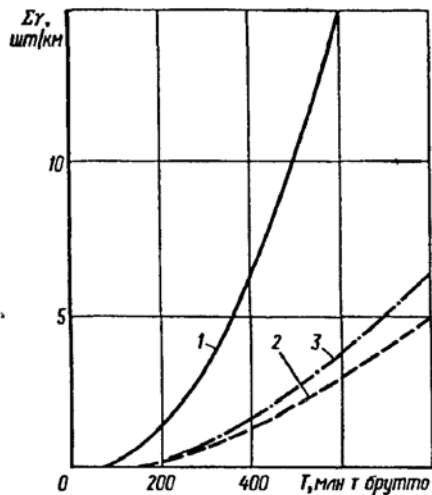


Рис 15.1 Выход рельсов Σy в зависимости от пропущенного тоннажа T (рельсы Р65, железобетонные шпалы, щебеночный балласт, грузонапряженность 25 млн т км брутто/км в год)
кривые 1, 2, 3 — соответственно для уравнительных пролетов, в пределах плети и для бесстыкового пути в целом

При закаленных рельсах эти данные в 1,5 раза меньше. Выход рельсов на бесстыковом пути с железобетонными шпалами неодинаков: на уравнильных пролетах он больше, чем на плетях. К моменту пропуска тоннажа 250—300 млн. т брутто (примерно к сроку среднего ремонта) резко увеличивается выход рельсов в зоне уравнильных пролетов (рис. 15.1) по дефектам 17.1 и 18.1 — выкрашивание закаленного слоя в головке рельсов в стыках. Ко времени среднего ремонта нарастают износ, сбитие и смятие концов рельсов в стыках уравнильных рельсов, образуются наплывы металла в головке по торцам рельсов. Поэтому после пропуска около 150 млн. т тоннажа брутто рекомендуется профилактически удалить наплыв и смятие металла по концам рельсов.

В состав среднего ремонта введена ревизия уравнильных пролетов, как правило, со сплошной заменой рельсов.

При длине плети около 500 м, что фактически имело место при стандартной длине плетей 800 м (равной длине спецсостава для их перевозки) в пути оставалось 16—18 стыков. Это малое количество стыков оказалось не столь безобидным, как ожидалось. Стыки в уравнильных пролетах потребовали при текущем содержании и ремонте больше затрат средств и сил, чем стыки стандартных рельсов длиной 25 м. Поэтому при малой длине плетей (менее 300—400 м) затраты на таком бесстыковом пути превосходят затраты на звеньевом пути (при стандартной длине рельса 25 м). Были осуществлены как научно-исследовательские, так и практические работы по удлинению плетей до длины, равной блок-участку (расстоянию между сигналами автоблокировки), затем до длины, равной длине перегона, а в настоящее время неограниченной длины (со сваркой в плети стрелочных переводов).

При отсутствии стыков уменьшается число нарушений в работе автоблокировки. Согласно отчетным данным на сети дорог около 30 % нарушений в работе автоблокировки происходило из-за неисправности рельсовых соединителей. При сверлении отверстий в шейке рельсов (при установке стальных соединителей для автоблокировки),

а также приварке медных соединителей (при электрической тяге) происходит порча рельсов, что нередко ведет к образованию в них дефектов.

При сварке рельсов в плети (особенно неограниченной длины) на 20—25 % повышается шунтовая чувствительность и коэффициент чувствительности к излому и изъятию рельса. Расстройства, износ и изломы ходовых частей подвижного состава (подвесок, рессор и т. д.) уменьшаются при бесстыковом пути.

Из рельсовых цепей, работающих без изолирующих стыков, наибольшее распространение на отечественных дорогах получили цепи с тональной частотой. Сейчас их протяженность составляет несколько тысяч километров. По сравнению с кодовыми они более чувствительны к обрыву рельсовой нити, лучше защищены от импульсных помех, меньше потребляют энергии. Однако тональные рельсовые цепи более сложны и нуждаются в более квалифицированном обслуживании.

15.3. ЗАТРАТЫ НА УКЛАДКУ И РЕМОНТЫ

На эксплуатируемых линиях МПС РФ бесстыковой путь укладывается, как правило, при капитальном ремонте (обновлении или усиленном капитальном ремонте). Ранее стоимость и расход труда на капитальный ремонт звеньевом и бесстыковом пути приводились в среднесетевых калькуляциях и были относительно стабильны. Сейчас, при переходе к рыночным отношениям, стоимость материалов, конструкций и изделий, затраты и оплата труда, энергетические и другие расходы более дифференцированы по дорогам (регионам). В целях сокращения расходов стремятся приобретать материалы на торгах, в том числе и за рубежом (например, покупка у Японии рельсов для Дальневосточного региона).

Капитальный ремонт осуществляется по проекту, составляемому, как правило, в одну стадию. Перед его составлением заказчик (дорога, служба пути) стремится заключить договора с поставщиками материалов, конструкций и изделий, топлива и энергии. Договорные цены используются при составлении проекта капитального ремонта. В связи с переходом к рыночным отношениям в проектах капитального ремонта появились новые виды затрат, которые ранее (при составлении среднесетевой калькуляции) не учитывались, например, налог на содержание дорог (2 % от итога сводной калькуляции), транспортный налог (1 % от фонда оплаты труда), налог на экологию. Основная часть расходов сметной стоимости приходится на материалы, конструкции и изделия — 80—85 % (с начислениями).

Таблица 15.2

Наименование расходов	Численные значения расходов в ценах 1998 г. по вариантам		
	1	2	3
Капитальные вложения (сметная стоимость капитального ремонта), K_i , руб./км	763860	998970	629270
Расчетные эксплуатационные расходы (при грузонапряженности 20 млн. т-км брутто/км в год, \mathcal{E}_i , руб./км в год)	84860	52600	48390

В формировании затрат на капитальный ремонт бесстыкового пути в современных условиях надо учитывать еще два обстоятельства: внедрение глубокой очистки щебня и использование старогодных материалов (прежде всего рельсошпальной решетки).

Чтобы оценить численно сдвиги, которые произошли за последние 10 лет (с 1988 по 1998 г.), приведем результаты расчета трех вариантов конструкций пути:

1-й вариант с рельсами Р50 (новые), звеньевой путь на деревянных шпалах с щебеночным балластом;

2-й вариант с рельсами Р65 (новые), бесстыковой путь со сварными плетями длиной 500—600 м на железобетонных шпалах со щебеночным балластом;

3-й вариант с рельсами Р65 (старогодные), бесстыковой путь со сварными плетями длиной 500—600 м на железобетонных шпалах со щебеночным балластом (табл. 15.1, 15.2).

Видно, что в ценах 1988 г. 3-й вариант (старогодные материалы) эффективнее вариантов 1 и 2, так как и первоначальные расходы (капитальные вложения), и эксплуатационные расходы у него меньше.

Вариант 2 (новые рельсы Р65, бесстыковой путь с железобетонными шпалами) по сравнению с вариантом 1 (новые рельсы Р50, звеньевой путь на деревянных шпалах) имел срок окупаемости

$$t_{\text{ок}} = \frac{K_2 - K_1}{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2} = \frac{76473 - 5976}{7592 - 4549} = 6 \text{ лет.}$$

При нормативном сроке окупаемости 8—10 лет этот вариант экономически целесообразен.

Расчет, выполненный в ценах 1998 г. (табл. 15.2), показал, что экономически выгоден вариант 3 (со старогодными рельсами Р65, с бесстыковыми плетями на железобетонных шпалах), имеющий меньшие капитальные вложения и эксплуатационные расходы по сравнению с двумя другими вариантами.

Таблица 15.1

Наименование расходов	Численные значения расходов в ценах 1988 г. по вариантам		
	1	2	3
Капитальные вложения (сметная стоимость капитального ремонта), K_i , руб./км	59070	76473	52961
Расчетные эксплуатационные расходы (при грузонапряженности 20 млн. т-км брутто/км в год, \mathcal{E}_i , руб./км в год)	7592	4549	4535

Однако, если при ценах 1988 г. варианты 1-й и 2-й были дороже, чем 3-й (со старогодными материалами) соответственно в 1,11 и 1,43 раза, то при ценах 1998 г. дороже в 1,21 и 1,56 раза, т. е. по единовременным расходам в сегодняшних условиях эффективность от применения при капитальном ремонте старогодных материалов возросла. Эксплуатационные расходы 2-го и 3-го вариантов в ценах 1998 г. оказались близкими, а 1-го варианта больше в 1,7 раза, т. е. и по эксплуатационным расходам применение повторно используемых материалов также возросло.

Сроки окупаемости 2-го варианта по сравнению с 1-м

$$t_{\text{ок}} = \frac{K_2 - K_1}{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2} = \frac{998970 - 763860}{84860 - 52600} = 7,3 \text{ года,}$$

т. е. сегодня при расчетной грузонапряженности 20 млн т-км брутто/км в год несколько расширяется сфера применения более легкого верхнего строения пути с рельсами Р50, что объясняется динамикой цен и спадом в объемах перевозок, хотя эффективность бесстыкового пути с новыми рельсами Р65 на железобетонных шпалах по сравнению со звеньевым путем и рельсами Р50 сохраняется.

Графическое изображение суммарных расходов $\Pi_i = f(t)$ по вариантам приведено на рис. 15.2.

В вышеприведенном расчете цены 1998 г. были приняты по одному достаточно типичному участку пути Московской дороги.

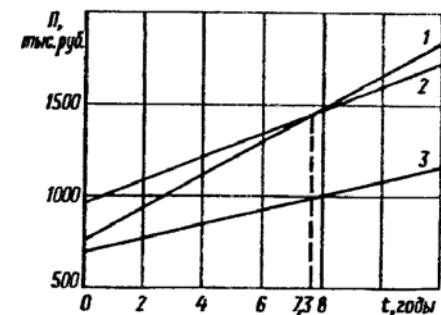
Рис. 15.2. Суммарные расходы $\Pi_i = f(t)$ по вариантам

Таблица 15.3

Характеристика ремонта	Затраты труда, чел.-день/км, на		
	капитальный ремонт с укладкой инвентарных рельсов	замену инвентарных рельсов сварными рельсовыми плетями	весь капитальный ремонт
Капитальный ремонт бесстыкового пути (плеть длиной 500—800 м) на железобетонных шпалах с укладкой инвентарных рельсов и применением ЩОМ-4, УК 25/18, бульдозера	550—700	80—110	630—810
Капитальный ремонт звеньевых путей на деревянных шпалах с применением ЩОМ-4, УК 18/9, бульдозера			450—550

В условиях рыночных отношений цены существенно колеблются и по капитальному ремонту пути по сравнению с ценами 1988 г. возросли в 12—14 раз. Этот рост зарегистрирован по всем статьям сметного расчета; при этом произошел не только рост самих цен, но и удельный (на единицу длины пути в 1 км) расход натуральных показателей, в частности, расход труда (табл. 15.3).

Повышение затрат труда объясняется рядом причин, главная из которых — глубокая очистка щебня.

Сметная стоимость капитального ремонта пути существенно колеблется (табл. 15.4).

Таблица 15.4

Характеристика ремонтируемого пути	Сметная стоимость капитального ремонта пути (в ценах 1998 г.), тыс. руб./км			
	Всего	В том числе		
		заработная плата	материалы	стоимость эксплуатации машин
Рельсы Р65 новые, звеньевой путь с деревянными шпалами	620—690	30—40	300—350	40—45
Рельсы Р65, бесстыковой путь (плети длиной 500—800 м) с железобетонными шпалами (все материалы новые)	950—1050	40—50	750—850	85—90
То же, материалы старогодные	550—600	50—55	200—250	45—50

Таблица 15.5

Характеристика ремонта и пути	Затраты труда, чел.-дн/км	Стоимость, тыс. руб./км		
		Рабочая сила	Материалы	Всего с учетом других затрат и начислений
<i>Средний ремонт:</i>				
звеньевой путь на щебне, деревянные шпалы, костыльное скрепление	250—300	11,5—12,5	30—40	68—75
бесстыковой путь на щебне, железобетонные шпалы, скрепление КБ	260—390	12,0—12,5	15—20	45—50
<i>Подъемочный ремонт:</i>				
звеньевой путь на щебне, деревянные шпалы, костыльное скрепление	140—150	6—8	10—12	28—30
бесстыковой путь на щебне, железобетонные шпалы, скрепление КБ	120—130	5—6	8—10	25—27

Приближенная сметная стоимость среднего и подъемочного ремонтов (табл. 15.5) также колеблется, но в меньших пределах.

