

ПУТЬ И ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 625.143.482

В. И. МАТВЕЦОВ, кандидат технических наук, А. А. КЕБИКОВ, кандидат технических наук, Н. Е. МИРОШНИКОВ, магистрант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

**АНАЛИЗ ПРОДОЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ
И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ИНТЕРВАЛА ЗАКРЕПЛЕНИЯ
РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЕЙ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ**

Изложена методика аналитического расчета продольных деформаций рельсовых плетей бесстыкового пути с учетом влияния температуры закрепления и стыкового сопротивления. Подтвержден оптимальный интервал температур закрепления для условий Белорусской железной дороги и даны рекомендации по его назначению при различных величинах стыкового сопротивления, с увеличением которого наблюдается снижение суммарных годовых деформаций рельсовых плетей. Это способствует улучшению условий работы уравнительного пролета и снижению уровня воздействия подвижного состава на путь. Поэтому обеспечение высокого стыкового сопротивления является одним из основных требований, обеспечивающих эксплуатацию бесстыкового пути без разрядок температурных напряжений. Наряду с повышением его эффективности при этом не нарушается температурный режим работы рельсовых плетей и повышается уровень безопасности движения поездов.

Обязательным условием обеспечения эксплуатации бесстыкового пути без разрядок температурных напряжений является соблюдение следующего требования: фактические сжимающие или растягивающие силы, возникающие в момент наступления экстремальных температур, не должны превышать нормативных значений [1, 2]. Для этого следует определить расчетный интервал температур закрепления рельсовых плетей, а в нем, после соответствующего анализа, назначить оптимальный интервал [2–4].

Нижнюю границу оптимального интервала определяют из условия обеспечения устойчивости бесстыкового пути в момент наступления максимальной температуры рельсов, при этом наибольшие фактические сжимающие силы летом не превышают допустимых [2, 5].

Верхнюю границу оптимального интервала определяют из условия обеспечения прочности рельсов в зимнее время, при этом наибольшие фактические растягивающие силы даже при минимальной температуре не превышают допустимых [2, 5].

В процессе определения оптимального интервала необходимо стремиться к минимизации суммарных годовых деформаций рельсовых плетей зимой, а летом – к максимальному уменьшению сжимающих температурных сил. Это позволит в зимнее время обеспечить раскрытие стыковых зазоров уравнительных пролетов в пределах конструктивных значений, а летом производить большинство путевых работ без выполнения разрядок температурных напряжений.

Для прямого хода температур удлинение одного конца рельсовой плети в момент наступления

максимальной расчетной температуры определяется из (1), а укорочение конца плети в момент наступления минимальной расчетной температуры – из (2):

$$\lambda_1 = \frac{\alpha^2 EF}{2r_{\text{л}}} (t_{\text{max}} - t_3 - t_R)^2, \quad (1)$$

$$\lambda_2 = \frac{\alpha^2 EF}{2r_3} (t_3 - t_{\text{min}} - t_R)^2, \quad (2)$$

где α – коэффициент линейного расширения рельсовой стали, $\alpha = 0,0000118 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; E – модуль упругости рельсовой стали, $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$; F – площадь поперечного сечения рельсов типа Р65, $F = 82,56 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$; $r_{\text{л}}$, r_3 – соответственно летнее и зимнее погонные сопротивления, $r_{\text{л}} = 65$ и $r_3 = 250 \text{ кН/м}$; t_{max} , t_{min} – соответственно максимальная и минимальная температуры рельсов для данного района, $^\circ\text{C}$; t_3 – температура закрепления рельсовых плетей, $^\circ\text{C}$; t_R – перепад температуры, необходимый на преодоление стыкового сопротивления, который принимается равным 10, 20 и 30 $^\circ\text{C}$ при величине стыкового сопротивления соответственно 200, 300 и 400 кН (четырёхдырные стыковые накладочки могут обеспечить стыковое сопротивление до 200 кН, шестидырные – до 300 кН и восьмидырные – до 400 кН).

