

Курсов проект по “Стоманени мостове” – ЖС4.

**Проверки за умора на напречната греда от
пътната конструкция**

д-р инж. Лазар Димитров Георгиев

Проверки за умора на напречната греда на пътната конструкция

σ_{\max} - максимално напрежение на цикъла

σ_{\min} - минимално напрежение на цикъла

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \text{ ; - средно напрежение}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \text{ ; - амплитуда на изменение на напреженията}$$

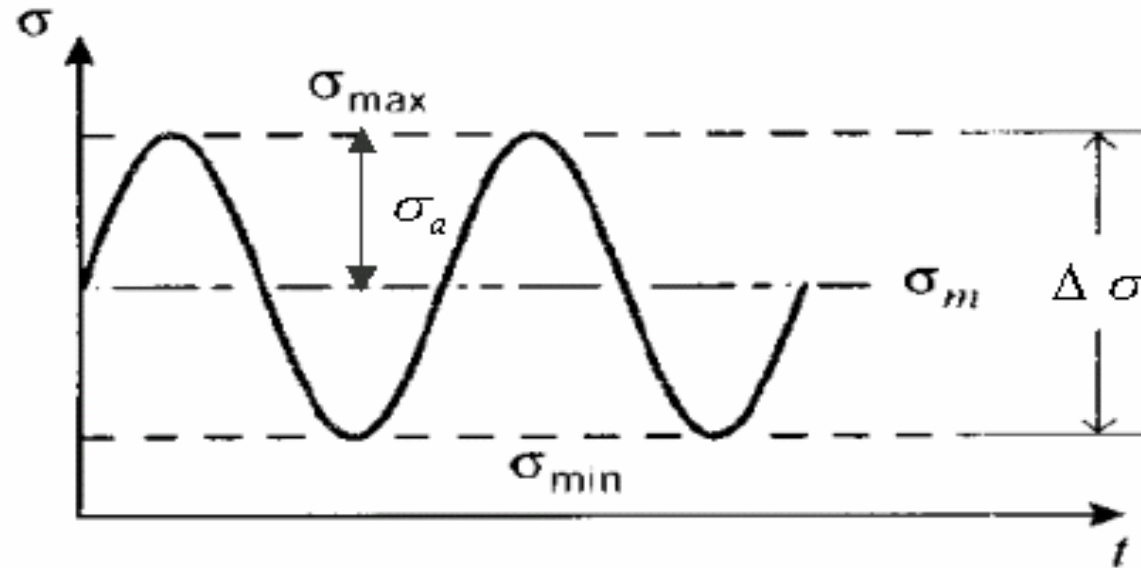
$\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$; - диапазон на изменение на напреженията

$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \text{ ; - коефициент на вариация}$$

$$A = \frac{\sigma_a}{\sigma_m}$$

$$A = \frac{1 - R}{1 + R}$$

$$R = \frac{1 - A}{1 + A}$$



Проверки за умора на напречната греда на пътната конструкция

$$\gamma_{Ff} \lambda \Phi_2 \Delta \sigma_{LM71} \leq \frac{\Delta \sigma_c}{\gamma_{Mf}};$$

$$\Phi_2 = 1 + \frac{1}{2} \left(\varphi' + \frac{1}{2} \varphi'' \right); \text{ динамичен коефициент за умора на материала}$$

$$K = \begin{cases} \frac{v}{160}; & L_\phi \leq 20m; \\ \frac{v}{47,16 L_\phi^{0,408}}; & L_\phi > 20m; \end{cases}$$

$L_\phi [m]$ - детерминистична дължина

$v [m/s]$ - максимална разрешена скорост на возилата

$$v = 44,4 m/s = 160 km/h;$$

$$\varphi' = \frac{K}{1 - K + K^4};$$

$$\varphi'' = 0,56 e^{-\frac{L_\phi^2}{100}}; \quad e = \ln(1) = 2.71828182846$$

$\gamma_{Ff} = 1,10$ частен коефициент на сигурност за натоварване при проверки на умора

$\gamma_{Mf} = 1,15$ частен коефициент на сигурност за носимоспособност при проверки на умора