Стоимость среднего и подъемочного ремонтов бесстыкового пути на железобетонных шпалах меньше, чем звеньевых путей на деревянных шпалах, главным образом благодаря меньшим расходам на материалы.

15.4. СТОИМОСТЬ ТЕКУЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ПУТИ

Состав работ по текущему содержанию бесстыкового пути с железобетонными шпалами отличается от такового при звеньевом пути с деревянными шпалами. На бесстыковом пути с железобетонными шпалами основными являются работы по выправке (40—50 %) и закреплению болтов промежуточных скреплений (20—25 %). На звеньевом пути с деревянными шпалами работы по выправке составляют 30—40 %, а по перешивке — 10—15 %, закреплению стыковых болтов — 5—10 %. Поэтому комплектование бригад по текущему содержанию, обеспечение их средствами механизации, организация работ несколько отличаются.

Нормативные затраты труда приказом МПС № 8Ц от 03.04.1997 г. установлены применительно к классам пути и существенно зависят от грузонапряженности (табл. 15.6).

Таблица 15.6

Грузонапряженность, млн т·км брутто/км в год	Нормы затрат труда, чел./км в год, на текущее содержание пути класса ЗВ4	
	Звеньевой путь, рельсы Р65 длиной 25 м, шпалы деревянные, балласт щебеночный	Бесстыковой путь, рельсы Р65, шпалы железобетонные, балласт щебеночный
10	0,451	0,409
20	0,520	0,479
30	0,568	0,541
40	0,620	0,599
50	0,671	0,655

Нормы содержат работы, не зависящие от движения поездов: текущее обслуживание земляного полотна и водоотводов, путевых знаков, переездов, исправление пути на пучинах, удаление с путей наледей, очистка от снега стыков и участков пути, требующих его выправки, выправка пути в зимних условиях, вскрытие кюветов для пропуска весенних вод; оправка балластной призмы, осмотр пути и другие работы.

Величина затрат, не зависящих от движения поездов, составляет: на бесстыковом пути — 0,30 чел./км в год; на звеньевом пути — 0,35 чел./км в год.

К нормам установлены поправочные коэффициенты, учитывающие специфику конструкции пути и условий эксплуатации. Для звеньевого и бесстыкового пути с рельсами 12,5 м поправочный коэффициент к нормам установлен в 1,05; при средней длине плети бесстыкового пути менее 500 м коэффициент равен 1,00; от 500 м до 1000 м — 0,9; более 1000 м — 0,85. На участках пути, отремонтированных с глубокой очисткой щебеночного балласта на всю толщину и усилением балластной призмы, коэффициент составляет 0,80.

В нормах предусмотрено значительное влияние сроков шлифовки рельсов на затраты труда. Если промежуточные шлифовки рельсов не делаются, то поправочный коэффициент принимается равным 1,00; при не проведении одной промежуточной шлифовки — 0,95; при соблюдении сроков шлифовки рельсов — 0,85.

В нормах отдельно не выделены трудовые затраты на содержание уравнильных пролетов, хотя они значительны и составляют на единицу длины пути больше, чем на плети, в 6—8 раз.

Экономически выгодно своевременно выполнять подъемочные и средние ремонты, после которых фактические расходы уменьшаются соответственно на 20 и 30 %, а также ликвидировать уравнильные пролеты, переходя на длину плетей, равную длине блок-участка или перегона.

Пример. Определить эффективность сварки плетей длиной с блок-участок. Исходные данные: грузонапряженность участка — 45 млн т·км брутто/км в год; межремонтный срок — около 13 лет; средняя длина блок-участка — 1,5 км; на нем устраняется одна зона уравнильных пролетов; длина уравнильных пролетов и "дышащих" концов плетей — $3 \cdot 12,5 + 2 \cdot 50 = 140$ м (0,14 км).

1. Экономия от сокращения расхода стыковых скреплений

При трех уравнильных пролетах ликвидируются четыре пары стыков. Стоимость сварки одного стыка (в ценах 1998 г.): в РСП — 109 руб.; машиной ПРСМ на перегоне в "окно" — 434 руб. Из восьми стыков в пути свариваются два и в РСП — шесть. Общие затраты на сварку: $6 \cdot 109 + 2 \cdot 434 = 1522$ руб. Стоимость двух шестидырных накладок и шести болтов с гайками — 234 руб. Экономия составит $8 \cdot 234 - 1522 = 350$ руб.

2. Экономия за счет увеличения срока службы рельсов

За межремонтный период (13 лет) в зонах уравнильных пролетов и "дышащих" концов плетей выходит из строя 21 рельс на 1 км, а в середине плети — 1,5 шт./км. При устранении одной зоны уравнильных пролетов будет изъято меньше на $(21 - 1,5) \cdot 0,14 = 2,73$ рельса; их замена стоит (рабочая сила) $2,73 \cdot 139,8$ руб. = 382 руб., а цена самих рельсов длиной 12,5 м массой 64,64 кг/м равна $2,73 \cdot 12,5 \cdot 64,64 \cdot 3,1 = 6838$ руб., где 3,1 руб. — стоимость 1 кг рельсов. Всего сберегается $382 + 6838 = 7220$ руб., а в год $7220 : 13 = 555$ руб.

3. Экономия за счет снижения периодичности закрепления гаек клеммных и закладных болтов

В зоне уравнильных пролетов и "дышащих" концов плетей для принятых исходных данных требуется 2,13 затяжки в год или $2,13 \cdot 13 = 27,69$ затяжки за межремонтный срок, а в середине плетей соответственно 1,18 и 15,34. На 140 м пути лежит 262 шпалы. Подкручивание гаек на 1000 шпалах ПМГ стоит 2,241 тыс. руб., а заработная плата — 42 руб. Число затяжек уменьшится на $27,69 - 15,34 = 12,35$, а расходы сокращаются на $12,35(2,241 + 0,042) \cdot 0,262 = 7,387$ тыс. руб.

4. Экономия за счет уменьшения числа выправок

В зонах уравнильных пролетов и "дышащих" концов плетей требуется в среднем 2,14 выправки в год или 27,82 выправки за межремонтный период, а в середине плети соответственно 0,89 и 11,57. Стоимость эксплуатации машины ВПР-1200 739 руб. за 100 шпал, а заработок обслуживающего персонала 8 руб. за 100 шпал. Экономия составляет $2,62(27,82 - 11,57)(739 + 8) = 31,084$ тыс. руб.

Т а б л и ц а 15.7

Показатель	Значение показателя после ликвидации уравнительных пролетов		
	Подкладки	Прокладки	
		подрельсовые	нашпальные
Выход из строя за межремонтный срок, %			
в зонах уравнительных рельсов	19,0	110,0	74
в середине плетей	10,6	34,8	31
Снижение выхода, %	8,4	75,2	43
Снижение выхода на 140 м, шт.	44,0	394,0	225
Экономия затрат на материалы и их замену, руб.	2150	754	2340

5. Экономия за счет увеличения срока службы скреплений

Расчет экономии от увеличения срока службы скреплений приведен в табл. 15.7.

Общая экономия: в единовременных затратах — 350 руб.; в годовых эксплуатационных расходах за межремонтный срок $7,220 + 7,387 + 31,804 + 5,244 = 51,6$ тыс. руб., а в год $51,6:13 = 3,9$ тыс. руб. Для дороги экономия будет еще больше, так как сократятся расходы, вызываемые сопротивлением движению поездов.

15.5. СОПРОТИВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЮ ПОЕЗДОВ И РАСХОДЫ НА ЕГО ПРЕОДОЛЕНИЕ

Влияние конструкции верхнего строения пути на основное сопротивление движению поезда было предметом многих экспериментальных и теоретических исследований как в России (Б. Н. Веденисов, М. Е. Вериго, Ю. А. Баталин, В. Я. Шульга, И. П. Исаев, П. И. Астахов, В. А. Лаптев и др.), так и за рубежом (А. Н. Рисс, Ф. В. Гардинер, Э. Керкополи, И. Папаи и др.). Было установлено, что применение бесстыкового пути с железобетонными шпалами существенно уменьшает сопротивление движению поезда по сравнению со звеньевым путем на деревянных шпалах. Однако численные значения этого уменьшения различными авторами оценивались со значительными колебаниями. На основе обобщения результатов этих исследований, а главное экспериментов ВНИИЖТа были разработаны Правила тяговых расчетов для поездной работы (ПТР). В этих Правилах были даны различные формулы для определения удельного сопротивления движению экипажей w в зависимости, в том числе, от конструкции верхнего строения пути.

На звеньевом пути для четырехосных вагонов на подшипниках скольжения и шестиосных вагонов на роликовых подшипниках ($q_0 > 6$ т):

$$w''_{0,1} = 0,7 + \frac{8 + 0,1v + 0,0025v^2}{q_0} \quad (15.14)$$

Для бесстыкового пути четырехосных вагонов на подшипниках скольжения и шестиосных вагонов на роликовых подшипниках ($q_0 > 6$ т):

$$w''_{0,2} = 0,7 + \frac{8 + 0,08v + 0,002v^2}{q_0} \quad (15.15)$$

На звеньевом пути для четырехосных вагонов на роликовых подшипниках и вагонов рефрижераторных поездов ($q_0 > 6$ т):

$$w''_{0,1} = 0,7 + \frac{3 + 0,1v + 0,0025v^2}{q_0} \quad (15.16)$$

На бесстыковом пути для четырехосных вагонов на роликовых подшипниках и вагонов рефрижераторных поездов ($q_0 > 6$ т):

$$w''_{0,2} = 0,7 + \frac{3 + 0,09v + 0,002v^2}{q_0} \quad (15.17)$$

Подсчитанные по формулам (15.14)—(15.17) удельные сопротивления движению вагонов приведены в табл. 15.8, из которой видно, что дополнительное сопротивление стыков ($w''_{0,1} - w''_{0,2}$) по ПТР составляет 8—12% основного удельного сопротивления (в диапазоне скоростей 40—70 км/ч, наиболее часто имеющих на наших железных дорогах).

С ростом скоростей движения поездов дополнительное сопротивление движению от стыков увеличивается, что может иметь существенное значение при экономической оценке мероприятий, связанных с высокими скоростями движения поездов, а также увеличением стоимости электроэнергии и дизельного топлива.

Удельное сопротивление вагонов в ПТР для звеньевом и бесстыкового пути определено для пути средней изношенности на щебне с рельсами Р50 и длине плетей 400—500 м. На сопротивление движению поезда от пути (и его части — от стыков) оказывает влияние не только масса рельсов, тип и эпюра шпал, вид балласта, но и их состояние (изношенность).

Тип вагонов	v, км/ч	Основное удельное сопротивление движению подвижного состава w''_0 , Н/т		$w''_{0,1} - w''_{0,2}$
		Звеньевой путь	Бесстыковой путь	
Четырехосные:				
с подшипниками	40	17,7	16,6	1,10
скольжения	70	25,3	22,7	2,60
с роликовыми подшипниками	40	13,5	11,9	1,60
	70	19,7	17,6	2,10

Примечание. Рассчитано при массе $q_0 = 15$ т, приходящейся на одну ось, и деревянных шпалах.

Мощность рельса и состояние пути оказывают наибольшее влияние на сопротивление движению. ПТР позволяют осуществить оценку эффективности бесстыкового пути на базе экспериментов, выполненных ВНИИЖТом при их разработке. По формулам ПТР можно определить разницу $w''_{0,1} - w''_{0,2}$ сопротивления движению от ликвидации стыков, разделив которую на количество ликвидируемых стыков, получим величину сопротивления, приходящуюся на один стык:

$$\Delta w = \frac{w''_{0,1} - w''_{0,2}}{n}, \quad (15.18)$$

где n — количество ликвидированных стыков (при плетях длиной 400—500 м и стандартной длине рельса 25 м: $80 - 16 = 64$ стыка).

Например для четырехосных вагонов с подшипниками скольжения при $v = 70$ км/ч

$$\Delta w = \frac{w''_{0,1} - w''_{0,2}}{64} = \frac{2,60}{64} = 0,04 \text{ Н/т стык.}$$

Если применить рельсовые плети неограниченной длины, то еще устраняются 16 стыков (в уравнильных пролетах) на 1 км пути. Из-за большего раскрытия стыков в уравнильных пролетах, чем стыков при стандартной длине рельса, примем на один стык в уравнительном пролете сопротивление движению в 1,5 раза больше, тогда

$$(w''_{0,1} - w''_{0,2}) + 16 \cdot 0,04 = (25,3 - 22,7) + 0,64 = 3,24 \text{ Н/т,}$$

что на 12 % меньше сопротивления, чем на звеньевом пути.

