

Лекция 4

ТЕМПЕРАТУРНАЯ РАБОТА 25-МЕТРОВЫХ РЕЛЬСОВ В ПУТИ

План лекции:

4.1. Условия содержания рельсов.

4.2. Основные расчетные случаи температурной работы рельсов в пути.

4.1. Условия содержания рельсов

Железнодорожный путь работает в сложных условиях вибродинамического воздействия от проходящего по нему подвижного состава и, кроме того, подвергается воздействию природных факторов и прежде всего колебаниям температур.

На железных дорогах в России на начало 2012 г. на 80,3 тыс. км пути (64 % от развернутой длины главных путей) уложен бесстыковой путь с железобетонными шпалами. На оставшейся протяженности пути почти полностью уложены 25-метровые рельсы.

По сравнению с 12,5-метровыми рельсами укладка и содержание длиномерных рельсов дает определенный экономический эффект, выражающийся в уменьшении расходов на текущее содержание пути, энергетических расходов при перевозках, а также снижении затрат на ремонт ходовых частей подвижного состава в основном за счет уменьшения количества стыков.

Вместе с тем увеличение длины рельсов без изменения конструкции промежуточных и стыковых креплений усложняет температурную работу рельсов. Это особенно резко сказывается там, где амплитуда колебаний температур рельсов более 100 °С, где допускаются значительные отклонения в величине стыковых зазоров от номинальных во время укладки и содержания пути, где не контролируется степень затяжки гаек стыковых болтов зимой. В этих случаях зимой задолго до наступления самых сильных холодов стыковые зазоры раскрываются полностью и при дальнейшем понижении температуры рельсов деформируются стыковые болты, а летом – происходят выбросы пути.

Во избежание таких процессов обычно производят разгонку зазоров с целью их увеличения или уменьшения с укладкой удлиненных сплотов или укороченных рельсов. В подобных случаях укладка и содержание 25-метровых рельсов вместо планируемой экономии наоборот вызывает увеличение расходов на содержание пути.

Поэтому для грамотного решения многих вопросов, связанных с укладкой и содержанием 25-метровых рельсов, необходимо чтобы каждый линейный работник пути твердо знал основные положения теории температурной работы рельсов. Каждый дорожный мастер должен уметь составлять ведомости номинальных стыковых зазоров для укладки и содержания 25-метровых рельсов и требовать от ПМС при капитальном ремонте при сдаче пути в эксплуатацию строго соблюдать расчетные зазоры.

4.2. Основные расчетные случаи температурной работы рельсов в пути

1. Рельс свободен от каких-либо закреплений.

Удлинение (укорочение) рельса как свободного стержня (рис. 4.1) $\Delta\ell_{\text{св}}$ определяется по формуле

$$\Delta\ell_{\text{св}} = \alpha \cdot \ell \cdot \Delta t, \quad (4.1)$$

где α – коэффициент линейного расширения рельсовой стали, $\alpha = 0,0000118$ 1/град; Δt – изменение температуры, град; ℓ – длина рельса, м.

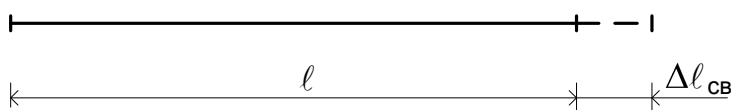


Рис. 4.1. Расчетная схема рельса без закрепления

При $\ell = 25$ м, $\alpha \cdot \ell = 0,295$ мм/град.

В этом случае температурные напряжения не возникают, т.е. $\sigma_t = 0$.

2. Рельс жестко закреплен по концам.

При отсутствии зазоров в стыках или при прочном закреплении с помощью стыковых болтов рельс остается неподвижным в некотором интервале изменения температуры (рис. 4.2).