Проверки за умора на напречната греда на пътната конструкция

Определяне на детерминистичната дължина L_{Φ} [m] - prEN1991-2

Case	Structural element	Determinant length L_{Φ}
Steel deck plate: closed deck with ballast bed (orthotropic deck plate) (for local and transverse stresses)		
	Deck with cross girders and continuous longitudinal ribs:	
1.1	Deck plate (for both directions)	3 times cross girder spacing
1.2	Continuous longitudinal ribs (including small cantilevers up to 0,50 m) ^a	3 times cross girder spacing
1.3	Cross girders	<u>Twice the length of the cross girder</u>
1.4	End cross girders	3.6m ^b
	Deck plate with cross girders only:	
2.1	Deck plate (for both directions)	Twice cross girder spacing + 3 m
2.2	Cross girders	Twice cross girder spacing + 3 m
2.3	End cross girders	3.6m ^b

Проверки за умора на напречната гредна на пътната конструкция

$$\lambda = \min \left(\prod_{i=1}^4 \lambda_i, \lambda_{\max} \right); \text{ коефициент за еквивалентност на повредата}; \lambda_{\max} = 1,4$$

λ_1 - коефициент отчитащ вида на гредата и вида на трафика

Table 9.3: λ_1 values for standard rail traffic

L	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6	Type 7	Type 8	EC Mix
0,5	1,38	1,27	1,31	1,50	1,62	1,65	<u>1,69</u>	1,65	1,60
1,0	1,38	1,27	1,31	1,50	1,62	1,65	<u>1,69</u>	1,65	1,60
1,5	1,38	1,27	1,31	1,50	1,62	1,65	<u>1,69</u>	1,65	1,60
2,0	1,37	1,26	1,31	1,49	1,35	1,46	1,53	<u>1,64</u>	1,46
2,5	1,17	1,23	1,28	1,46	1,29	1,39	1,44	<u>1,60</u>	1,38
3,0	1,05	1,19	1,25	1,42	1,25	1,35	1,4	<u>1,56</u>	1,35
3,5	0,94	1,02	1,12	1,16	1,12	1,18	1,17	<u>1,40</u>	1,17
4,0	0,81	0,82	0,96	1,00	1,15	1,08	1,05	<u>1,20</u>	1,07
4,5	0,77	0,73	0,88	0,91	<u>1,14</u>	1,07	1,04	0,97	1,02
5,0	0,86	0,69	0,80	0,86	<u>1,16</u>	1,07	1,05	0,93	1,03
6,0	0,97	0,63	0,79	0,79	<u>1,12</u>	1,07	1,07	0,78	1,03
7,0	0,98	0,57	0,79	0,82	0,96	1,04	<u>1,07</u>	0,79	0,97
8,0	0,92	0,55	0,77	0,83	0,85	1,01	<u>1,06</u>	0,73	0,92
9,0	0,88	0,56	0,74	0,83	0,77	0,96	<u>1,05</u>	0,68	0,88
10,0	0,85	0,56	0,72	0,83	0,66	0,91	<u>1,04</u>	0,65	0,85
12,5	0,79	0,55	0,73	0,78	0,52	0,89	<u>1,00</u>	0,60	0,82
15,0	0,75	0,56	0,73	0,77	0,51	0,81	<u>0,91</u>	0,59	0,76
17,5	<u>0,74</u>	0,56	0,73	0,68	0,53	0,72	<u>0,80</u>	0,58	0,70
20,0	<u>0,74</u>	0,55	0,68	0,66	0,55	0,72	0,70	0,58	0,67
25,0	<u>0,76</u>	0,59	0,56	0,58	0,59	0,69	0,68	0,60	0,66
30,0	<u>0,77</u>	0,60	0,50	0,53	0,60	0,65	0,69	0,63	0,65
35,0	<u>0,76</u>	0,58	0,49	0,51	0,63	0,62	0,68	0,65	0,64
40,0	<u>0,73</u>	0,56	0,47	0,50	0,66	0,62	0,68	0,65	0,64
45,0	<u>0,70</u>	0,53	0,45	0,49	0,68	0,61	0,68	0,65	0,64
50,0	0,68	0,51	0,43	0,48	<u>0,70</u>	0,60	0,69	0,65	0,63
60,0	0,64	0,47	0,41	0,47	<u>0,73</u>	0,57	0,68	0,64	0,63
70,0	0,61	0,45	0,40	0,45	<u>0,75</u>	0,56	0,67	0,63	0,62
80,0	0,57	0,43	0,38	0,42	<u>0,76</u>	0,53	0,67	0,62	0,61
90,0	0,53	0,40	0,36	0,41	<u>0,77</u>	0,52	0,67	0,62	0,61
100	0,51	0,38	0,36	0,39	<u>0,77</u>	0,51	0,67	0,62	0,60