Таким образом, уменьшение сопротивления движению от ликвидации стыков при плетях длиной 400—500 м составляет по сравнению со стандартными рельсами 9—10 %, а при неограниченной длине плети — 12—12,5 % (рис. 15.3).

Определение расходов из-за сопротивления движению определим на основании удельного сопротивления и расходных ставок (расчеты в ценах 1998 г.).

Механическая работа локомотива на 1 млн. т-км брутто/км

$$A = w \cdot 10^6 \cdot 10^3, \quad (15.19)$$

где w — основное удельное сопротивление движению в доле, зависящей от пути, Н/т.

При известной расходной ставке f_1 , коп./т-км, расходы, связанные с сопротивлением от пути:

$$E = f_1 w \cdot 10^6 \cdot 10^{-3} \cdot T_0, \quad (15.20)$$

где T_0 — грузонапряженность, млн. т-км брутто/км в год.

Если в формуле выразить $10f_1 = f$, то

$$E = fwT_0. \quad (15.21)$$

Учитывая большой и неодинаковый рост цен на дизельное топливо в 1998 г. по сравнению с 1988 г. в 25 раз, а электроэнергии в 30 раз, получим:

$$\text{для гепловозной тяги — } E = 25fwT_0; \quad (15.22)$$

$$\text{для электрической тяги — } E = 30fwT_0. \quad (15.23)$$

Затраты из-за сопротивления движению поезда, зависящие от пути, определяются на основе расходных ставок и Инструкции по определению экономической эффективности капитальных вложений на железнодорожном транспорте (табл. 15.9).

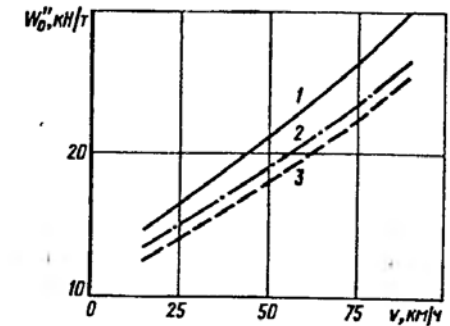


Рис. 15.3. Кривые основного удельного сопротивления движению поезда W''_0 : 1 — звеньевой путь; 2 — бесстыковой путь (плети длиной 500 м); 3 — бесстыковой путь (плети неограниченной длины)

Таблица 15.9

Расходы на виды работ	Расходные ставки для тепловозов и электровозов (в ценах 1988 г.)	
	Тепловоз ТЭЗ	Электровоз ВЛ23
Ремонт дизеля, генератора, тяговых электродвигателей, топливной системы, компрессора, системы охлаждения, вентилятора, аппаратуры смазки дизеля и ходовых частей	1,06	0,367
Ремонт и смазка ходовых частей:		
тепловозов, электровозов	0,095	0,073
вагонов	0,5	0,5
Экипировка локомотива и содержание экипировочных устройств	7,3 руб./т дизельного топлива	0,43 руб./1000 кВт·ч электроэнергии

При электрической тяге расход электроэнергии на 1 т·км механической работы — 4 кВт·ч; средняя цена 1 кВт·ч электроэнергии (без экипировки) — 1,297 коп. и экипировка — 0,043 коп.; всего $1,297 + 0,043 = 1,34$ коп. Расходы по ремонту локомотивов ВЛ23, пропорциональные механической работе, — 0,367 коп., а расходы по ремонту вагонов и локомотивов, пропорциональные механической работе сил сопротивления, — $0,5 + 0,073 = 0,573$ коп. Всего $4 \times 1,34 + 0,367 + 0,573 = 6,3$ коп./т·км.

Расходы на электроэнергию и ремонт подвижного состава, зависящие от пути, при электрической тяге

$$E = 63wT_0, \quad (15.24)$$

а в ценах 1998 г.

$$E = 30 \cdot 63wT_0. \quad (15.25)$$

При тепловозной тяге нормы расхода дизельного топлива на 1 т·км механической работы (с учетом зимних условий) примем в размере 1 кг; стоимость дизельного топлива — 71,48 руб./т. Для тепловозной тяги экипировка локомотива и содержание экипировочных устройств на 1 кг составит 0,73 коп.; стоимость 1 кг топлива 7,148 коп., а всего $7,148 + 0,73 = 7,878$ коп./т·км. Расходы по ремонту вагонов и локомотивов, пропорциональные механической работе сил сопротивления,

составляют (см. табл. 15.9) $0,5 + 0,095 = 0,595$ коп., а расходы по ремонту локомотивов, пропорциональные механической работе, — 1,06 коп. Всего $1 \times 7,878 + 1,06 + 0,595 = 9,533$ коп./т·км.

Расходы из-за сопротивления движению поезда от пути при тепловозной тяге

$$E = 95,33wT_0, \quad (15.26)$$

а в ценах 1998 г.

$$E = 25 \cdot 95,33wT_0, \quad (15.27)$$

где T_0 — грузонапряженность, млн. т·км брутто/км в год.

Пример. Определить экономию (руб./км год) от реконструкции верхнего строения пути из-за уменьшения сопротивления движению поездов от стыков.

Исходные данные. Верхнее строение до реконструкции состоит из звеньев пути; рельсы Р50 длиной 25 м, шпалы деревянные на щебне; после реконструкции укладывается путь без стыков (плети неограниченной длины) с рельсами Р65 на железобетонных шпалах, на щебне. Грузонапряженность — 50 млн. т·км брутто/км в год; тепловозная тяга, скорость 40 км/ч, 4-осные вагоны с роликовыми подшипниками.

Решение. Сопротивление движению от пути в первом случае составляет (см. табл. 15.8) $w_{50} = 13,5$ Н/т; во втором — $w_{65} = 11,9$ Н/т. По формуле (15.27) годовая экономия в расходах, вызванных сопротивлением движению из-за ликвидации стыков:

$$E = 25 \cdot 95,33wT_0 = 25 \cdot 95,33(13,5 - 11,9)50 = 190,7 \text{ тыс. руб./км в год.}$$

Следует учитывать, что основной эффект (в денежном выражении) от ликвидации стыков связан с уменьшением сопротивления движению и реализуется не в путевом хозяйстве, а в локомотивном и вагонном хозяйствах, т. е. в целом на железной дороге. Приведенные выше аналитические зависимости и иллюстрирующие их примеры представляют собой материалы, полученные в результате обработки экспериментальных материалов методом математической статистики. Они справедливы, но не отражают в полной мере влияние наработки тоннажа на сопротивление движению, в том числе в части, зависящей от пути. В табл. 15.10 приводятся обобщенные результаты исследований отечественных специалистов (Б. Н. Веденисова, М. Е. Вериги, И. П. Исаева, П. И. Астахова) и зарубежных (А. Н. Рисе, Ф. В. Гардинера, Э. Керкополи, И. Папан) по определению сопротивления поездов в части, зависящей от пути, для конструкций с рельсами Р50, Р65 и Р75 после пропуска различного тоннажа.

Из приведенных данных видно, что мощность рельса и состояние пути существенно влияют на сопротивление движению поезда.

Т а б л и ц а 15.10

Показатель	Значение показателя при наступлении срока ремонта				
	Укладка	Первый подъемочный	Средний	Второй подъемочный	Капитальный
<i>Рельсы Р50</i>					
Межремонтный тоннаж, млн т брутто	0	110	200	280	350
Сопротивление от пути, Н/т	1,72	2,17	2,52	3,50	3,21
В том числе от стыков, Н/т	0,20	0,60	1,20	1,80	2,40
<i>Рельсы Р65</i>					
Межремонтный тоннаж, млн т брутто	0	150	280	400	500
Сопротивление от пути, Н/т	1,00	1,30	1,51	1,82	1,93
В том числе от стыков, Н/т	0,10	0,40	0,70	1,10	1,44
<i>Рельсы Р75</i>					
Межремонтный тоннаж, млн т брутто	0	180	340	480	600
Сопротивление от пути, Н/т	0,94	1,11	1,29	1,47	1,65
В том числе от стыков, Н/т	0,10	0,30	0,60	0,52	1,22

Т а б л и ц а 15.11

Показатель	Значение показателя при наступлении срока ремонта				
	Укладка	Первый подъемочный	Средний	Второй подъемочный	Капитальный
<i>Рельсы Р43</i>					
Межремонтный тоннаж, млн т брутто	0	90	170	—	240
Сопротивление от пути, Н/т	2,67	3,34	4,02	—	4,70
В том числе от стыков, Н/т	0,27	0,77	1,53	—	3,06
<i>Рельсы Р50</i>					
Межремонтный тоннаж, млн т брутто	0	110	200	280	350
Сопротивление от пути, Н/т	2,28	2,71	3,15	3,58	4,01
В том числе от стыков, Н/т	0,23	0,60	1,20	1,80	2,40
<i>Рельсы Р65</i>					
Межремонтный тоннаж, млн т брутто	0	150	280	400	500
Сопротивление от пути, Н/т	1,37	1,63	1,89	2,15	2,41
В том числе от стыков, Н/т	0,14	0,36	0,72	1,08	1,44
<i>Рельсы Р75</i>					
Межремонтный тоннаж, млн т брутто	0	180	340	480	600
Сопротивление от пути, Н/т	1,17	1,39	1,61	1,84	2,06
В том числе от стыков, Н/т	0,12	0,31	0,61	0,92	1,22

Аналогичные данные, характеризующие сопротивление движению поезда (в части, зависящей от пути), были получены на звеньевом пути с деревянными шпалами и рельсами длиной 12,5 м (табл. 15.11).

Сопоставление табл. 15.10 и 15.11 позволяет оценить эффективность бесстыкового пути с тяжелыми рельсами и железобетонными шпалами.

15.6. СФЕРЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ

Условия работы отечественных железных дорог очень разнообразны: отличаются климатические условия (амплитуды колебания температур рельсов; перепады температур зимой и летом, в течение суток; районы пустынь и полупустынь с интенсивной пескозаносимостью), размеры грузонапряженности, скорости движения поездов, осевые нагрузки, характер перевозимых по железным дорогам грузов и др. Эти факторы оказывают существенное влияние на сферы рационального применения бесстыкового пути. Существуют условия, при которых эффективность бесстыкового пути высокая, и сферы, где он невыгоден технически и экономически.

Например, при малых размерах движения поездов, больших амплитудах колебания температур рельсов, необходимости сезонных разрядок напряжений в рельсовых плетях, как правило, применять бесстыковую путь неэффективно как по техническим, так и экономическим соображениям.

В этой связи подчеркнем, что после распада СССР в Российской Федерации остались территории северо-востока и севера евразийского континентов со специфическими природно-климатическими условиями, осложняющими работу конструкций пути. В недавнем прошлом, когда размеры перевозок (грузонапряженность) в России были самые высокие в мире, они являлись важнейшими показателями, от которых устанавливались типы верхнего строения пути, в том числе сферы применения бесстыкового пути. Верхняя и нижняя границы рационального применения бесстыкового пути (по грузонапряженности) в этом случае определялись по срокам окупаемости.

Сейчас положение на железных дорогах Российской Федерации существенно изменилось: территория страны осталась в сложных природно-климатических условиях севера евразийского континента; сократились в 2—3 раза размеры перевозок; возникли рыночные отношения, кризис и инфляция, введена классификация путей, которая накладывает свой отпечаток и на сферы рационального применения бесстыкового пути.

Технические, экономические и экологические показатели работы бесстыкового пути в целом расширяют сферы его целесообразного применения. Поэтому Приказом № 12Ц в регионах, где позволяют

температурные условия, на путях 1—4-го классов установлено преимущественное применение бесстыкового пути, а на путях 5-го класса — звеньевого пути на деревянных, а также железобетонных шпалах. На путях 3-го класса ЗБ5, ЗБ4 в районах, отнесенных по СНиП 2.01.01.82 к северным условиям (Алтайский край, Амурская область, Бурятия, Иркутская, Новосибирская области, Коми, Красноярский край и др.) укладываются только новые рельсы, что облегчает применение бесстыкового пути.

Таким образом, сняты ограничения в применении бесстыкового пути при большой грузонапряженности, чему способствовала разработка более совершенной технологии восстановления целостности поврежденного участка плети, укладка плетей, равных длине блок-участков, и неограниченной длины.

Нижняя граница (по грузонапряженности) применения бесстыкового пути устанавливается технико-экономическим расчетом.