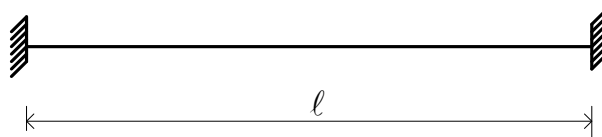


Рис. 4.2. Расчетная схема рельса с жестким закреплением

В этом случае фактическое удлинение (укорочение) рельса отсутствует, т. е. $\Delta\ell_{\text{фак}} = 0$.

При нагревании рельсы сжимаются на величину **несостоявшегося удлинения**, при охлаждении – растягиваются на эту же величину.

Несостоявшееся удлинение – это разница между потребным удлинением, соответствующим перепаду температур Δt , и фактическим

$$\Delta \ell_n = \alpha \cdot \ell \cdot \Delta t. \quad (4.2)$$

Изменение температуры приводит к росту продольных сил и температурных напряжений. Напряжения, соответствующие деформации $\Delta \ell_n$, определяются по закону Гука по формуле

$$\sigma_t = \frac{\Delta \ell_n}{\ell} E = \frac{\alpha \cdot \ell \cdot \Delta t}{\ell} E = \alpha \cdot E \cdot \Delta t, \quad (4.3)$$

где E – модуль упругости рельсовой стали, $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа.

Произведение

$$\alpha \cdot E = 0,0000118 \cdot 2,1 \cdot 10^6 = 24,78 \approx 25 \text{ кг / см}^2\text{град} \approx 2,5 \text{ МПа / град}.$$

Итак, $\sigma_t = 25 \Delta t$, т. е. температурные напряжения изменяются по линейному закону.

Этим напряжениям соответствуют продольные силы в каждом сечении рельса:

$$N_t = \sigma_t \cdot F = \alpha \cdot E \cdot F \cdot \Delta t = 25 \cdot F \cdot \Delta t, \quad (4.4)$$

где F – площадь поперечного сечения рельса, см^2 . Для Р50 – $F = 66 \text{ см}^2$; Р65 – $F = 82 \text{ см}^2$; Р75 – $F = 95 \text{ см}^2$.

При изменении температуры на 1°C возникает продольная сила, равная:

для рельсов Р50 $N_t = 25 \cdot 66 = 1650 \text{ кг}$ (16,2 кН);

рельсов Р65, $N_t = 25 \cdot 82 = 2050 \text{ кг}$ (20,1 кН);

рельсов Р75, $N_t = 25 \cdot 95 = 2375 \text{ кг}$ (23,3 кН).

Несостоявшееся удлинение (из закона Гука) может быть определено по формуле

$$\Delta l = \frac{\sigma_t \cdot \ell}{E} = \frac{\sigma_t \cdot \ell \cdot F}{E \cdot F} = \frac{N_t \cdot \ell}{E \cdot F} = \frac{\Omega}{E \cdot F}, \quad (4.5)$$

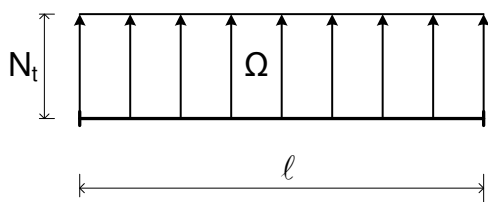


Рис. 4.3. Эпюра продольных температурных сил в неподвижном рельсе

где Ω – площадь эпюры продольных сил (рис. 4.3).

На каждый миллиметр несостоявшегося удлинения в рельсах возникают продольные сжимающие силы, равные для рельсов Р75 – 79,8 кН, Р65 – 69,4 кН, Р50 – 55,4 кН.

3. Рельс прикреплен к опорам.

При изменении температуры рельса начинается изменение его длины с преодолением сопротивления продольному перемещению на опорах $R_{\text{ш}}$.

Величина $R_{\text{ш}}$ зависит в основном от конструкции промежуточных креплений и длительности его эксплуатации. Например, среднее значение $R_{\text{ш}} = 180$ кгс для нового костыльного крепления, $R_{\text{ш}} = 100$ кгс для старого костыльного крепления.