Table 9.4: λ_1 values for express multiple units and underground and for rail traffic with 25 t axles

L	Express multiple units and underground		Rail traffic with 25 t axles				
	Type 9	Type 10	Type 5	Type 6	Type 11	Type 12	25 t Mix
0,5	0,97	1,00	1,62	1,65	1,83	<u>1,79</u>	1,65
1,0	0,97	1,00	1,62	1,65	1,83	<u>1,79</u>	1,65
1,5	0,97	1,00	1,62	1,65	1,83	<u>1,79</u>	1,65
2,0	0,97	0,99	1,35	1,46	1,81	<u>1,78</u>	1,64
2,5	0,95	0,97	1,29	1,39	1,56	<u>1,74</u>	1,55
3,0	0,85	0,94	1,25	1,35	1,51	<u>1,69</u>	1,51
3,5	0,76	0,85	1,12	1,18	1,21	<u>1,57</u>	1,31
4,0	0,65	0,71	1,15	1,08	1,04	<u>1,30</u>	1,16
4,5	0,59	0,65	<u>1,14</u>	1,07	1,05	1,05	1,08
5,0	0,55	0,62	<u>1,16</u>	1,07	1,07	1,00	1,07
6,0	0,58	0,63	<u>1,12</u>	1,07	1,10	0,87	1,04
7,0	0,58	0,60	0,96	1,04	<u>1,15</u>	0,77	1,02
8,0	0,56	0,60	0,85	1,01	<u>1,14</u>	0,71	0,99
9,0	0,56	0,55	0,77	0,96	<u>1,13</u>	0,67	0,96
10,0	0,56	0,51	0,66	0,91	<u>1,12</u>	0,64	0,93
12,5	0,55	0,47	0,52	0,89	<u>1,07</u>	0,60	0,90
15,0	0,50	0,44	0,51	0,81	<u>0,99</u>	0,59	0,92
17,5	0,46	0,44	0,53	0,72	<u>0,85</u>	0,58	0,73
20,0	0,44	0,43	0,55	0,72	<u>0,76</u>	0,58	0,68
25,0	0,40	0,41	0,59	0,69	0,67	0,59	0,65
30,0	0,37	0,42	0,60	0,65	0,68	0,62	0,64
35,0	0,36	0,44	0,63	0,62	0,68	0,65	0,65
40,0	0,35	0,46	0,66	0,62	0,68	0,65	0,65
45,0	0,35	0,47	0,68	0,61	0,69	0,65	0,65
50,0	0,36	0,48	<u>0,70</u>	0,60	0,70	0,65	0,66
60,0	0,39	0,48	<u>0,73</u>	0,57	0,69	0,65	0,66
70,0	0,40	0,49	<u>0,75</u>	0,56	0,69	0,65	0,66
80,0	0,39	0,49	<u>0,76</u>	0,53	0,70	0,65	0,66
90,0	0,39	0,48	<u>0,77</u>	0,52	0,70	0,65	0,66
100,0	0,40	0,48	<u>0,77</u>	0,51	0,70	0,65	0,66

Проверки за умора на напречната греда на пътната конструкция

(4) In determining λ_{\perp} the span length should be taken as follows:

a) for moments:

- for a simply supported span, the span length, L ;
- for continuous spans, the span length, L , for the span under consideration and the mean of the concerned spans for the support section, see Figure 9.3;
- for cross-girders supporting rail bearers (or stiffeners), the sum of the spans of the rail-bearers (or stiffeners) carried by the cross-girder;
- for a deck plate supported by cross-girders or cross-ribs only (no longitudinal members) and for those supporting cross-members, the length of the influence line for deflection (ignoring any part indicating upward deflection), taking due account of the stiffness of the rails in load distribution. For cross-members spaced not more than 750 mm apart, this may be taken as $2 \times \text{cross-member-spacing} + 3 \text{ m}$.

b) for shear for a simply-supported span (and, as an approximation, for a continuous span):

- for the support section, see Figure 9.3 the span under consideration L_i ;
- for the mid-span section, $0,4 \times$ the span under consideration L_i ;

c) in other cases:

- the same as for moments.