В связи с переходным периодом и трудностями с финансированием на железнодорожном транспорте РФ и его путевом хозяйстве интенсивно внедряются технологии с повторным использованием материалов, конструкций и изделий. Повторная укладка старогодной путевой решетки с рельсами Р65 (после их реновации и пригодности применения в соответствующем классе пути, установленном нормами Приказа № 12Ц) экономически весьма эффективна (имеет меньшие первоначальные затраты и эксплуатационные расходы). Поэтому расширяется укладка бесстыкового пути при повторном использовании рельсов Р65 и других элементов верхнего строения пути.

Применение бесстыкового пути при малых размерах движения — при грузонапряженности менее 5 млн. т·км брутто/км в год, на подъездных и других малодейственных путях, осложнено тем, что они зачастую проложены на обуженном земляном полотне, при неполнопрофильной балластной призме, содержатся в плане по облегченным нормам. Поэтому необходимые условия, обеспечивающие устойчивость бесстыкового пути, не всегда могут быть выполнены. Целесообразность сварки укладываемых в таких условиях старогодных рельсов в плети бесстыкового пути необходимо решать с учетом конкретных условий эксплуатации пути на данном участке.

Как правило, нецелесообразно укладывать бесстыковой путь с железобетонными шпалами и щебеночным балластом на линиях, где осуществляются массовые перевозки угля, руды и других сыпучих грузов. Щебеночная призма, засоренная этими материалами, под воздействием повышенной (по сравнению с деревянными шпалами) вибрации быстро теряет несущую способность и содержание такого пути очень трудоемко и требует частых ремонтов. При неустойчивом земляном полотне, подверженном значительному пучинообразованию, не рекомендуется бесстыковой путь с клеммным креплением.

Шпалы	Линии, где бесстыковой путь рекомендуется к укладке (обоснование рекомендаций)	Линии, где бесстыковой путь не рекомендуется к укладке (обоснование рекомендаций)
Железобетонные	<ol style="list-style-type: none"> 1. Высокоскоростные линии. 2. На всех остальных линиях 1—4-го классов пути (высокая комфортабельность движения поездов, пониженное основное удельное сопротивление движению, сокращение расходов на содержание и ремонт пути и подвижного состава). 3. На линиях 3-го класса пути (при перекладке и необходимом ремонте рельсов Р65 и тяжелее) достигается экономия на укладке, ремонте и текущем содержании по сравнению с более легкими типами верхнего строения пути. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. На участках очень крутых кривых, где радиусы меньше 300 м (по причине необеспечения устойчивости пути против выброса). 2. На некоторых видах мостов, виадуках и длинных тоннелях. 3. На нестабильных основаниях (где летом наблюдаются повышенные осадки, а зимой пучины) и при щебне слабых пород (особенно при малой грузонапряженности). 4. На участках интенсивного засорения пути перевозимыми грузами (углем, рудой и другими сыпучими грузами) по причине быстрой потери несущей способности щебня и частых ремонтов пути. 5. На линиях с грузонапряженностью 4,5 млн. т·км брутто/км в год можно не производить реконструкцию подрельсового основания, укладывая 25-метровые рельсы, железобетонные шпалы, проводить средний ремонт.
Деревянные	<ol style="list-style-type: none"> 1. Для тех же условий, что и бесстыковой путь с железобетонными шпалами (с учетом присущих им ограничений). 2. На участках пути, где осуществляются массовые перевозки угля, руды и других сыпучих грузов (достигается экономия на текущем содержании и ремонтах пути) 3. В тоннелях (пониженное воздействие на конструкцию тоннелей, сокращение расходов на ремонт). 	<ol style="list-style-type: none"> 1. На скоростных и высокоскоростных линиях (не обеспечивается достаточная комфортность движения, равноупругость пути, понижение сопротивления путевой решетки сдвигу поперек колеи). 2. В крутых кривых (если не установлены специальные приспособления на деревянных шпалах). 3. На линиях с грузонапряженностью менее 10 млн. т·км брутто/км в год, где через 15—20 лет эксплуатации около 40 % деревянных шпал гнивают.

Железные дороги РФ в условиях рынка очень заинтересованы в привлечении пассажиров, но в этой сфере особо важен комфорт, уровень обслуживания и скорость движения пассажирских поездов. Этим требованиям наилучшим образом отвечает бесстыковой путь на железобетонных шпалах. Несмотря на кризисные явления, идет реконструкция линии Москва — Санкт-Петербург под скорости 200—250 км/ч; разработан и осуществляется проект высокоскоростной линии между этими городами, создан и испытывается подвижной состав для скоростей 300—350 км/ч, а также новая система подвески контактного провода, обеспечивающая реализацию таких скоростей.

На основании отечественного и зарубежного опыта можно рекомендовать сферы рационального применения бесстыкового пути с железобетонными и деревянными шпалами, приведенные в табл. 15.12.

Рекомендации к табл. 15.12 надо рассматривать как общую технико-экономическую ориентировку. Окончательное решение с учетом местных условий принимает начальник дороги.

15.7. ПРИМЕР ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАИБОЛЕЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОЙ КОНСТРУКЦИИ В УСЛОВИЯХ МАЛОЙ ГРУЗОНАПРЯЖЕННОСТИ

Дальнейшее расширение применения бесстыкового пути имеет экономически целесообразные границы. В частности это связано с резким падением объема перевозок и появлением линий с малыми размерами движения поездов.

Подчеркнем, что определение целесообразных границ применения бесстыкового пути должно обосновываться для каждого участка конкретными технико-экономическими расчетами, учитывающими состояние пути и условия его эксплуатации.

Поясним сказанное примером. Требуется определить эффективность ремонта верхнего строения пути, эксплуатируемого в условиях больших объемов перевозок.

Исходные данные. По участку в сутки обращаются четыре грузовых поезда массой 2500 т брутто и два пассажирских массой 1000 т брутто; скорость поездов — грузовых до 40 км/ч; пассажирских до 60 км/ч; в пути уложены рельсы Р50, пропустившие тоннаж 500 млн. т брутто; деревянные шпалы (70 % требуют замены); скрепление костыльное, балласт — гравийно-песчаный.

Решение. На основании исходных данных верхнее строение пути имеет просроченные сроки капитального ремонта, т. е. требует неотложных ремонтных работ. Грузонапряженность участка $T = 365(4 \cdot 2500 + 2 \cdot 1000)1,1 \approx 4,5$ млн. т-км брутто/км в год.

Здесь при ремонте могут быть уложены:

1-й вариант — тот же путь, какой имеется (со старогодными элементами верхнего строения пути). При этом требуется полная замена деревянных шпал старогодными; требуются рельсы, годные к укладке в главный путь, т. е. с износом до 9 мм, частичное обновление гравийно-песчаного балласта;

2-й вариант — бесстыковой путь на щебне с рельсами Р65 (старогодными) на железобетонных шпалах (старогодных);

3-й вариант — звеньевой путь на гравийно-песчаном балласте с рельсами Р65 (старогодными) на железобетонных шпалах.

По вышеприведенной методике определим среднегодовые расходы за период 10 лет (пренебрегая учетом отдаления затрат во времени) и сроки окупаемости.

Результаты расчетов сведены в табл. 15.13, в которой для конкретного участка Московской железной дороги определена сметная стоимость по вариантам и эксплуатационные расходы в ценах 1998 г.

Суммарные расходы за 10 лет ($\Pi_i = K_i + \sum_1^{10} \mathcal{E}_i$) по 1-му варианту составляют 1250 тыс. руб./км; по 2-му варианту — 1260 тыс. руб./км; по 3-му варианту — 1120 тыс. руб./км.

Срок окупаемости 2-го варианта (бесстыкового пути на железобетонных шпалах, старогодные материалы) по сравнению с 1-м (звеньевой путь на деревянных шпалах, старогодные материалы)

$$t_{\text{ок } 2-1} = \frac{K_2 - K_1}{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2} = \frac{960 - 650}{60 - 30} = 10,3 \text{ лет.}$$

Срок окупаемости 3-го варианта (звеньевой путь на железобетонных шпалах, старогодные материалы) по сравнению с 1-м вариантом (звеньевой путь на деревянных шпалах, старогодные материалы)

$$t_{\text{ок } 3-1} = \frac{K_3 - K_1}{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_3} = \frac{720 - 650}{60 - 40} = 3,5 \text{ года.}$$

Таблица 15.13

Виды расходов	Расходы в стоимостном выражении по вариантам		
	1	2	3
Сметная стоимость капитального ремонта, тыс. руб./км	650	960	720
Эксплуатационные расходы, тыс. руб./км в год	60	30	40

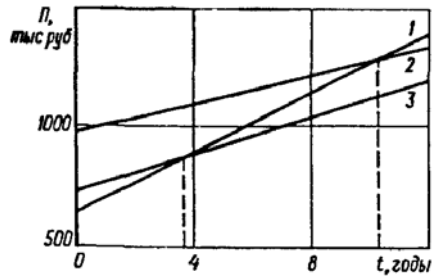


Рис. 15.4 Суммарные расходы и сроки окупаемости по вариантам

Результаты расчетов приведены на рис. 15.4.

По полученным данным видно, что применение бесстыкового пути со старогодными элементами (Р65, щебень, железобетонные шпалы) при малой грузонапряженности (4,5 млн т-км брутто/км в год) экономически невыгодно (сроки окупаемости превышают нормативные 8—10 лет) по сравнению со звеньевым путем на деревянных (и железобетонных) шпалах.

В данных условиях наиболее целесообразно применить укладку звеньевого пути с железобетонными шпалами (Р65 на песчано-гравийном балласте). Срок окупаемости звеньевого пути на железобетонных шпалах по сравнению со звеньевым на деревянных шпалах составляет 3,5 года, по истечении которых ежегодная общая прибыль будет составлять (на расходах по эксплуатации пути) 30 тыс. руб./км (фактическая после уплаты установленных налогов будет меньше).

ПРИМЕНЯЕМЫЕ ТЕРМИНЫ

Термин	Содержание	Обозначение в формулах или телеграммах
Бесстыковой путь	Железнодорожный путь, имеющий рельсы столь большой длины, что в них при изменениях температуры возникают продольные силы, пропорциональные этим изменениям	БП
Рельсовая плеть	Рельс, имеющий длину более стандартной, изготовленный сваркой коротких рельсов	РП
Короткая рельсовая плеть	Плеть длиной 800 м и менее	КРП
Длинная рельсовая плеть	Плеть длиной более 800 м, в том числе равной длине блок-участка, перегона или неограниченной длины	ДРП
Уравнительный прибор	Устройство для соединения рельсовых плетей, допускающее взаимные продольные перемещения концов плетей при изменениях температуры	ПУ
Уравнительный пролет	Пространство между концами стыкуемых рельсовых плетей	УП
Уравнительные рельсы	Рельсы, заполняющие уравнительный пролет	УР
Температура воздуха	Температура окружающей путь атмосферы, измеряемая на высоте 2 м над поверхностью земли (на метеостанциях и в других местах)	t_a
Температура рельсов	Температура рельсовых плетей в процессе их изготовления, укладки и эксплуатации, измеряемая непосредственно на рельсах (в летнее время обычно выше температуры воздуха)	t_p
Расчетная минимальная температура	Наименьшая температура рельсов, возможная в данном географическом пункте. Обычно совпадает с наименьшей температурой воздуха	$t_{\min \min}$
Расчетная максимальная температура	Наибольшая температура рельсов, возможная в данном географическом пункте. Принимается для открытых участков на 20 °С выше наибольшей температуры воздуха	$t_{\max \max}$
Расчетная амплитуда температур	Сумма абсолютных значений расчетных максимальной и минимальной температур рельсов в данном пункте	T_A
Температура закрепления плети	Температура рельсовой плети, при которой она была закреплена на шпалах	t_s

Термин	Содержание	Обозначение в формулах или телеграммах
Расчетный интервал температур закрепления	Диапазон температур, при закреплении в котором рельсовых плетей обеспечивается необходимая устойчивость пути при повышении температуры и целостность плетей при ее понижении	$[\Delta t]$
Оптимальная температура	Температура, при которой обеспечивается не только прочность рельсов, рельсовых стыков и устойчивость пути, но и создаются наиболее благоприятные условия для проведения текущих и ремонтных работ	$\Delta t_{\text{опт}}$
Принудительный ввод плетей в оптимальную температуру закрепления	Удлинение плети нагревательным или механическим растягивающим устройством на величину, соответствующую поднятию температуры до расчетного уровня	ПВП
Изменения температуры	Степень нагрева или охлаждения рельсовых плетей по сравнению с нейтральной температурой	$\pm \Delta t$
Критическое повышение температуры	Наибольшее повышение температуры (по сравнению с температурой закрепления), после которого бесстыковой путь теряет устойчивость	Δt_k
Допустимое повышение температуры	Нормативное значение наибольшего повышения температуры рельсов по сравнению с температурой их закрепления, при котором обеспечивается необходимый запас устойчивости бесстыкового пути против выброса	$[\Delta t_y]$
Допустимое понижение температуры	Нормативное значение наибольшего понижения температуры рельсов по сравнению с температурой их закрепления, при котором обеспечивается необходимый запас прочности рельса на растяжение при совместном действии температурных и поездных нагрузок	$[\Delta t_p]$
Температурная сила	Продольная сила, возникающая и действующая в рельсовой плети при изменениях температуры по сравнению с температурой закрепления	$\pm N_t$
Температурное напряжение	Температурная сила, отнесенная к единице площади поперечного сечения рельса	$\pm \sigma_t$
Допускаемая температурная сила	Наибольшее значение продольной силы в рельсовых плетях, при котором обеспечивается (с необходимыми запасами) устойчивость пути, прочность рельсов и стыковых болтов	$[N]$