Для удобства расчетов пользуются погонным сопротивлением. Численное значение его определяют по формуле

$$r = \frac{\sum R_{\text{ш}}}{\ell} \text{ кгс/см} . \quad (4.6)$$

Величина погонного сопротивления:

$r = 1 \div 3$ кгс/см – при новом костыльном креплении,

$r = 1 \div 1,5$ кгс/см – при старом костыльном креплении,

$r = 13 \div 14$ кгс/см – для раздельного крепления типа КБ летом,

$r = 25 \div 42$ кгс/см – для раздельного крепления типа КБ зимой.

Рассмотрим поведение рельсов при изменении температуры и при наличии только погонных сопротивлений.

По мере роста температуры увеличивается зона перемещения x (рис. 4.4). Любое сечение рельса, отстоящее на расстоянии x от его конца, будет иметь перемещение в том случае, если внутренние температурные силы в рельсе в этом сечении превысят сумму сил сопротивлений rx на участке x .

Для этого сечения можно записать $rx = \alpha \cdot E \cdot F \cdot \Delta t x = 25F \cdot \Delta t x$, из данного уравнения

$$\Delta t x = \frac{rx}{25F} . \quad (4.7)$$

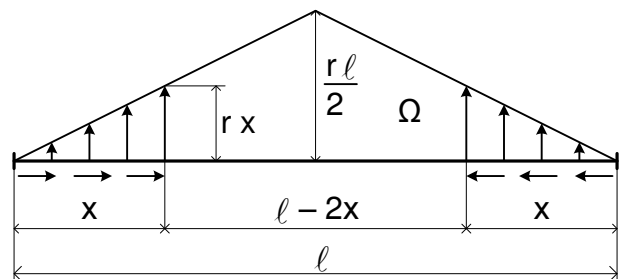


Рис. 4.4. Эпюра продольных сил в рельсе от погонного сопротивления

При $x = \frac{1}{2} \ell$, $\Delta t_x^{\text{max}} = \Delta t_r = \frac{r \ell}{2 \cdot 25F}$, где Δt_r – требуемое изменение тем-

пературы рельса для полного преодоления погонного сопротивления.

Несостоявшееся удлинение, соответствующее этой эпюре, выражается формулой

$$\Delta \ell_{\text{н}} = \frac{\Omega}{EF} = \frac{r \cdot \ell^2}{4EF} = \frac{\alpha \ell \Delta t_r}{2} . \quad (4.8)$$

Здесь $\Delta t_r = \frac{3 \cdot 2500}{2 \cdot 25 \cdot 82} = 1,83^\circ \approx 2^\circ$ – для рельсов Р65 и костыльного

скрепления;

$$\Delta t_r = \frac{14 \cdot 2500}{2 \cdot 25 \cdot 82} = 8,5^\circ \text{ – при скреплении типа КБ летом.}$$

В расчетах зазоров для укладки рельсов значение Δt_r учитывают обычно только при раздельном скреплении.

Температурная работа 25-метрового рельса, уложенного в путь.

Эту работу рассмотрим на диаграмме температурной работы рельса (рис. 4.5) без учета дополнительного сопротивления от противоугонов.

