

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 625.31.001.24

ОБ УСЛОВИЯХ УКЛАДКИ
ТЕМПЕРАТУРНО-НАПРЯЖЕННОГО ПУТИ
В КРИВЫХ ЛЕСОВОЗНЫХ УЖД

С. И. МОРОЗОВ, А. В. ЯРОСЬ

Архангельский лесотехнический институт

В статье рассматриваются условия назначения минимальных и максимальных температур укладки рельсовых плетей в кривых малых радиусов (600 м и менее) для верхнего строения пути УЖД.

Основные теоретические предпосылки расчета приведены в работе [1]. Они состоят в том, что во всем годовом диапазоне изменения температуры должна быть обеспечена необходимая прочность пути и устойчивость рельсошпальной решетки против выброса.

Расчет на прочность выполняют по методике [2]. По его результатам определяют максимальные кромочные напряжения в головке рельса летом σ_r и в подошве рельса зимой $\sigma_{п.з}$. Затем вычисляют допустимые изменения температуры рельса:

по прочности подошвы в зимних условиях

$$\Delta t_p = \frac{[\sigma] - k_n \sigma_{п.з}}{E\alpha}; \quad (1)$$

по прочности головки рельса в летних условиях

$$\Delta t_c = \frac{[\sigma] - k_n \sigma_r}{E\alpha}, \quad (2)$$

где $[\sigma]$ — условный предел текучести рельсовой стали, для рельсов узкой колеи $[\sigma] = 255 \dots 350$ МПа;

k_n — коэффициент запаса прочности, $k_n = 1,0 \dots 1,3$;

E, α — модуль упругости для стали и ее температурный коэффициент, произведение $E\alpha = 236$ Н/(см² · град).

Затем находят минимальную температуру укладки рельсовой плети по прочности головки рельса в летних условиях

$$t_{y, \min} = t_{p, \max} - \Delta t_c, \quad (3)$$

и максимальную температуру укладки по прочности подошвы рельса в зимних условиях

$$t_{y, \max} = t_{p, \min} + \Delta t_p, \quad (4)$$

где $t_{p, \max}, t_{p, \min}$ — максимальная и минимальная температура рельса по данным многолетних наблюдений.

Таким образом, расчет температур укладки по прочности рельсов сравнительно прост и обычно не вызывает больших затруднений. Однако минимальную температуру укладки следует определить также и по условиям устойчивости рельсошпальной решетки против выброса

$$t_{y, \min y} = t_{p, \max} - \frac{vP_T}{2E\alpha\omega}, \quad (5)$$

где v — коэффициент уширения балластной призмы,

$$v = 0,7 - 0,01417h + 0,001875h^2 - 0,000021h^3;$$

h — плечо балластной призмы, см;

P_T — расчетная температурная сжимающая сила,

$$P_T = P_{кр} + \Delta P;$$

$P_{кр}$ — критическая сила (сжимающая сила на момент выброса рельсошпальной решетки);

ΔP — разрядка продольной силы из-за поперечного сдвига рельсошпальной решетки в кривой радиусом R ,

$$\Delta P = \frac{E\omega f_1}{R},$$

f_1 — стрела поперечного сдвига участка пути в кривой.

Значения величин $P_{кр}$ и f_1 можно определить при решении системы уравнений

$$P_{кр_1} = 27,287 \sqrt{\frac{2CNI [(f_1 + 0,5589f_{0R})^a - f_1^a]}{f_{0R}}}; \quad (6a)$$

$$P_{кр_2} = NR(Q_0 + Cf_1^a) \cdot 10^{-5}, \quad (6b)$$

где C , a , Q_0 — параметры экспериментальной зависимости силы сопротивления балласта поперечному сдвигу шпал. Для различных типов балласта их значения приведены в работе [1];

N — число шпал на 1 км пути;

I — момент инерции поперечного сечения рельса при изгибе его в горизонтальной плоскости;

f_{0R} — расчетная стрела прогиба начальной неровности оси рельсошпальной решетки в кривой заданного радиуса.

Для определения величины f_{0R} используются следующие выражения:

$$f_0 = 10,63 \sqrt[3]{\frac{I}{N(Q_0 + Cf_0^a)}}; \quad (7)$$

$$f_{0R} = f_0 - \frac{f_0 - 0,1}{1500} (R - 2000). \quad (8)$$

При вычислении f_0 и f_{0R} значения величин имеют следующую размерность: I — см⁴, Q_0 , C — Н, R — м, f_0 и f_{0R} — см.

Формула (8) справедлива при изменении R от 50 до 2000 м. Если $R > 2000$ м, то $f_{0R} = f_0$.