Термин	Содержание	Обозначение в формулах или телеграммах
Допускаемое температурное напряжение	Наибольшее значение температурного напряжения, которое может быть допущено в бесстыковом пути с учетом действия поездных нагрузок и необходимого запаса прочности	$[\sigma]$
Продольные температурные деформации пути	Перемещения отдельных сечений или всей рельсовой плети по скреплениям или (вместе со шпалами) по балласту вдоль оси пути при изменениях температуры	$\pm \Delta l_t$
Угон плети	Остаточные перемещения отдельных сечений плети вдоль оси пути, накапливающиеся при проходе поездов в случае слабого ее закрепления	Δl_y
Выброс пути	Резкое нарушение продольной устойчивости бесстыкового пути в виде одно- или многоволнового горизонтального или вертикального искривления путевой решетки под действием сжимающих продольных сил (температурных или угона)	—
Сдвиг пути	Резкое нарушение продольной устойчивости бесстыкового пути под действием суммарных температурных сил, сил угона, продольных и боковых сил, вызываемых подвижным составом	—
Стрела искривления	Наибольшее поперечное отклонение изогнутой оси пути от ее положения до выброса	f
"Маячная" шпала	Специально обустроенная шпала, используемая для контроля продольных подвижек рельсовой плети	МШ
Инвентарные рельсы	Многokrратно используемые короткие (12,5—25,0 м) одиночные рельсы, на которых собирается и укладывается в путь рельсошпальная решетка; впоследствии заменяются плетями бесстыкового пути	—
Разрядка температурных напряжений	Процесс освобождения плети от температурных напряжений (при перезакреплении плетей на постоянный режим эксплуатации, при подготовке к ремонтным работам в жаркое время и т. д.)	—
Регулировка напряжений	Процесс перераспределения напряжений на ограниченном протяжении плети	—

**ДОПУСКАЕМЫЕ ПОНИЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЕЙ
ОТНОСИТЕЛЬНО ТЕМПЕРАТУРЫ ИХ ЗАКРЕПЛЕНИЯ**

Ско- рость, км/ч	Допускаемое по условию прочности рельсов понижение температуры [Δt _p], °C								
	в пря- мом участке	в кривой радиусом, м							
		2000	1200	1000	800	600	500	400	350
<i>Электровоз ВЛ8</i>									
60	101	100	102	102	101	100	99	97	94
Л80	92	91	94	93	93	91	90	88	85
<i>Электровоз ВЛ10</i>									
60	110	106	107	106	104	102	102	97	95
80	103	98	100	99	97	94	92	89	87
К100	96	90	92	91	89	86	84	—	—
<i>Электровозы ВЛ10 с люлечным подвешиванием и ВЛ11</i>									
60	111	107	107	106	104	103	101	100	98
80	105	100	100	99	97	95	93	92	90
К100	98	93	93	92	89	87	85	—	—
<i>Электровозы ВЛ10^б, ВЛ82^м</i>									
60	107	104	104	103	101	99	97	94	92
80	99	96	97	96	94	91	89	86	83
К100	92	88	89	88	85	83	80	—	—
<i>Электровозы ВЛ22, ВЛ22^м, ВЛ61^д</i>									
60	106	103	104	103	101	99	97	94	92
80	98	93	95	94	92	89	87	84	82
Л190	94	89	91	89	86	84	82	79	—
<i>Электровоз ВЛ23</i>									
60	105	104	106	105	105	102	100	95	93
80	97	95	98	97	96	93	91	85	82
К100	88	86	89	88	87	84	81	—	—
<i>Электровоз ВЛ41</i>									
60	108	105	105	105	102	100	98	96	95
70	104	101	102	101	98	96	94	92	90

Ско- рость, км/ч	Допускаемое по условию прочности рельсов понижение температуры [Δt _p], °C								
	в пря- мом участке	в кривой радиусом, м							
		2000	1200	1000	800	600	500	400	350
<i>Электровозы ВЛ60, ВЛ60^б, ВЛ60^п</i>									
60	109	104	103	102	100	97	93	89	88
80	101	96	95	94	92	88	84	79	77
К100	93	87	87	85	83	78	74	—	—
<i>Электровозы ВЛ80, ВЛ80^б, ВЛ82</i>									
60	112	106	106	103	101	99	98	98	98
80	104	98	98	95	93	91	90	90	89
100	96	90	90	87	85	83	82	—	—
К110	93	86	86	83	81	79	—	—	—
<i>Электровозы ВЛ80^т, ВЛ80^р, ВЛ80^ф</i>									
60	110	107	108	107	105	102	100	97	95
80	102	99	100	99	97	94	92	89	86
100	95	91	92	91	89	86	84	—	—
К110	91	87	88	88	85	82	—	—	—
<i>Электровоз ВЛ81</i>									
60	111	107	108	106	104	100	98	94	92
80	104	100	101	99	97	93	91	87	84
100	98	94	94	92	90	86	84	—	—
К120	91	87	88	86	83	—	—	—	—
<i>Электровоз ВЛ85, ВЛ65</i>									
60	108	104	105	104	102	99	97	95	89
80	101	97	98	97	95	92	89	87	80
100	94	89	90	89	88	84	80	—	—
К110	91	85	86	85	84	—	—	—	—
<i>Электровозы ЧС1, ЧС3</i>									
60	116	113	114	113	112	111	110	107	105
80	111	108	109	108	107	105	104	101	99
100	106	102	104	103	102	99	98	—	—
К120	100	97	98	97	96	—	—	—	—

Ско- рость, км/ч	Допускаемое по условию прочности рельсов понижение температуры $[\Delta t_p]$, °C								
	в пря- мом участке	в кривой радиусом, м							
		2000	1200	1000	800	600	500	400	350

Электропозы ЧС2, ЧС2^Т

60	121	117	112	109	107	105	102	99	96
80	115	111	106	103	101	98	95	92	89
100	109	105	100	97	95	91	88	—	—
120	103	99	94	91	89	—	—	—	—
140	98	93	88	85	—	—	—	—	—
К160	92	87	81	—	—	—	—	—	—

Электропозы ЧС4, ЧС4^Т

60	113	113	111	110	109	107	105	102	100
80	107	107	105	104	103	101	99	95	93
100	101	101	99	98	97	95	92	—	—
120	95	95	93	92	90	—	—	—	—
140	89	89	87	86	—	—	—	—	—
К160	82	83	80	—	—	—	—	—	—

Электропозы ЧС7, ЧС8

60	117	114	111	109	106	103	99	94	91
80	111	109	105	103	100	96	92	87	83
100	106	103	99	97	94	89	85	—	—
120	100	97	93	91	—	—	—	—	—
140	95	92	87	84	—	—	—	—	—
К160	89	86	81	—	—	—	—	—	—

Электропоз ЧС200

60	119	116	112	110	107	105	101	96	93
80	114	111	107	105	102	99	95	90	87
100	109	106	102	100	97	93	89	—	—
120	104	101	97	95	92	—	—	—	—
140	99	96	92	89	—	—	—	—	—
160	94	91	86	—	—	—	—	—	—

Тепловозы М62, 2М62

60	118	116	116	115	114	112	110	107	105
80	113	111	111	110	108	106	104	101	99
К100	107	105	105	104	102	100	98	—	—

Ско- рость, км/ч	Допускаемое по условию прочности рельсов понижение температуры $[\Delta t_p]$, °C								
	в пря- мом участке	в кривой радиусом, м							
		2000	1200	1000	800	600	500	400	350

Тепловоз ТГ102

60	119	114	114	114	112	109	107	105	104
80	114	109	109	108	106	103	101	99	98
100	109	104	104	102	100	97	95	—	—
К120	103	98	98	96	94	—	—	—	—

Тепловоз ТГ106

60	115	111	110	108	106	103	100	97	95
80	110	105	105	102	100	96	94	90	88
К100	104	99	99	96	94	90	87	—	—

Тепловоз ТЭ1

60	107	106	107	106	106	104	100	95	92
80	98	97	98	97	97	94	90	84	80
К95	90	89	91	90	89	86	82	76	—

Тепловоз ТЭ2

60	112	112	113	113	113	112	108	104	102
80	105	105	106	106	106	104	101	96	93
К95	99	99	100	100	100	98	94	89	—

Тепловозы ТЭ3, 2ТЭ3, 3ТЭ3

60	111	108	108	107	104	101	99	97	95
80	103	100	101	100	97	93	90	88	96
К100	95	92	93	92	88	84	81	—	—

Тепловоз ТЭ7

60	111	110	108	106	104	100	97	94	93
80	103	102	100	98	95	91	88	85	84
100	95	94	92	90	86	82	79	—	—
120	87	86	83	81	77	—	—	—	—
К140	78	77	74	72	—	—	—	—	—

Тепловозы ТЭ10, 2ТЭ20

60	108	105	105	104	101	97	95	93	91
80	100	97	98	97	93	89	87	84	82
К100	93	89	90	89	85	80	78	—	—

Ско- рость, км/ч	Допускаемое по условию прочности рельсов понижение температуры $[\Delta t_p]$, °C								
	в пря- мом участке	в кривой радиусом, м							
		2000	1200	1000	800	600	500	400	350
<i>Тепловозы ТЭ10В, 2ТЭ10В, 3ТЭ10В, 2ТЭ10М, 3ТЭ10М</i>									
60	112	110	110	109	105	102	98	92	89
80	105	103	103	102	97	94	90	84	79
K100	98	96	96	95	90	86	82	—	—
<i>Тепловоз ТЭ10Л</i>									
60	110	108	108	107	104	100	98	96	94
80	103	100	100	100	96	92	90	87	86
K100	96	92	93	92	88	84	81	—	—
<i>Тепловозы 2ТЭ10Л, 3ТЭ10Л</i>									
60	106	103	103	102	101	98	95	93	90
80	99	95	96	95	93	89	87	84	81
K100	91	87	88	87	85	81	78	—	—
<i>Тепловоз ТЭ109</i>									
60	113	114	114	113	113	110	108	103	100
80	106	108	108	107	107	104	102	97	94
100	100	102	102	101	101	98	96	—	—
120	93	97	96	96	95	—	—	—	—
K140	87	91	90	89	—	—	—	—	—
<i>Тепловоз 2ТЭ116</i>									
60	113	111	111	110	106	103	100	94	90
80	107	104	105	104	99	96	92	85	81
K100	100	97	98	97	91	88	83	—	—
<i>Тепловоз 2ТЭ121</i>									
60	109	106	106	104	101	95	91	85	80
80	102	98	99	98	94	87	83	75	70
K100	95	91	92	90	86	79	73	—	—
<i>Тепловоз ТЭМ1</i>									
60	110	107	107	106	104	100	98	95	93
80	103	99	100	99	96	91	89	86	84
K100	95	91	92	90	86	79	73	—	—
<i>Тепловозы ТЭП10, ТЭП10Л</i>									
60	111	110	108	107	105	101	99	97	95