Определенные по (1) и (2) удлинения и укорочения характеризуют возможные изменения длины рельсовых плетей только при прямом ходе температур. Они не позволяют делать выводы о суммарных годовых температурных деформациях, определять число уравнительных рельсов и анализировать температурную работу уравнительного пролета. Для этих целей необходимо учитывать температурную работу бесстыкового пути при об-

ратном ходе температур, которая имеет существенные отличия – преодолевается по два стыковых и погонных сопротивления, для чего требуется вдвое больший перепад температур [2, 4, 5]. Поэтому на протяжении всего срока эксплуатации бесстыкового пути, за исключением прямого хода температур, возможные удлинения концов рельсовых плетей

$$\lambda_1 = \frac{\alpha^2 EF}{4r_{\text{л}}}(t_{\text{max}} - t_3 - 2t_R)^2, \quad (3)$$

а укорочения –

$$\lambda_2 = \frac{\alpha^2 EF}{4r_3}(t_3 - t_{\text{min}} - 2t_R)^2. \quad (4)$$

Максимальные расчетные температуры рельсов для Белорусской железной дороги составляют от +55 °С в Минске до +58 °С в Калинковичах, а минимальные – от –35 °С в Гомеле до –42 °С в

Могилеве, при этом расчетные годовые амплитуды их колебаний составляют от 92 °С в Гомеле до 98 °С в Могилеве [5].

Как видно, расчетные температуры рельсов на Белорусской железной дороге варьируются незначительно, поэтому температурная работа рельсовых плетей и уравнильных пролетов бесстыкового пути будет практически одинаковой на всех дистанциях пути. Следовательно, величины участков «дыхания», годовых продольных деформаций и температурных продольных сил будут практически одинаковы.

Расчет по определению продольных деформаций по зависимостям (1)–(4) для условий Минской дистанции пути ($t_{\text{max}} = +55$ °С, $t_{\text{min}} = -39$ °С) при прямом и обратном ходах температур приведен соответственно в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Влияние температуры закрепления на продольные деформации при прямом ходе температур

t_3 , °С	Стыковое сопротивление, кН								
	R = 200			R = 300			R = 400		
	Деформации, мм			Деформации, мм			Деформации, мм		
	удлинение λ_1	укорочение λ_2	суммарные годовые $\Sigma\lambda$	удлинение λ_1	укорочение λ_2	суммарные годовые $\Sigma\lambda$	удлинение λ_1	укорочение λ_2	суммарные годовые $\Sigma\lambda$
+5	29,7	5,6	35,3	22,7	4,1	26,8	16,7	2,8	19,5
+10	22,7	7,3	30,3	16,7	5,6	22,3	11,6	4,1	15,7
+15	16,7	9,3	26,0	11,6	7,3	18,9	7,4	5,6	13,0
+20	11,6	11,6	23,2	7,4	9,3	16,7	4,2	7,3	11,5
+25	7,4	14,1	21,5	4,2	11,6	15,8	1,9	9,3	11,2
+30	4,2	16,8	21,0	1,9	14,1	16,0	0,5	11,6	12,1
+35	1,9	19,8	21,7	0,5	16,8	17,3	0	14,1	14,1
+40	0,5	23,0	23,5	0	19,8	19,8	0	16,8	16,8
+45	0	26,4	26,4	0	23,0	23,0	0	19,8	19,8
+50	0	30,1	30,1	0	26,4	26,4	0	23,0	23,0

Таблица 2 – Влияние температуры закрепления на продольные деформации при обратном ходе температур