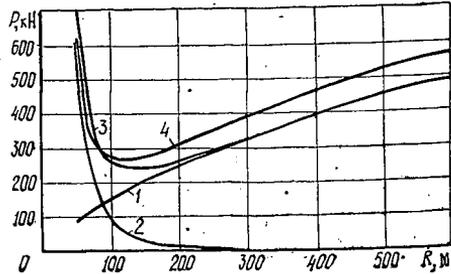
Для кривых очень малых радиусов значение f_{0R} может оказаться равным нулю или отрицательным. В этом случае силу $P_{кр_1}$ определяют по уравнению

$$P_{кр_1} = 20,4 \sqrt{2CNI f_1^{a-1}}. \quad (6')$$

При вычислении $P_{кр}$ сначала по уравнению (7) методом итераций находят f_0 , затем f_{0R} и, наконец, решив совместно систему уравнений (6), — $P_{кр}$ и f_1 . Процесс вычислений легко поддается программированию и не требует больших затрат времени.

Результаты вычислений для участка пути, уложенного рельсами Р24, деревянными шпалами типа ПА (1625 шт. на 1 км) на песчаном среднезернистом балласте, приведены на рис. 1. Зависимость $P_{кр}$ от R

Рис. 1. Зависимость изменения продольных сил от радиуса кривых: 1 — $P_{кр}(R)$; 2 — $\Delta P(R)$; 3, 4 — $P_T(R)$ при N , равном 1625 и 2000 шп. на 1 км



имеет параболический вид и с высокой точностью аппроксимируется полиномом вида

$$P_{кр} = a_1 + a_2 R + a_3 R^2, \quad (9)$$

где a_1, a_2, a_3 — коэффициенты, значения которых приведены в табл. 1.

Зависимость ΔP от R имеет гиперболический вид и хорошо аппроксимируется уравнением

$$\Delta P = b_1 + b_2/R + b_3/R^2 + b_4/R^3, \quad (10)$$

коэффициенты которого приведены в табл. 2. При использовании формул (9) и (10) размерность R — м, $P_{кр}$ и ΔP — кН.

Силу P_T находят суммированием $P_{кр}$ и ΔP . График зависимости P_T от R имеет вид пологой кривой с минимумом около $R = 135$ м. Для больших или меньших значений R сила P_T увеличивается. Она велика при очень малых радиусах (за счет разрядки температурных сил), а при $R = 300 \dots 600$ м близка к $P_{кр}$, так как $\Delta P \approx 0$.

Уравнения (9) и (10) более удобны для вычислений, чем система уравнений (6), однако они применимы только для приведенных в табл. 1 конструкций верхнего строения пути. При определении сил $P_{кр}$ и ΔP для других конструкций пути следует использовать систему (6).

Зависимости P_T от числа шпал на 1 км пути показаны на рис. 2. При достаточно больших радиусах кривых с увеличением N сила P_T также возрастает, а при малых значениях R уменьшается. Последнее объясняется разным характером зависимости $P_{кр}$ и ΔP от N (первая сила увеличивается, вторая уменьшается). Интенсивность изменения этих слагаемых и влияет на конечный результат.

На рис. 1 приведены две зависимости P_T от R : для $N = 1625$ и $N = 2000$ шп. на 1 км. При $R < 100$ м они практически сливаются, при $R > 100$ м расходятся.

Однако увеличение числа шпал примерно на 23 % не приводит к существенному возрастанию температурной силы. К тому же оно сопряжено с дополнительным расходом древесины. Для повышения устойчивости рельсошпальной решетки против выброса более предпочтительно увеличение плеча балластной призмы.

Для большинства конструкций пути лесовозных УЖД, встречающихся на практике, $t_{y \min п} < t_{y \min у}$, т. е. применение температурно-напряженного пути ограничивается по устойчивости рельсошпальной решетки.

В табл. 2 приведены значения максимальных $t_{y \max}$ и минимальных $t_{y \min}$ температур укладки для следующих условий: тип рельса — Р24; тип шпал — ПА; число шпал на 1 км — 1625; тип балласта — среднезернистый свежеуложенный песок; тепловоз — ТУ7; скорость движения — 20 км/ч; максимальная температура рельса 54 °С; минимальная — 47 °С.