Ско- рость, км/ч	Допускаемое по условию прочности рельсов понижение температуры $[\Delta t_p]$, °C								
	в пря- мом участке	в кривой радиусом, м							
		2000	1200	1000	800	600	500	400	350
80	104	103	101	100	97	93	91	88	87
100	97	96	94	93	89	85	82	—	—
120	89	89	86	85	81	—	—	—	—
K140	81	81	78	77	—	—	—	—	—
<i>Тепловозы ТЭП60, 2ТЭП60</i>									
60	120	118	114	112	110	107	104	100	98
80	114	112	108	106	104	101	98	94	91
100	108	106	102	100	98	95	91	—	—
120	102	100	96	94	92	—	—	—	—
K160	90	88	84	—	—	—	—	—	—
<i>Тепловоз ТЭП70</i>									
60	122	119	116	114	114	111	110	106	104
80	118	115	112	110	110	106	105	101	98
100	114	111	108	106	105	101	100	—	—
120	110	107	104	102	100	—	—	—	—
140	106	103	99	97	—	—	—	—	—
K160	101	98	95	—	—	—	—	—	—
<i>Тепловоз ТЭП80</i>									
60	122	117	116	115	112	109	107	104	102
80	118	112	112	110	107	104	101	97	95
100	114	107	107	104	101	98	95	—	—
120	109	102	101	99	96	—	—	—	—
140	104	97	96	94	—	—	—	—	—
K160	99	91	91	—	—	—	—	—	—
<i>Электропоезда ЭР1, ЭР2</i>									
60	120	118	117	116	114	110	108	105	103
80	115	113	112	111	109	105	103	100	98
100	110	108	107	106	104	100	98	—	—
120	105	104	103	101	100	—	—	—	—
K130	103	101	100	99	97	—	—	—	—
<i>Электропоезд ЭР9^Т</i>									
60	120	118	117	116	114	110	108	105	103
80	115	113	112	111	109	105	103	100	98
100	110	108	107	106	104	100	98	—	—
120	105	104	102	101	99	—	—	—	—

Скорость, км/ч	Допускаемое по условию прочности рельсов понижение температуры $[\Delta t_p]$, °C								
	в прямом участке	в кривой радиусом, м							
		2000	1200	1000	800	600	500	400	350
K130	103	101	100	98	96	—	—	—	—
<i>Электропоезд ЭР22</i>									
60	113	111	110	110	109	104	102	98	96
80	108	106	105	105	103	98	96	92	90
100	103	101	100	99	97	92	90	—	—
120	98	96	95	93	91	—	—	—	—
K130	103	101	100	98	96	—	—	—	—
<i>Электропоезд ЭР2Р</i>									
60	112	111	112	111	109	107	105	103	101
80	107	106	107	106	104	101	100	97	95
100	102	100	102	101	99	95	94	—	—
120	96	95	96	96	93	—	—	—	—
K130	93	92	94	93	91	—	—	—	—
<i>Электропоезд ЭТ2</i>									
60	120	119	120	119	117	114	113	111	109
80	116	115	116	115	113	110	108	105	103
100	112	110	111	111	108	105	103	—	—
120	107	105	107	106	103	—	—	—	—
K130	105	103	105	104	101	—	—	—	—
<i>Электропоезда ЭР2^Т, ЭД2^Т, ЭД4, ЭД4^М, ЭД9^Т</i>									
60	116	115	116	115	113	110	109	106	105
80	111	110	111	111	109	105	104	101	99
100	106	105	107	106	104	100	98	—	—
120	101	100	102	101	99	—	—	—	—
K130	98	97	99	99	96	—	—	—	—
<i>Электропоезд ЭР200</i>									
60	127	124	124	124	123	120	118	116	114
80	123	120	120	120	119	116	114	112	110
100	119	116	116	116	115	112	110	—	—
120	115	112	112	112	112	—	—	—	—
140	111	108	108	—	—	—	—	—	—
160	107	103	104	—	—	—	—	—	—
180	103	100	—	—	—	—	—	—	—
K200	99	96	—	—	—	—	—	—	—

РАСЧЕТНЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЛЬСОВ ДЛЯ СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Железнодорожная станция	Температура рельсов, °C		Расчетная температурная амплитуда, Г.А. °C	Железнодорожная станция	Температура рельсов, °C		Расчетная температурная амплитуда, Г.А. °C
	летняя t_{max}	зимняя t_{min}			летняя t_{max}	зимняя t_{min}	
Абаза	58	-50	108	Батайск	60	-33	93
Абакан	58	-50	108	Батецкая	54	-45	99
Абакумовка	58	-59	117	Бахмач	57	-37	94
Абалаково	56	-58	114	Бжезек	55	-52	107
Абдулино	60	-49	109	Безенчук	61	-44	105
Агрыз	57	-52	109	Белгород	61	-37	98
Азов	60	-33	93	Белгород-Днестровский	58	-29	87
Айдырля	61	-45	106	Белев	57	-42	99
Алагир	58	-31	89	Белогорск	57	-49	106
Алатырь	58	-44	102	Белокоровичи	59	-34	93
Алейская	61	-47	108	Белореченская	61	-34	95
Александров	56	-47	103	Бельково	58	-46	98
Александров Гай	63	-43	106	Бердичев	58	-35	93
Алексеевка	62	-37	99	Бердянск	59	-29	88
Амазар	58	-55	113	Бердяуш	58	-46	104
Амвросиевка	60	-36	96	Беслан	57	-34	91
Амурская	60	-53	113	Бийск	59	-53	112
Анна	61	-38	99	Бикин	58	-46	104
Апатиты	51	-41	92	Бира	60	-43	103
Апостолово	59	-34	93	Биробиджан	57	-44	101
Арзамас	57	-45	102	Бисер	54	-52	106
Армавир	62	-34	96	Бискалжа	56	-52	108
Армянск	60	-31	91	Благовещенск	58	-48	106
Арск	58	-47	105	Благодарное	63	-37	100
Артемовск	61	-38	99	Бобруйск	56	-37	93
Архангельск	54	-45	99	Богданович	58	-43	101
Архара	56	-51	107	Боготол	58	-53	111
Арчеда	61	-38	99	Богоявленск	60	-38	98
Асбест	58	43	101	Богучаны	58	-58	116
Аскиз	58	-51	109	Бологое	55	-50	105
Астрахань	60	-34	94	Болонь	57	-50	107
Аткарск	60	-42	102	Болотная	57	-51	108
Ахтари	58	-30	88	Большая Леприндо	52	-57	109
Ахтуба	65	37	102	Бомнак	55	-52	107
Ачинск	59	-60	119	Борзя	60	-54	114
Бабаево	56	-50	106	Борисов	56	-41	97
Бабушкин	53	-38	91	Борисоглебск	63	-41	104
Баженово	58	-43	101	Боровичи	55	-54	109
Базыр	58	-52	110	Брасово	58	-42	100
Балай	58	-52	110	Броды	61	-46	107
Балашов	61	-38	99	Брест	57	-36	93
Барабинск	58	-48	106	Брянск	58	-42	100
Барановичи	56	-37	93	Бугульма	58	-44	102
Барановский	59	-38	97	Бугуруслан	60	-49	109
Барнаул	58	-52	110				

Железнодорожная станция	Температура рельсов °С		Расчетная температурная амплитуда T_A °С
	летняя t_{\max} max	зимняя t_{\min} min	
Будогощь	55	-51	106
Бузулук	59	-48	107
Буй	55	-48	103
Буйнакск	62	-30	92
Буря	60	-53	113
Бысса	50	-51	101
Бычиха	56	-43	99
Вагай	59	-47	106
Валдай	53	-46	99
Валуйки	62	-37	99
Василевичи	58	-36	94
Веймарн	54	-39	93
Вельск	56	-50	106
Великие Луки	55	-46	101
Венев	57	-41	98
Веретье	54	-45	99
Вернадовка	58	-44	102
Верхний Баскунчак	65	-37	102
Верхний Токмак	61	-33	94
Верхове	57	-39	96
Верхний Уфалей	57	-48	105
Верхотурье	56	-52	108
Видлица	54	-54	108
Винница	58	36	94
Витебск	56	-41	97
Владивосток	55	-31	86
Владикавказ	57	34	91
Владимир	57	-48	105
Владимир-Волынский	58	-36	94
Владиславовка	58	-25	83
Вожега	55	-48	103
Вознесенск	60	-30	90
Волгоград	62	-36	98
Волковск	56	-38	94
Волноваха	59	-31	90
Волово	57	40	97
Вологда	55	-48	103
Волоколамск	56	-47	103
Волочаевка	60	-43	103
Волховстрой	53	-49	102
Вольск	60	-43	103
Воркута	51	-52	103
Ворожба	57	-37	94
Воронеж	61	-38	99
Воскресенск	58	-40	98
Воткинск	58	-49	107
Выборг	52	-38	90
Выдрино	51	-44	95
Высокотурная	54	-49	103
Вышний Волочек	55	-48	103

Железнодорожная станция	Температура рельсов °С		Расчетная температурная амплитуда T_A °С
	летняя t_{\max} max	зимняя t_{\min} min	
Вяземская	58	-50	108
Вязники	57	-45	102
Вязьма	56	-43	99
Вятка	57	-45	102
Вятские Поляны	59	-47	106
Гагарин	56	-50	106
Галич	56	-44	100
Гдов	53	-37	90
Геническ	58	-32	90
Георгиевск	61	-33	94
Глазов	57	-48	105
Глухов	57	-37	94
Головинская	55	52	107
Голутвин	58	-44	102
Гомель	57	-35	92
Горбачево	58	-41	99
Горин	57	-60	117
Горловка	60	37	97
Гороблагодатская	56	-48	104
Гороховец	57	-43	100
Готия	60	-37	97
Графская	61	-38	99
Гребенка	58	-35	93
Гречаны	56	-32	88
Гродеково	57	-41	98
Гродно	56	-35	91
Грозный	61	-33	94
Грязи	59	-40	99
Грязовец	55	-48	103
Гудермес	62	-30	92
Гурская	58	-51	109
Гусиное Озеро	58	-46	104
Гусь-Хрустальный	57	-44	101
Дальнереченск	57	-42	99
Данилов	56	46	102
Данков	57	-40	97
Дарасун	59	51	110
Дебальцево	60	-37	97
Дербент	58	-21	79
Джанкой	61	30	91
Дмитров	56	-48	104
Днепропетровск	60	34	94
Дно	55	-42	97
Долина	57	-34	91
Долинская	60	-34	94
Дружинино	58	-48	106
Евгеньевка	58	-42	100
Евпатория	60	28	88
Егоршино	58	-43	101
Ейск	59	31	90

Железнодорожная станция	Температура рельсов °С		Расчетная температурная амплитуда T_A °С
	летняя t_{\max} max	зимняя t_{\min} min	
Елец	58	38	96
Ельня	55	43	98
Емца	55	-50	105
Енисей	57	-59	116
Ербинская	57	-50	107
Ерофей Павлович	57	54	111
Ершов	62	-41	103
Ессентуки	59	-32	91
Ефимовская	55	-51	106
Ефремов	58	-37	95
Жашков	58	38	96
Железноводск	61	-33	94
Жердевка	59	-38	97
Житковичи	58	-36	94
Житомир	58	-35	93
Жлобин	56	-36	92
Жмеринка	58	-33	91
Жуковка	57	-41	98
Журавлево	56	-51	107
Забайкальск	60	-53	113
Завитая	56	49	105
Заливы	55	-43	98
Занозная	56	-43	99
Заозерная	57	-52	109
Западная Двина	55	46	101
Запорожье	61	34	95
Зашеек	51	-42	93
Зверово	60	-33	93
Зейск	56	-52	108
Земетчино	58	-44	102
Зилово	59	-55	114
Зима	55	-53	108
Златоуст	58	-46	104
Злынка	59	38	97
Знаменка	60	-35	95
Золотоноша	59	-37	96
Иваново	58	-46	104
Идрица	55	-46	101
Ижевск	57	-47	104
Изюм	60	-40	100
Иловайское	60	-36	96
Ильмень	61	-38	99
Имандра	51	-41	92
Ин	58	-44	102
Инголь	56	-52	108
Инза	59	-44	103
Ирбейское	58	-60	118
Ирбиг	58	-48	106
Иркутск	56	-50	106
Иргышкени	62	46	108

Железнодорожная станция	Температура рельсов °С		Расчетная температурная амплитуда T_A °С
	летняя t_{\max} max	зимняя t_{\min} min	
Исакогорка	54		
Исилькуль	60		99
Ишим	60		106
Ишимбаево	60		109
Иошкар Ола	58		108
Кавказская	62		105
Казань	58		95
Казатин	58		105
Казачинское	57		94
Калач	62		114
Калининград	56		102
Калининск	61		89
Калинковичи	58		100
Калино	57		94
Калуга	58		102
Каменец-Подольский	62		103
Каменская	59		102
Камень на-Оби	57		92
Камень-Рыболов	59		98
Камышин	62		111
Канаш	57		99
Кандалакша	51		102
Канск-Енисейский	58		95
Карасук	60		111
Карачев	58		107
Карталы	61		97
Карымская	60		105
Касторная	61		112
Кача	58		98
Кашин	57		113
Кашира	59		104
Кемерово	58		103
Кемчуг	58		113
Кемь	55		115
Керки	66		98
Керчь	57		90
Киив	59		83
Кизел	56		91
Кизляр	62		108
Кильмезь	58		92
Кингисепп	52		106
Кинель	59		95
Кинешма	58		102
Киржач	56		103
Кирилловка	61		103
Кировоград	60		94
Кировск-Мурманский	51		95
Кирсанов	60		92
Кисловодск	57		101
Кия-Шалтырь	54		86