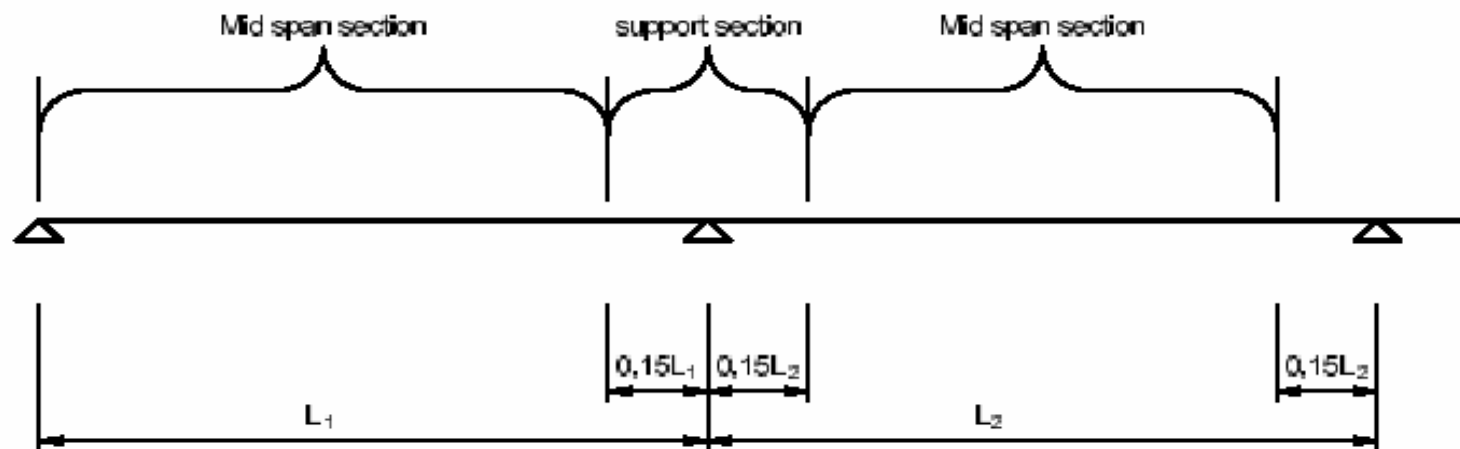


Figure 9.3: Areas where midspan section or support section apply

Проверки за умора на напречната греда на пътната конструкция

The values λ_2

Table 9.5: Values of λ_2 in terms of annual volume of traffic

Traffic per year [10^6 t/track]	5	10	15	20	25	30	35	40	50
λ_2	0,72	0,83	0,90	0,96	1,00	1,04	1,07	1,10	1,15

The values λ_3

Table 9.6: Values of λ_3 in terms of the design life of the structure

Design life [years]	50	60	70	80	90	100	120
λ_3	0,87	0,90	0,93	0,96	0,98	1,00	1,04

Проверки за умора на напречната греда на пътната конструкция

λ_4 - отчита натоварване от повече от един коловоз

Table 9.7: Values of λ_4

$\Delta\sigma_1/\Delta\sigma_{1+2}$	1,00	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50
λ_4	1,00	0,91	0,84	0,77	0,72	0,71
Key: $\Delta\sigma_1$ is the stress range at the section to be checked due to load model 1 on one track; $\Delta\sigma_{1+2}$ is the stress range at the same section due to load model 71 according to EN 1991-2 on any two tracks.						

$$\lambda_1 = f(L_{\text{нп.гр.}}; \text{EC Mix})$$

$$\lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = 1,0$$

Проверки за умора на напречната греда на пътната конструкция

Якостта на умора според Eurocode 3 се дефинира чрез серия от 14 S-N криви получени от статистическа обработка на експериментални резултати за различни видове детайли с 25% осигуреност спрямо 95% вероятност да не настъпи разрушаване на съответния детайл.