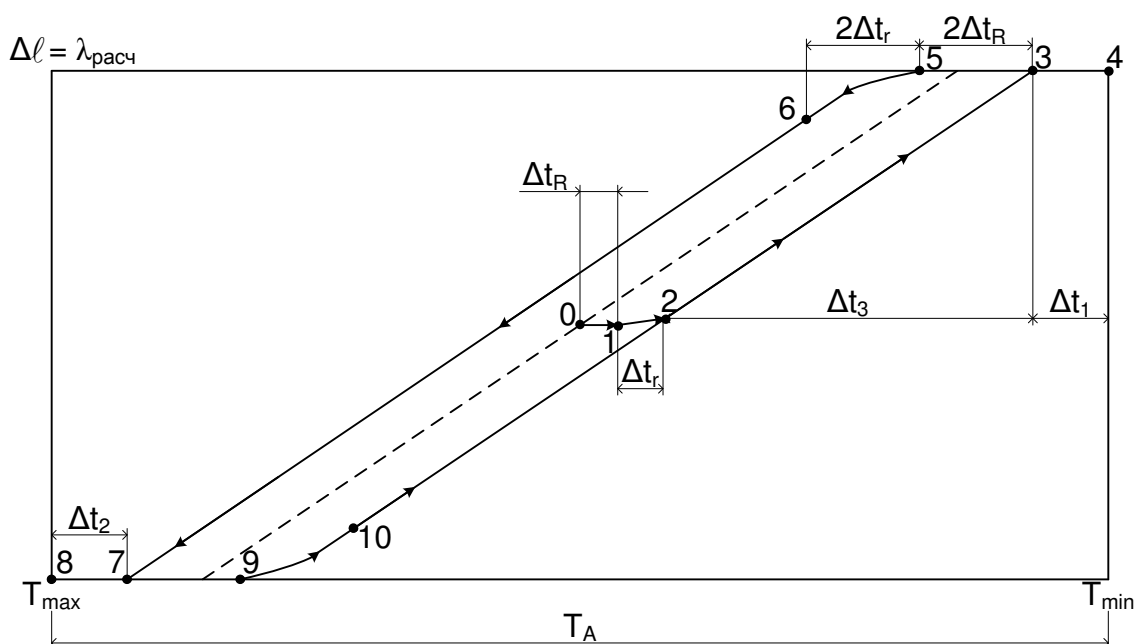


Рис. 4.5. Диаграмма температурной работы рельса

Построим прямоугольник, по оси абсцисс отложим экстремальные значения температур рельсов, по оси ординат – величины стыковых зазоров в миллиметрах (до конструктивного, $\Delta \ell = 23$ мм для Р65).

Пусть рельсы уложены в путь с $\Delta \ell = 6$ мм при $t = 15^\circ \text{C}$ (точка О). После сборки стыков и прикрепления рельсов к шпалам, продольные перемещения концов рельсов могут осуществляться только с преодолением стыковых и погонных сопротивлений.

При понижении температуры накладки в стыках препятствуют перемещению концов рельса, растут продольные силы и температурные напряжения (участок 0-1), но перемещения их концов отсутствуют. Температурные силы N_t , напряжения σ_t , несостоявшееся удлинение $\Delta \ell_n$ рельса определяются по формулам:

$$\begin{aligned}
N_t &= R_c = \alpha \cdot E \cdot F \cdot \Delta t_R; \\
\sigma_t &= 25 \Delta t_R; \\
\Delta \ell_H &= \alpha \cdot \ell \cdot \Delta t_R,
\end{aligned}
\tag{4.9}$$

где Δt_R – перепад температуры для преодоления стыкового сопротивления; R_c – стыковое сопротивление (за счет сил трения между поверхностями накладок и рельса [10]),

$$R_c = 8,24 \cdot n \cdot \Psi \cdot A \cdot M_{кр}, \tag{4.10}$$

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, $A = 1,4$ для рельсов типа Р65 и Р75; $M_{кр}$ – крутящий момент, приложенный к гайке стыкового болта.

При $n = 3$, $\Psi = 0,2$, $A = 1,4$ для рельсов Р65

$$R_c \approx 0,7 M_{кр}. \tag{4.11}$$

В практических расчетах принимается сопротивление стыка для рельсов Р65 и Р75:

$R_c = 10$ тс (100 кН) – при 4-болтовом стыке;

$R_c = 16$ тс (160 кН) – при 6-болтовом стыке;

$R_c = 40$ тс (400 кН) – для бесстыкового пути за счет увеличения $M_{кр}$ при высокопрочных болтах.

Для преодоления сил трения в стыке R_c необходимо изменение температуры рельса на величину

$$\Delta t_R = \frac{R_c}{25 F}. \tag{4.12}$$

При практических расчетах звеньевое пути принимают $\Delta t_R = 5 \div 8^\circ$.