Железнодорожная станция	Температура рельсов °С		Расчетная температурная амплитуда T_A °С
	летняя t_{max}	зимняя t_{min}	
Клин	58	-45	103
Клинцы	57	-38	95
Клюквенная	58	-52	110
Ковда	52	-40	92
Ковров	57	-48	105
Кокшеньга	56	-50	106
Кола	53	-38	91
Колезма	54	-44	98
Колодезная	61	-38	99
Коломна	58	-44	102
Коломья	58	-32	90
Комаричи	58	-39	97
Комсомольск-на-Амуре	59	-50	109
Конотоп	57	-37	94
Коноша	55	-48	103
Константиновка	60	-37	97
Копьево	56	-52	108
Коренево	57	-38	95
Коростень	59	-34	93
Кострома	57	-46	103
Котельниково	62	-38	100
Котельнич	57	-54	111
Коглас	57	-51	108
Котовск	58	-31	89
Кошурниково	56	-50	106
Кравченко	55	-55	110
Красная Сопка	58	-58	116
Красноармейск	60	-36	96
Красноград	59	-35	94
Краснодар	62	-36	98
Краснокаменск	59	-42	101
Красноуфимск	58	-48	106
Красноярск	58	-53	111
Красный Кут	60	-41	101
Красный Лиман	61	-38	99
Красный Узел	58	-44	102
Кремеицуг	60	-35	95
Крестцы	53	-46	99
Кривой Рог	60	-35	95
Кротово	58	-56	114
Кричев	56	-39	95
Кропачево	58	-48	106
Кротовка	60	-43	103
Крымская	59	-24	83
Ксеньевская	57	-56	113
Кувандык	62	-44	106
Кузино	58	-49	107
Кузнецк	59	-46	105
Кулунда	61	-48	109

Железнодорожная станция	Температура рельсов °С		Расчетная температурная амплитуда T_A °С
	летняя t_{max}	зимняя t_{min}	
Кунгур	57	-45	102
Купино	60	-47	107
Кузянск-Узловой	61	-36	97
Курагино	56	-53	109
Курган	60	-49	109
Курганная	62	-34	96
Курганча	62	-25	87
Куровская	57	-46	103
Курск	57	-38	95
Кустаревка	58	-42	100
Кущевка	60	-33	93
Кузига	60	-58	118
Кын	57	-49	106
Кыштам	58	-46	104
Лавочне	59	-34	93
Ладва	55	-40	95
Лазо	58	-42	100
Лев Толстой	59	-39	98
Леинск	57	-47	104
Лепель	56	-40	96
Лесогорский	52	-38	90
Лесозаводск	57	-43	100
Ливны	58	-39	97
Липецк	59	-38	97
Лисий Нос	53	-36	89
Лиски	62	-38	100
Литовко	57	-45	102
Лихая	62	-40	102
Лихославль	58	-50	108
Лодейное Поле	53	-48	101
Лозовая	60	-37	97
Лосиноостровская	57	-43	100
Лоухи	51	-46	97
Лохвица	58	-36	94
Лубны	58	-36	94
Луга	54	-42	96
Луганск	61	-42	103
Лукоянов	57	-43	100
Луцк	58	-34	92
Львов	57	-33	90
Льгов	57	-38	95
Любань	54	-41	95
Магдагачи	57	-51	108
Магнитогорск	59	-46	105
Майкоп	61	-34	95
Максатиха	55	-52	107
Макушино	59	-47	106
Малиновка	57	-53	110
Малоузенск	63	-43	106
Малоярославец	58	-48	106

Железнодорожная станция	Температура рельсов °С		Расчетная температурная амплитуда T_A °С
	летняя t_{max}	зимняя t_{min}	
Манзовка	58	-42	100
Мариинск	59	-54	113
Мариуполь	59	-31	90
Марьязи	61	-37	98
Масельская	55	-45	100
Махачкала	57	-26	83
Медвежья Гора	55	-45	100
Междуреченск	55	-54	109
Мелекесс	59	-47	106
Мелеуз	61	-45	106
Мелитополь	61	-33	94
Миллерово	60	-36	96
Минеральные Воды	61	-33	94
Минино	58	-54	112
Минск	55	-39	94
Минусинск	59	-52	111
Мироновка	59	-36	95
Митрофановка	62	-37	99
Михайлов	59	-41	100
Михайловка-Алтайская	62	-48	110
Михнево	58	-40	98
Мичуринск	60	-37	97
Мишиха	53	-39	92
Могзон	58	-55	113
Могилев	56	-42	98
Могоча	57	-56	113
Можайск	56	-44	100
Можга	58	-48	106
Молодечно	55	-39	94
Моршанск	58	-40	98
Москва	58	-42	100
Мундыбаш	58	-52	110
Мураши	56	-46	102
Мурманск	53	-48	101
Муром	57	-45	102
Миценск	57	-44	101
Навля	57	-38	95
Нагорный	55	-56	111
Назарово	59	-62	121
Называевка	60	-46	106
Нальчик	60	-31	91
Наурская	62	-32	94
Находка	56	-29	85
Невель	55	-46	101
Нежин	58	-37	95
Нелята	56	-57	113
Нерехта	57	-46	103
Нерчинск	60	-57	117
Нижеангарск	54	-47	101

Железнодорожная станция	Температура рельсов °С		Расчетная температурная амплитуда T_A °С
	летняя t_{max}	зимняя t_{min}	
Нижегородская	61	-30	91
Нижедевицк	61	-37	98
Нижеудинск	56	-54	110
Нижний Новгород	57	-41	98
Нижний Тагил	57	-49	106
Николаев	60	-30	90
Николо-Полома	56	-45	101
Никополь	59	-34	93
Новгород	54	-45	99
Новоалексеевка	61	-31	92
Новки	57	-48	105
Новоград-Вольнский	57	-35	92
Новозыбков	57	-37	94
Новоисаимская	57	-53	110
Новокузнецк	58	-52	110
Новороссийск	59	-24	83
Новосибирск	57	-51	108
Новосокольники	55	-46	101
Новый Оскол	62	-37	99
Нора	56	-53	109
Нядома	53	-47	100
Обливская	61	-38	99
Обловка	60	39	99
Облучье	57	-46	103
Обоянь	61	-37	98
Овинище	55	-52	107
Овруч	59	-34	93
Огорон	55	50	105
Одесса	57	-28	85
Ожерелье	59	44	103
Окатово	57	44	101
Октябрьский Прииск	56	53	109
Окуповка	53	-46	99
Оловянная	60	-53	113
Олонец	54	54	108
Омск	59	-49	108
Онега	53	-46	99
Опарино	56	-48	104
Оредж	54	-45	99
Орел	58	-39	97
Оренбург	62	-42	104
Орехово	57	-45	102
Орск	62	-44	106
Орша	56	-39	95
Осиповичи	56	-37	93
Осташков	55	-47	102
Остров	56	-41	97
Остряково	60	-29	89
Павелец	58	-42	100
Павлово-Посад	57	-45	102

Железнодорожная станция	Температура рельсов, °С		Расчетная температурная амплитуда, T _а , °С	Железнодорожная станция	Температура рельсов, °С		Расчетная температурная амплитуда, T _а , °С
	летняя t _{max}	зимняя t _{min}			летняя t _{max}	зимняя t _{min}	
Павловск	53	-36	89	Раненбург	60	-38	98
Павлоград	60	-34	94	Ребриха	59	-50	109
Палласовка	64	-38	102	Решоты	57	-51	108
Партизанск	57	-37	94	Ржава	59	-38	97
Пачелма	58	-43	101	Ржев	56	-47	103
Пенза	58	-43	101	Ровно	58	-36	94
Пермь	57	-45	102	Родены	58	-37	95
Петровский Завод	58	-55	113	Ромодан	59	-38	97
Петрозаводск	55	-40	95	Рославль	56	-41	97
Петрокрепость	53	-36	89	Росошь	63	-37	100
Петропавловск	61	-53	114	Ростов-Главный	60	-33	93
Петрунь	54	-54	108	Ростов-Ярославский	59	-46	105
Петруши	60	-52	112	Рошино	53	-36	89
Пинск	56	-35	91	Ртищево	60	-43	103
Пировская	56	-57	113	Рубцовск	61	-49	110
Платоновка	60	-39	99	Ружино	58	-42	100
Плесецкая	54	-48	102	Рузаевка	58	-44	102
Поворино	61	-39	100	Рыбинск	56	-46	102
Подборовье	55	-50	105	Рязск	61	-40	101
Подкаменная	55	-47	102	Рязань	58	-41	99
Покровск-Приволжский	60	-41	101	Саблино	53	-36	89
Поканаевка	57	-52	109	Сальск	62	-34	96
Покровск-Уральский	55	-52	107	Сама	55	-52	107
Половина	55	-51	106	Самара	59	-43	102
Полоцк	56	-39	95	Самбор	57	-34	91
Полтава	58	-37	95	Санкт-Петербург	53	-36	89
Помошная	60	-35	95	Саранск	58	-44	102
Поронайск	56	-42	98	Саранчет	57	-57	114
Посадниково	53	-46	99	Сарапул	58	-46	104
Посевная	58	-48	106	Саратов	60	-41	101
Посьет	56	-29	85	Сасово	58	-42	100
Почеп	58	-37	95	Саянская	57	-56	113
Починки	57	-41	98	Сватово	61	-36	97
Починск	55	-41	96	Свердловск	58	43	101
Пржевальская	54	-30	84	Свирь	54	-44	98
Приаргунск	60	-51	111	Свиягну	57	-48	105
Приднепровская	55	-41	96	Свободный	58	-53	111
Прилуки	58	-35	93	Севастополь	58	-22	80
Приозерск	53	-36	89	Сегежа	55	-46	101
Проектное	57	-53	110	Селемджинск	60	-54	114
Промышленная	56	-53	109	Селенга	57	-41	98
Прохладная	62	-32	94	Семенов	57	-47	104
Псков	56	-41	97	Сергач	58	-44	102
Пугачевка	62	-41	103	Сергиев-Посад	56	-48	104
Пулозеро	52	-42	94	Серов	56	-52	108
Пятгорск	61	-33	94	Серпухов	58	-44	102
Пятихатки	60	-35	95	Сестрорецк	53	-36	89
Раевка	60	-46	106	Сибирцево	57	-42	99
Раздельная	57	-28	85	Симферополь	60	-29	89
				Синельниково	60	-34	94

Железнодорожная станция	Температура рельсов, °С		Расчетная температурная амплитуда T _а , °С	Железнодорожная станция	Температура рельсов, °С		Расчетная температурная амплитуда, T _а , °С
	летняя t _{max}	зимняя t _{min}			летняя t _{max}	зимняя t _{min}	
Сковородино	57	-56	113	Тайшет	56	-53	109
Скопин	61	-40	101	Талдан	60	-52	112
Скуратово	57	-42	99	Таловая	61	-38	99
Славгород	60	-48	108	Тамань	57	-27	84
Славное	56	-40	96	Тамбов	60	-39	99
Славянск	61	-38	99	Танхой	51	-40	91
Сланцы	53	-38	91	Татарская	60	-47	107
Слободчиково	57	-51	108	Тверь	58	-50	108
Слуцк	55	-36	91	Теба	56	-53	109
Слюдянка	51	-40	91	Тернополь	57	-34	91
Смоленск	55	-41	96	Тетерев	59	-37	96
Снегиревка	59	-31	90	Тигей	58	-50	108
Соблаго	55	-47	102	Тихвин	55	-51	106
Советск	56	-35	91	Тихорецкая	62	-34	96
Советская Гавань	56	-38	94	Тогучин	58	-55	113
Соликамск	56	-48	104	Токари	55	-40	95
Соловьевск	61	-52	113	Токсово	53	-36	89
Сонково	55	-50	105	Толмачево	53	-43	96
Сорочинская	59	-48	107	Томск	56	-55	111
Сортавала	51	-41	92	Топки	57	-51	108
Сосыка	61	-34	95	Торжок	56	-49	105
Сочи	58	-14	72	Торопец	55	-46	101
Спас-Демьянск	56	-43	99	Троицк	60	-46	106
Спасск-Дальний	56	-48	104	Туапсе	61	-19	80
Средняя Нюкжа	58	-61	119	Тула	58	-42	100
Сретенск	60	-58	118	Тулат	56	-60	116
Ставрополь	60	-36	96	Тулун	56	-54	110
Старая Русса	54	-42	96	Тумнин	57	-48	105
Старица	56	-47	103	Тургутуй	58	-52	110
Старолуб	57	-39	96	Турни Рог	59	-39	98
Старожилово	58	-40	98	Туринск	58	-48	106
Староминская	62	-34	96	Туймазы	60	-50	110
Старушки	57	-36	93	Тыгда	58	-53	111
Старый Оскол	61	-37	98	Тында	56	-54	110
Стерлитамак	60	-48	108	Тюмень	60	-50	110
Сулемка	58	-52	110	Углич	57	-47	104
Сумы	58	-36	94	Ужгород	60	-28	88
Суоярви	54	-43	97	Ужур	57	-54	111
Сургут	54	-55	109	Узловая	58	-42	100
Суриково	56	-62	118	Уйбаг	58	-50	108
Суслово	57	-55	112	Уладовка	58	-36	94
Сухиничи	58	-42	100	Улан-Удэ	60	-51	111
Сучан	58	-32	90	Ульяновск	60	-48	108
Сушсво	55	-44	99	Умань	58	-37	95
Сызрань	61	-44	105	Унаха	56	-54	110
Сычевка	56	-42	98	Уоян	57	-60	117
Тавда	58	-48	106	Урбах	61	-41	102
Таганрог	58	-33	91	Ургал	60	-58	118
Тагул	57	-56	113	Уса	52	-53	105
Тайга	57	-53	110	Уссурийск	57	-43	100