$\Delta\sigma_c$ [N/mm²]- диапазон на изменение на напреженията при който настъпва разрушаване за $N_c=2 \cdot 10^6$ цикъла се нарича категория на детайла

$$(\Delta\sigma_R)^m N_R = (\Delta\sigma_C)^m 2 \cdot 10^6;$$

$$N_R \leq 5 \cdot 10^6; m = 3;$$

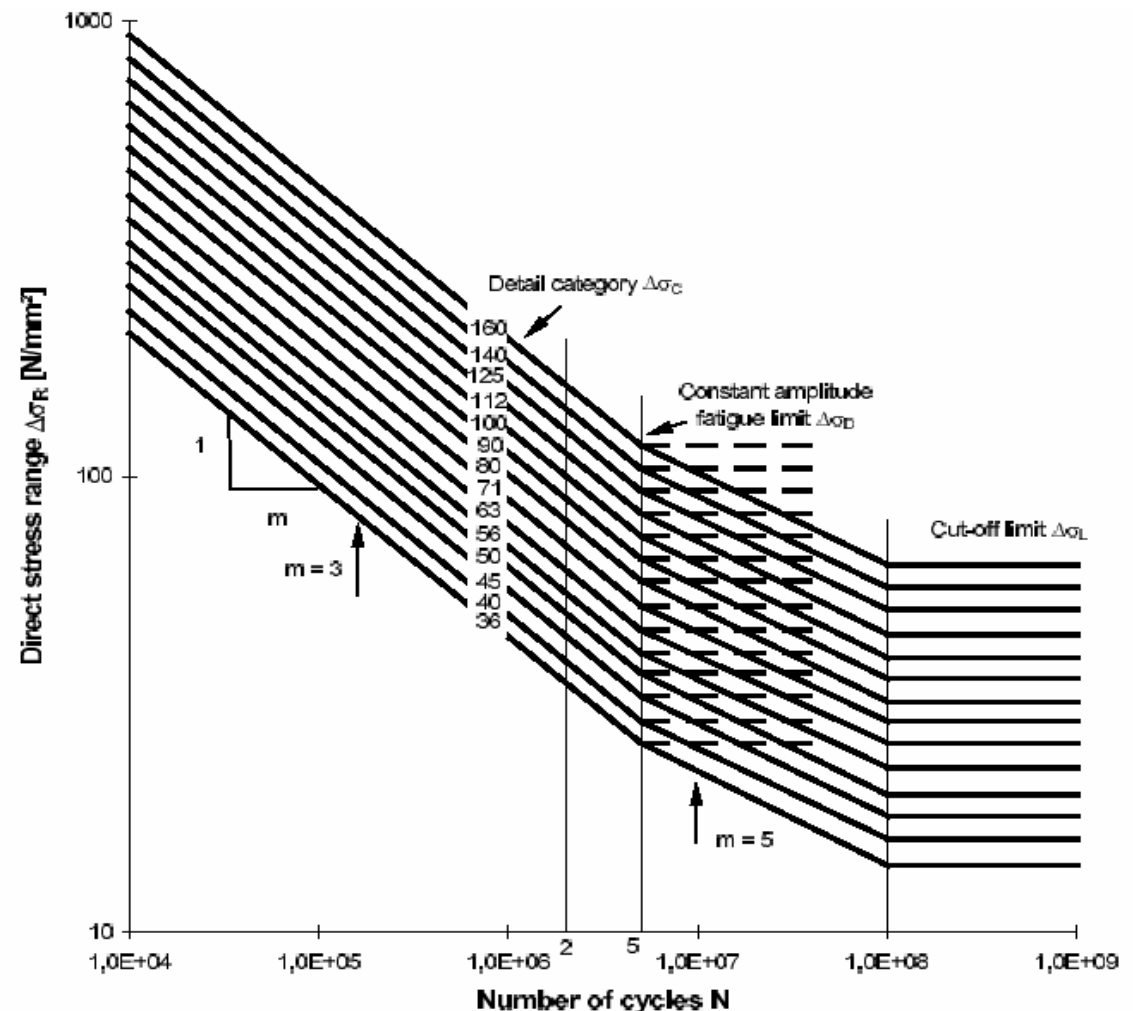
$$\log(N_R) = \log(a) - m \log(\Delta\sigma_R); \text{ S-N}$$