t_3 , °С	Стыковое сопротивление, кН								
	R = 200			R = 300			R = 400		
	Деформации, мм			Деформации, мм			Деформации, мм		
	удлинение λ_1	укорочение λ_2	суммарные годовые $\Sigma\lambda$	удлинение λ_1	укорочение λ_2	суммарные годовые $\Sigma\lambda$	удлинение λ_1	укорочение λ_2	суммарные годовые $\Sigma\lambda$
+5	8,4	1,4	9,8	3,7	0,4	4,1	0,9	0	0,9
+10	5,8	2,0	7,8	2,1	0,9	3,0	0,2	0,2	0,4
+15	3,7	2,8	6,5	0,9	1,4	2,3	0	0,4	0,4
+20	2,1	3,7	5,8	0,2	2,0	2,2	0	0,9	0,9
+25	0,9	4,7	5,6	0	2,8	2,8	0	1,4	1,4
+30	0,2	5,9	6,1	0	3,7	3,7	0	2,0	2,0
+35	0	7,0	7,0	0	4,7	4,7	0	2,8	2,8
+40	0	8,4	8,4	0	5,9	5,9	0	3,7	3,7
+45	0	9,9	9,9	0	7,0	7,0	0	4,7	4,7
+50	0	11,5	11,5	0	8,4	8,4	0	5,9	5,9

Из таблицы 1 видно, что при стыковом сопротивлении 200 кН наибольшие удлинения конца рельсовой плети, закрепленной при +5 °С при прямом ходе температур, достигают 29,7 мм, а наименьшие – при +40 °С – 0,5 мм. В случае закрепления плетей при +45 °С продольные деформации плетей отсутствуют, т. к. преодоление пол-

ного стыкового сопротивления произойдет при температуре +55 °С, которая является максимальной для рассматриваемого района. Поэтому с повышением температуры закрепления более +40 °С продольные деформации уменьшаются до нуля.

Для указанного стыкового сопротивления укорочения рельсовых плетей с повышением их тем-

пературы закрепления возрастают. Так, если укорочения уложенных при +5 °С рельсовых плетей в момент наступления минимальной расчетной температуры составят лишь 5,6 мм, то в случае закрепления бесстыкового пути при +50 °С они достигают 30 мм, что довольно значительно, т. к. превышает величину конструктивного стыкового зазора.

Особый интерес представляет изучение суммарных годовых деформаций концов рельсовых плетей ($\Sigma\lambda$), которые при температуре закрепления +5 °С составляют более 35 мм и по мере ее повышения до +30 °С уменьшаются до 21 мм. Дальнейшее повышение температуры приводит к увеличению значений перемещений, достигающих 30 мм при +50 °С. Поэтому для минимизации продольных деформаций рельсовых плетей при стыковом сопротивлении, равном 200 кН, их закрепление при +30 °С и близких температурах является оптимальным.

С повышением стыкового сопротивления до 300 кН уменьшаются величины удлинений и укорочений при всех прочих равных условиях, однако закономерности формирования продольных деформаций остаются прежними. Как и в предыдущем случае, по мере увеличения температуры закрепления бесстыкового пути уменьшается величина удлинения рельсовых плетей и возрастает величина их укорочения.

При температуре закрепления бесстыкового пути +40 °С и выше удлинения рельсовых плетей отсутствуют. Годовые суммарные деформации плетей по мере увеличения температуры их закрепления уменьшаются с 26,8 до 15,8 мм, достигая минимума при температуре +25 °С. Дальнейшее ее повышение ведет к увеличению суммарных годовых деформаций. Следовательно, их минимальные значения будут наблюдаться при температуре закрепления +25 °С.

При стыковом сопротивлении 400 кН происходит дальнейшее снижение величин удлинения и укорочения рельсовых плетей. Как и в предыдущих случаях, с повышением температуры закрепления бесстыкового пути уменьшаются до нуля удлинения рельсовых плетей, а их укорочения возрастают до 23 мм. При этом удлинения плетей, уложенных при температуре +35 °С и выше, не наблюдаются. Минимальные суммарные годовые деформации рельсовых плетей, равные 11,2 мм, будут в случае их закрепления при температуре +25 °С. Поэтому закрепление при +25 °С для рассматриваемого стыкового сопротивления является оптимальным.

Таким образом, для прямого хода температур при принятых значениях стыкового сопротивления минимальные суммарные годовые деформации рельсовых плетей будут при их закреплении от +25 до +35 °С.