На участке 1–2 диаграммы идет преодоление погонного сопротивления и изменение зазора по закону квадратной параболы

$$\Delta t_r = \frac{r \cdot \ell}{2 \cdot 25 F}; \tag{4.13}$$

$$\lambda = \Delta \ell_H = \frac{r \cdot \ell^2}{4 E F}. \tag{4.14}$$

После преодоления стыкового и погонного сопротивления (для чего требуется температура $\Delta t_R + \Delta t_r$) изменение длины рельса идет по закону изменения длины свободного стержня (изменяется зазор) и в точ-

ке 3 раскрывается полностью (участок 2–3). Фактическое изменение зазора на этом участке до расчетного значения $\Delta\ell_{\phi} = \alpha \cdot \ell \cdot \Delta t_3$.

Дальнейшее понижение температуры приводит к появлению дополнительных сил, которые нежелательны при эксплуатации, так как могут вызвать изгиб стыковых болтов

$$\alpha \cdot E \cdot F \cdot \Delta t_1 \leq |P_6|, \quad (4.15)$$

где $|P_6|$ – прочность стыковых болтов на срез.

При нагревании рельса на участке 4–3 исчезают силы $\alpha \cdot E \cdot F \cdot \Delta t_1$; на участке 3–5 исчезают растягивающие силы R_c и возникают сжимающие силы R_c ; на участке 5–6 происходит переориентация сил трения на каждой шпале при $\Delta t = 2\Delta t_r$.

Закон изменения зазора в зависимости от изменения температуры в этом случае выражается формулой

$$\Delta\ell = \frac{\alpha^2 \cdot E \cdot F \cdot \Delta t^2}{r}. \quad (4.16)$$

Дальнейшее нагревание рельсов приводит к уменьшению зазора от конструктивного до нуля (участок 6–7).

На участке 7–8 при дальнейшем повышении температуры зазоры остаются нулевыми и возникают дополнительные силы сжатия

$$N_{сж} = \alpha \cdot E \cdot F \cdot \Delta t_2. \quad (4.17)$$

Наибольшие сжимающие силы в середине рельса не должны превышать допустимые значения $|N_{сж}|$, т. е.

$$N_{сж} = R_c + \alpha \cdot E \cdot F \cdot \Delta t_2 + \frac{r \cdot \ell}{2} \leq |N_{сж}|. \quad (4.18)$$

Иначе может произойти температурный выброс пути.

Если вновь изменить ход температуры, то характер перемещений концов рельсов будет аналогичен вышеописанному, т. е. на участке 8–7 произойдет снижение продольных сжимающих сил без изменения длины рельсов. На участке 7–9 произойдет переориентация сил трения в стыке без изменения зазора. И лишь на участке 9–10 одновременно с переориентацией погонных сопротивлений изменится зазор по формуле (4.16). На участке 10–2 происходит свободное изменение длины рельсов по формуле (4.1).

Эпюры продольных сил в рельсах в характерных точках диаграммы (рис. 4.5) приведены на рис. 4.6.