Таблица 1

Тип балласта	Коэффициенты полинома							
	a_1	a_2	a_3	b_1	b_2	b_3	b_4	
Песок: мелкозернистый	21,5366	0,96719	-0,0005960	—	—	—	—	
	34,5968	1,04968	-0,0005581	1,8363	-1839,644	437 446	75 254 675	
	53,8734	1,12299	-0,0006766	2,2055	-2276,443	722 236	61 762 228	
	57,8651	1,29086	-0,0007368	2,2177	-2116,877	491 568	62 155 048	
	112,2736	1,14994	-0,0007396	3,4183	-3387,899	1 053 411	50 409 839	
среднезернистый	189,0746	2,21192	-0,0016081	1,6158	-1661,905	528 538	26 922 506	
	120,0349	1,70313	-0,0011558	1,9430	-1982,937	618 651	38 061 029	
крупнозернистый	190,1823	2,11653	-0,0015194	1,7785	-1812,593	560 171	27 953 643	
	85,3774	1,49764	-0,0009733	1,9251	-1981,327	618 438	45 436 101	
Гравий: 1 сорта	140,9442	1,88600	-0,0013117	1,8144	-1854,741	577 886	33 640 859	
	71,5592	1,21898	-0,0007309	2,6539	-2597,732	713 882	59 337 988	
2 »	104,4505	1,32460	-0,0008228	3,0227	-2923,552	798 807	50 340 297	
Щебень								

Примечание. В числителе — данные для свежесушеного балласта; в знаменателе — для плотного.

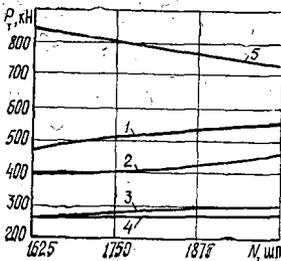


Рис. 2. Зависимость температурной силы от числа шпал на 1 км пути при R, равном 600 (1), 400 (2), 200 (3), 100 (4) и 50 м (5)

Таблица 2

R, м	P _{кр}	ΔP	P _т	t _{y max} , °C	t _{y min} , °C, при ширине плеча, см				
					20	30	40	50	60
					кН				
600	486,64	0,46	487,10	51,1	22,4	10,0	-2,5	-10,8	-11,1
500	445,33	0,95	446,28	50,8	25,1	13,7	2,3	-5,4	-5,7
400	398,12	2,08	395,20	44,4	28,4	18,3	8,2	1,4	1,2
300	329,57	5,15	334,72	34,8	32,3	23,7	15,2	9,5	9,2
200	253,62	16,67	270,29	25,4	36,5	29,6	22,7	18,0	17,9
150	209,92	37,19	247,11	21,7	38,0	31,7	25,6	21,1	21,0
100	160,72	113,07	273,79	19,2	36,3	29,2	22,3	17,6	17,4
75	133,04	247,14	380,18	18,5	29,4	19,6	9,9	3,4	3,2
50	102,05	739,59	841,64	18,8	1,2	-22,0	-43,6	-58,0	-58,5

Эти данные позволяют сделать следующие выводы.

1. Максимальная температура укладки монотонно снижается по мере уменьшения радиусов кривых. При $B \geq 300$ м она имеет высокие значения, что расширяет диапазон времени суток, необходимого для укладки сварных плетей. При очень малых радиусах $t_{y \max}$ невелика, что существенно ограничивает это время.

2. Минимальная температура укладки существенно зависит от плеча балластной призмы h и обратно пропорциональна ей.

3. Для удобства производства работ по укладке сварного пути необходимо выполнение условия

$$t_{y \max} - t_{y \min} \geq 10^\circ \text{C}. \quad (11)$$

При $h = 20$ см этому условию отвечают кривые радиусом 400 м и выше, а также 50 м. Для того чтобы можно было уложить сварную плеть на кривой радиусом 300 м, имеем $h \geq 30$ см, на кривой радиусом 75 м — $h \geq 40$ см.

На кривых радиусами 100...200 м условие (11) при любом значении ширины балластной призмы не выполняется. Следовательно, необходимо рассмотреть возможность увеличения устойчивости рельсошпальной решетки за счет укладки шпал по эююре 1750...2000 шп./км.

Дополнительным анализом установлено, что укладка сварных рельсовых плетей на кривых очень малых радиусов возможна при следующих значениях h и N (табл. 3).

Таблица 3

R, м	N, шп. на 1 км	h, см	t _{y max}	t _{y min}	t _{y max} - t _{y min}
					°C
200	1750	50	28,1	16,0	12,1
175	1875	50	28,6	16,4	12,2
150	2000	50	29,2	16,7	12,5
125	2000	60	27,9	17,6	10,3
100	2000	60	27,0	15,9	11,1

Выше было отмечено, что в диапазоне радиусов 100...200 м увеличение N мало влияет на значение силы P_t , т. е. на $t_{y \min}$. Однако с ростом N повышается $t_{y \max}$, поэтому диапазон температур $t_{y \max} - t_{y \min}$ возрастает, что делает возможным укладку плетей и на кривых очень малых радиусов.

4. Используя данные табл. 2, можно обоснованно решать вопрос о требуемой ширине балластной призмы. Например, для кривой ра-