Железнодорожная станция	Температура рельсов, °С		Расчетная температурная амплитуда, Т _а , °С	Железнодорожная станция	Температура рельсов, °С		Расчетная температурная амплитуда, Т _а , °С
	летняя t _{max}	зимняя t _{min}			летняя t _{max}	зимняя t _{min}	
Усть-Кут	58	-55	113	Чернигов	59	-34	93
Усть-Лабинская	63	-31	94	Черновицы	58	-32	90
Усть-Луга	52	-42	94	Чернореченская	58	-59	117
Уфа	60	-48	108	Чернушка	58	-54	112
Ухта	55	-53	108	Чернышевск	57	-57	114
Уяр	56	-55	111	Черняховск	56	-35	91
Фаленки	57	-46	103	Чертково	60	-34	94
Фастов	59	-36	95	Черусти	58	-45	103
Федоровка	61	-33	94	Чита	59	-52	111
Феодосия	58	-25	83	Чишмы	60	-48	108
Фосфоритная	56	-47	103	Чудово	54	-46	100
Хабаровск	60	-43	103	Чулымская	58	-52	110
Хаджох	61	-34	95	Чульман	55	-61	116
Харьков	59	-36	95	Чунойр	57	-54	111
Хасав-Юрт	61	-29	90	Чусовая	58	-49	107
Хвойная	55	-52	107	Шабалино	56	-45	101
Херсон	59	-32	91	Шадринск	59	-47	106
Хибины	52	-44	96	Шарыпово	58	-52	110
Хилок	58	-55	113	Шарья	56	-44	100
Холмск	50	-29	79	Шаховская	56	-45	101
Христиновка	58	-37	95	Шахунья	57	-47	104
Хуст	60	-33	93	Шелковская	62	-30	92
Хутор-Михайловский	58	-36	94	Шелетовка	58	-36	94
Цветково	58	-37	95	Шилка	60	-56	116
Целина	61	-34	95	Шилово	59	-41	100
Цивильск	57	-43	100	Шимановская	58	-55	113
Цимлянская	61	-38	99	Шира	56	-49	105
Чайда	56	-63	119	Шумерля	57	-42	99
Чакнно	60	-39	99	Шушь	58	-55	113
Чаплино	59	-32	91	Шуя	58	-46	104
Чара	55	-57	112	Щербакты	60	-46	106
Чебоксары	58	-44	102	Щетинкино	56	-52	108
Челябинск	59	-44	103	Щигры	60	37	97
Чекунда	60	-58	118	Эльтон	65	-36	101
Ченча	56	-59	115	Юрьев-Польский	57	-46	103
Червленая-Узловая	62	-30	92	Янаул	58	-51	109
Черемхово	55	-52	107	Яр	57	-46	103
Череповец	56	-49	105	Ярославль	56	-46	102
Черкассы	58	-37	95	Ясиня	59	-33	92
Черкесск	60	-31	91				

Примечание. Расчетные температуры рельсов могут корректироваться при наличии более точных данных наблюдений на местах. Корректировка этих температур должна быть согласована ЦП МПС.

Глава 1	
Принципиальное устройство бесстыкового пути. Температурное воздействие на рельсовые плети	
1.1. Общие положения. Параметры рельсов, применяемых для бесстыкового пути на отечественных и зарубежных дорогах	3
1.2. Температура рельсов и ее влияние на работу бесстыкового пути	6
1.3. Влияние температуры на жесткость подрельсового основания	10
1.4. Влияние климатических условий на распространение бесстыкового пути	11
1.5. Приборы для измерения температуры рельсов	16
1.6. Порядок измерения, фиксирования и прогнозирования температуры рельсов	19
Глава 2	
Продольные силы, действующие на бесстыковой путь, и его устойчивость	
2.1. Изменение длины рельсовых плетей при колебаниях температур	23
2.2. Особенности работы рельсовых плетей бесстыкового пути	25
2.3. Силы угона от воздействия колес подвижного состава	32
2.4. Суммирование температурных и угоняющих сил на участках укладки сварных плетей	35
2.5. Экспериментальные исследования устойчивости бесстыкового пути	38
2.6. Расчет устойчивости бесстыкового пути	46
Глава 3	
Конструкция верхнего строения бесстыкового пути	
3.1. Общие сведения	60
3.2. Рельсовые скрепления	69
3.3. Подрельсовые основания	90
3.4. Балластный слой	96
3.5. "Омоноличивание" балластной призмы	107
Глава 4	
Изменение служебных свойств рельсовых плетей в процессе эксплуатации	
4.1. Повреждаемость рельсовых плетей при работе в пути	118
4.2. Требования к рельсам и длины рельсовых плетей	125
4.3. Классификация дефектов. Признаки дефектных и остродефектных рельсов	128

4.4	Маркировка дефектов. Пропуск поездов по остродефектным рельсам	139
4.5	Сроки службы рельсов бесстыкового пути	140
4.6	Влияние интенсивности износа головки на появление в рельсовых плетях дефектов контактно-усталостного происхождения	142
4.7	Профильная шлифовка рельсовых плетей бесстыкового пути	144

Глава 5

Бесстыковой путь из старогодных материалов

5.1	Общие положения	148
5.2	Технические требования, предъявляемые к рельсам и скреплениям при их вторичном использовании	150
5.3	Технические указания на повторное применение железобетонных шпал	156
5.4	Перекладка плетей бесстыкового пути с заменой рабочего канта	161
5.5	Устройство для перекладки рельсовых плетей бесстыкового пути с заменой рабочего канта	167
5.6	Бесстыковой путь с деревянными шпалами и костыльными скреплениями	169

Глава 6

Усиление и оздоровление основной площадки земляного полотна и балластного слоя

6.1	Способы усиления основной площадки	179
6.2	Эффективность применения геопластмасс в подшпальном основании	185
6.3	Безбалластные конструкции подрельсового основания на участках бесстыкового пути	188
6.4	Конструктивные решения по реконструкции основной площадки земляного полотна и балластной призмы с применением полимерных материалов	191

Глава 7

Бесстыковой путь на скоростных магистралях

7.1	Отечественный и зарубежный опыт высокоскоростного движения	195
7.2	Особенности конструкции и работы бесстыкового пути на высокоскоростных магистралях	198

Глава 8

Бесстыковой путь в суровых климатических условиях

8.1	Особенности конструкции и эксплуатации плетей при больших суточных и годовых колебаниях температур	206
8.2	Работа стыковых и промежуточных рельсовых скреплений в условиях Сибири и Дальнего Востока	213
8.3	Дополнительные требования к безопасности движения поездов	218

Глава 9

Расчет и проектирование бесстыкового пути

9.1	Основные расчетные параметры	221
9.2	Последовательность составления проекта	228

Глава 10

Укладка, ремонт и текущее содержание бесстыкового пути

10.1	Классификация путей	234
10.2	Требования к конструкции и элементам бесстыкового пути при его устройстве	235
10.3	Усиление балластной призмы при ремонтах бесстыкового пути	238
10.4	Виды ремонтно-путевых работ	242
10.5	Планирование работ по ремонту бесстыкового пути	247
10.6	Обеспечение устойчивости бесстыкового пути при производстве работ	252
10.7	Ремонт бесстыкового пути	264
10.8	Текущее содержание бесстыкового пути	274

Глава 11

Бесстыковой путь в крутых кривых

11.1	Особенности работы бесстыкового пути в кривых	284
11.2	Основные способы увеличения допускаемой годовой амплитуды колебаний температур рельсов бесстыкового пути в кривых малых радиусов	286

Глава 12

Бесстыковой путь на станциях

12.1	Особенности конструкции стационных путей	296
12.2	Нормы устройства и эксплуатации бесстыкового пути на станциях	299
12.3	Сварка рельсов стрелочных переводов в пути	305
12.4	Специальные конструкции в зонах примыкания бесстыкового пути к сварным стрелочным переводам	310

Глава 13

Сферы целесообразного применения пути, уложенного 25-метровыми рельсами, в районах с большими температурными амплитудами

13.1	Особенности температурной работы 25-метровых рельсов на железобетонных шпалах в районах с большими температурными амплитудами	314
13.2	Расчетные размеры стыковых зазоров и их влияние на условия взаимодействия рельсового пути и колес подвижного состава	321
13.3	Преимущества и недостатки железнодорожного пути на железобетонных шпалах. Возможные решения на перевальных участках	324
13.4	Применение звеньев пути с 25-метровыми рельсами и железобетонными шпалами на линиях с небольшими объемами перевозок	328

Глава 14

Бесстыковой путь на мостах, в тоннелях и метрополитенах

14.1	Бесстыковой путь на мостах	335
14.2	Бесстыковой путь в тоннелях	352
14.3	Бесстыковой путь в метрополитенах	356

Глава 15

Технико-экономическая эффективность
применения бесстыкового пути

15.1. Основные технико-экономические показатели оценки эффективности	362
15.2. Повышение безопасности движения поездов	365
15.3. Затраты на укладку и ремонты	367
15.4. Стоимость текущего содержания пути	371
15.5. Сопротивление движению поездов и расходы на его преодоление	374
15.6. Сферы рационального применения бесстыкового пути	381
15.7. Пример определения наиболее целесообразной конструкции в условиях малой грузонапряженности	384
Приложение 1. Применяемые термины	387
Приложение 2. Допускаемые понижения температуры рельсовых плетей относительно температуры их закрепления	390
Приложение 3. Расчетные температуры рельсов для сети железных дорог	397

Производственно-практическое издание

АЛЬБРЕХТ ВЛАДИМИР ГЕОРГИЕВИЧ, КОГАН АЛЕКСАНДР ЯКОВЛЕВИЧ,
ЗВЕРЕВ НИКОЛАЙ БОРИСОВИЧ, КАМЕНСКИЙ ВЛАДИМИР БОРИСОВИЧ,
ШИПАДЖЯН АЛЛА АШОТОВНА, КРЫСАНОВ ЛЕВ ГРИГОРЬЕВИЧ,
ВИНОГОРОВ НИКОЛАЙ ПАВЛОВИЧ, ХВОСТИК ГАЛИНА СЕРГЕЕВНА,
ШУЛЬГА ВАЛЕРИЙ ЯКОВЛЕВИЧ

БЕССТЫКОВОЙ ПУТЬ

Переплет художника *С. Н. Орлова* Технический редактор *Н. И. Горбачева*
Корректор *В. Т. Агеева* Компьютерная верстка *И. А. Мочаловой*

Изд. лиц. 010163 от 21.02.97. Сдано в набор 25.02.00. Подписано в печать 07.09.00.
Формат 60×88 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 24,99. Уч.-изд. л. 26,61. Тираж 10 000 экз. Заказ 100. С 064
Изд. № 1-3-1/4 № 6980

Государственное унитарное предприятие
ордена "Знак Почета" издательство "Транспорт"
107078, Москва, Новая Басманная, д. 10.

АООТ "Политех-4",
129110, Москва, Б. Переяславская ул., 46

ISBN 5-277-02170-1



9 785277 021705