Анализ таблицы 2 показывает, что для стыкового сопротивления 200 кН наибольшие удлинения рельсовой плети, закрепленной при +5 °С, при обратном ходе температур превышают 8 мм, а при +35 °С становятся равными нулю. Укорочения рельсовой плети возрастают от 1,4 до 11,5 мм по мере увеличения температуры закрепления. Суммарные годовые деформации плетей, закрепленных при +5 °С, составляют почти 10 мм, и по мере увеличения температуры закрепления уменьшаются, достигая при +25 °С своего минимального значения, равного 5,6 мм. Дальнейшее повышение температуры закрепления приводит к увеличению годовых деформаций. Их минимальное значение соответствует температуре +25 °С, которую и следует принять за оптимальную.

Сопоставляя удлинения, укорочения и суммарные годовые деформации при прямом и обратном ходах температур, отмечаем, что при стыковом сопротивлении 200 кН они значительно (в 3–4 раза) отличаются друг от друга. Меньшие годовые деформации наблюдаются для обратного хода температур.

Для стыкового сопротивления 300 кН наибольшие удлинения рельсовых плетей, закрепленных при +5 °С, достигаются при обратном ходе температур (3,7 мм), а при +25 °С они становятся нулевыми. Укорочения возрастают с 0,4 до 8,4 мм по мере увеличения температуры закрепления. Суммарные годовые деформации при этом уменьшаются от 4,1 мм до минимального значения, равного 2,2 мм. При дальнейшем повышении температуры они снова увеличиваются до 8,4 мм. Минимальные годовые деформации рельсовых плетей соответствуют температуре +20 °С, которую для рассматриваемого случая можно считать оптимальной.

При стыковом сопротивлении 400 кН наибольшие удлинения рельсовых плетей, закрепленных при +5 °С, достигают 0,9 мм, уменьшаясь по мере повышения температуры закрепления. Величина укорочений, наоборот, возрастает до 5,9 мм. Суммарные годовые деформации плетей при этом уменьшаются до 0,4 мм, а затем вновь возрастают до 5,9 мм. Минимальные годовые деформации будут наблюдаться при температуре закрепления бесстыкового пути, равной +15 °С, которую и следует принимать за оптимальную для данного стыкового сопротивления.

Таким образом, оптимальный интервал температур закрепления для обратного хода температур составляет от +15 до +25 °С.

На рисунке 1 представлены зависимости суммарных годовых деформаций концов рельсовых плетей от температуры их закрепления для прямого и обратного ходов при различных значениях стыкового сопротивления.

На рисунке 1 изображены зависимости годовых деформаций концов рельсовых плетей, закрепленных в интервале от 5 до 50 °С, для прямого хода температур при стыковых сопротивлениях 200, 300 и 400 кН, которые имеют ярко выраженную вогнутую форму, позволяющую установить минимальное значение деформаций для указанных стыковых сопротивлений и соответствующую ему оптимальную температуру закрепления.

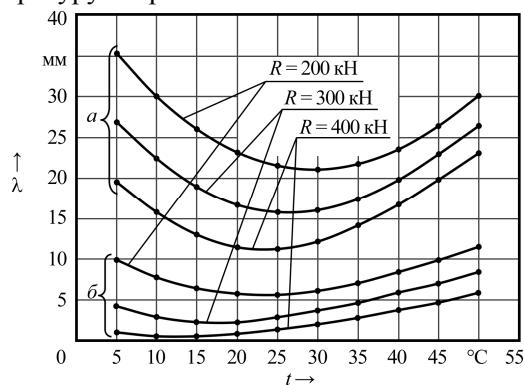


Рисунок 1 – Зависимость суммарных годовых деформаций концов рельсовых плетей от температуры их закрепления: а, б – соответственно при прямом и обратном ходах температур

Отметим, что уложить и закрепить плети при оптимальной температуре не представляется возможным практически, особенно в весенне-летний период при солнечной погоде, когда в течение одного часа температура рельса может измениться на 15–20 °С. Поэтому вместо термина «оптимальная температура» вводится «оптимальный интервал температур закрепления» [5], включающий в себя диапазон температур, при закреплении в котором обеспечивается необходимая устойчивость пути летом и целостность зимой и для каждого стыкового сопротивления определяются оптимальная температура и оптимальный интервал закрепления бесстыкового пути.