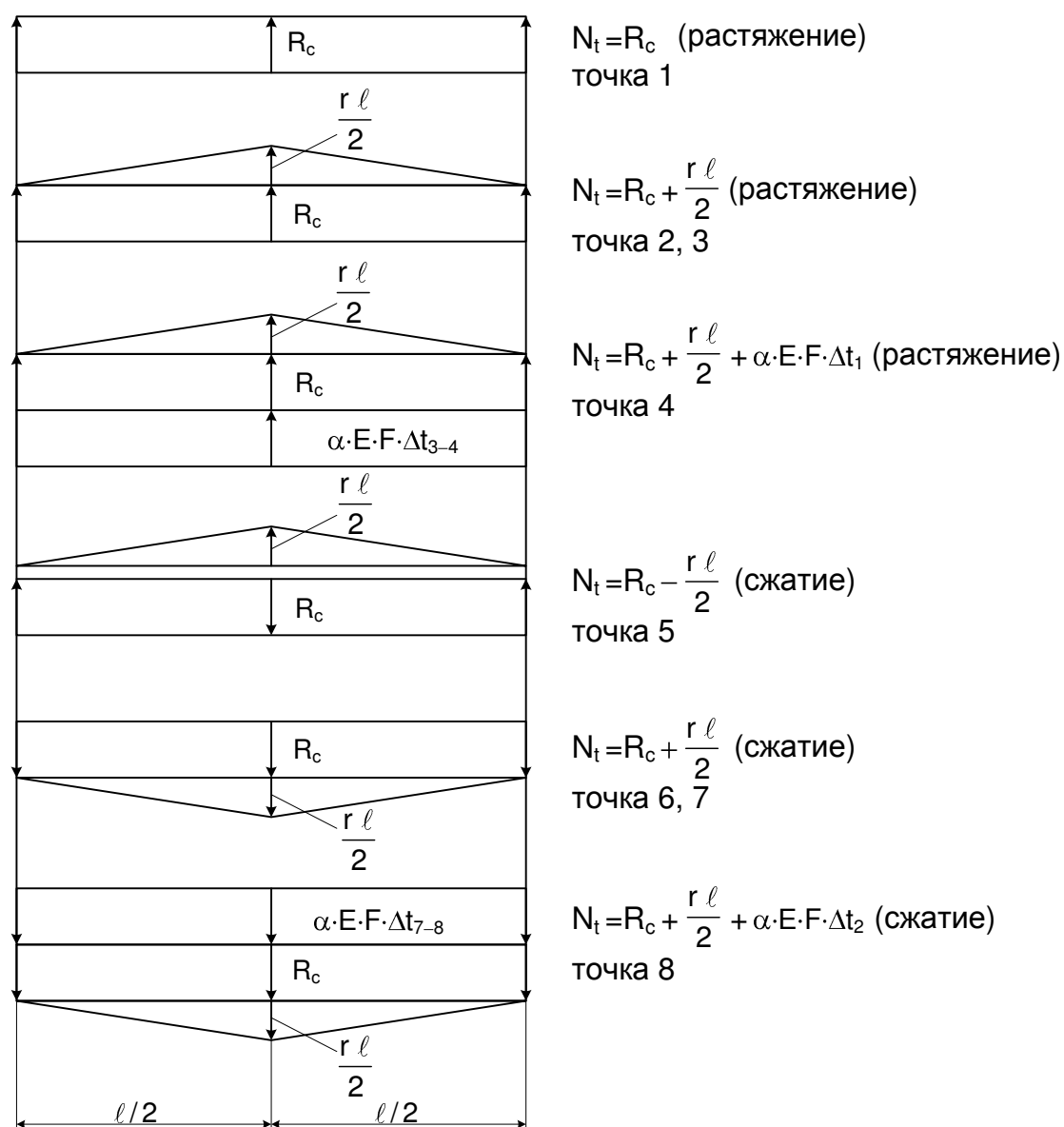


Рис. 4.6. Эпюры продольных сил в рельсах

Составление ведомости стыковых зазоров для укладки и содержания 25-метровых рельсов в пути необходимо вести в соответствии с указаниями [11].

Используя приведенные выше формулы, можно определить для разных условий наибольшую длину рельса, у которого даже при самой высокой температуре T_{\max} торцы не испытывают нажатий соседних рельсов, а в зимнее время при T_{\min} болты на срез еще не работают. Такие расчеты были проведены в зависимости от годовой температурной амплитуды T_A , конструкции промежуточных скреплений и расчетного (конструктивного) зазора. Оказалось, что длины рельсов колеблются в пределах $13,4 \div 35,5$ м. С повышением температурной амплитуды, типа рельсов и понижением погонного сопротивления длина рельсов уменьшается.

Рекомендуемая литература [1, 11]