При обратном ходе температур для стыкового сопротивления величиной 200 кН оптимальная температура закрепления составляет +30 °С, для 300 кН – +25 °С и для 400 кН – ниже +25 °С. Как правило, интервал закрепления рельсовых плетей назначают равным 10 °С, а оптимальный – путем добавления к оптимальной температуре допуска ± 5 °С. Поэтому на основании результатов расчета и опыта эксплуатации на прямых и пологих кривых в условиях Белорусской железной дороги можно рекомендовать укладывать бесстыковой путь в оптимальном интервале от +25 до +35 °С. Это позволит минимизировать годовые деформации концов рельсовых плетей и оптимизировать

Получено 10.11.2008

V. I. Matvecov, A. A. Kebikov, N. E. Miroshnikov. The analysis of longitudinal deformations and definition of the optimum interval of the continuous welded rail track fastening.

The technique of analytical calculation of longitudinal deformations of the continuous welded rail track in view of influence of temperature of fastening and gap resistance is stated. The optimum interval of temperatures of fastening for conditions of the Belarussian railway is confirmed and recommendations on its setting are given at various sizes of gap resistance with which increase is reduction of total annual rail deformations is observed. It promotes improvement of operating conditions of leveling span and decrease in a level of influence of a rolling stock on a track. Therefore maintenance high gap resistance is one of the basic requirements providing operation continuous welded rail track without temperature relaxations. Alongside with increase of its efficiency thus the temperature work of welded rail is not broken and the level of traffic safety of trains is raises.

температурную работу уравнительного пролета в зимнее время.

В крутых кривых и при высокоскоростном движении может потребоваться корректировка оптимального интервала закрепления. Оптимальную температуру следует назначать несколько ближе к верхней границе расчетного интервала закрепления. Запас сжимающих сил по устойчивости пути должен быть больше запаса растягивающих сил по прочности рельсов.

В кривых малого радиуса интервал закрепления рельсовых плетей целесообразно назначать от +30 до +40 или от +30 до +35 °С, т. е. для обеспечения надежности бесстыкового пути летом необходимо выходить за пределы оптимального интервала температур закрепления. При этом во избежание осложнений зимой (среза болтов и разрыва стыков в зоне уравнительного пролета) потребуются укладывать на зиму удлиненные уравнительные рельсы с последующей заменой их весной на стандартные или укороченные.

Таким образом, с увеличением стыкового сопротивления отмечается снижение суммарных годовых температурных деформаций рельсовых плетей и уравнительных рельсов, что уменьшает раскрытие стыкового зазора в пределах конструктивного. При этом улучшаются условия температурной работы уравнительного пролета и снижается воздействие на путь от подвижного состава, а также исключается и необходимость замены уравнительных рельсов на удлиненные или укороченные. Наряду с повышением эффективности бесстыкового пути при этом не нарушается температурный режим работы рельсовых плетей и повышается уровень безопасности движения поездов.

Список литературы

- 1 **Новакович, В. И.** Проблемы и перспективы развития бесстыкового пути / В. И. Новакович // Путь и путевое хозяйство. – 2008. – № 8. – С. 8–11.
- 2 Бесстыковой путь / В. Г. Альбрехт [и др.] ; под общ. ред. В. Г. Альбрехта, А. Я. Когана. – М. : Транспорт, 2000. – 408 с.
- 3 **Коган, А. Я.** Устойчивость бесстыкового пути при различных конструкциях скреплений и условиях их эксплуатации / А. Я. Коган, А. В. Лебедев // Вестник ВНИИЖТа. – 2007. – № 2. – С. 3–9.
- 4 Управлять температурой закрепления рельсовых плетей / Г. Г. Жулев [и др.] // Путь и путевое хозяйство. – 2008. – № 7. – С. 8–9.
- 5 Технические указания по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути на Белорусской железной дороге : [утв. приказом № 199 НЗ Бел. ж. д. от 13.04.2004]. – Минск : Белорусская ж. д., 2004. – 80 с.