$$(\Delta\sigma_R)^m N_R = (\Delta\sigma_D)^m 5 \cdot 10^6;$$

$$5 \cdot 10^6 \leq N_R \leq 10^8; m = 5;$$

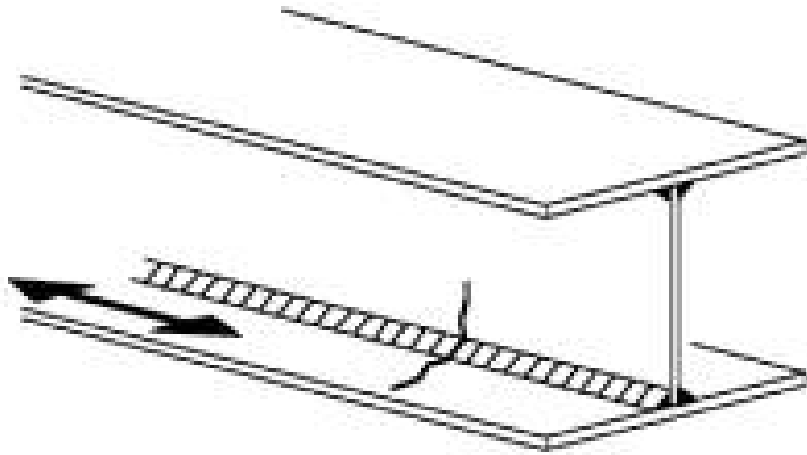
Граница на умора $N_R = 10^8$;

$$\Delta\sigma_L = \left(\frac{5}{100}\right)^{\frac{1}{5}} \Delta\sigma_D = \left(\frac{5}{100}\right)^{\frac{1}{5}} \left(\frac{2}{5}\right)^{\frac{1}{3}} \Delta\sigma_C;$$



Проверки за умора на напречната греда на пътната конструкция

1. Проверка на умора за възникване на напречна пукнатина вследствие на нормални напрежения по долния пояс и стеблото на напречната греда.
Детайлът е категория 100



$$\Delta\sigma_c = 100 \text{ MPa} = 10 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2};$$

$$\Delta\sigma_{LM71} = \frac{\max M_{LM71}}{W_{eff,w,inf}};$$

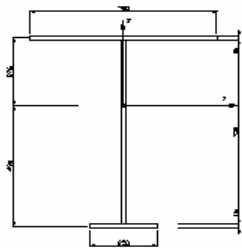
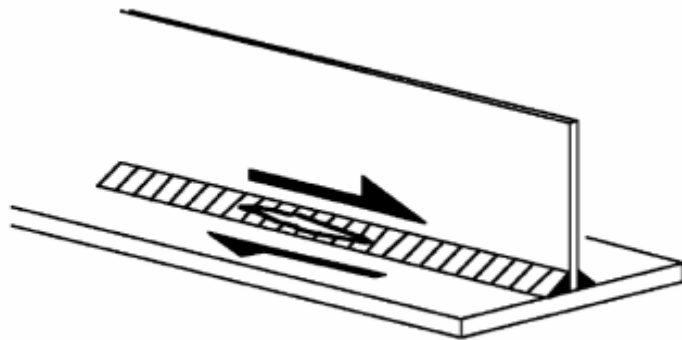
$$W_{eff,w,inf} = \frac{I_{eff}}{z_{w,inf}};$$

I_{eff} – инерционен момент за ефективното сечение, с отчитане на частта от стеблото, изрязана за преминаване на надлъжното ребро, където е определен $\max M_{LM71}$;

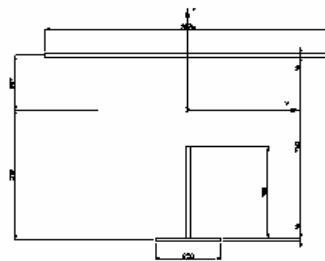
$$\gamma_{Ff} \lambda \Phi_2 \Delta\sigma_{LM71} \leq \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}};$$

Проверки за умора на напречната греда на пътната конструкция

2. Проверка на умора за развитие на надлъжна пукнатина в заваръчния шев между долния пояс и стеблото на напречната греда.



сечение при опората



сечение на $x = \dots$ mm

$a = 7 \text{ mm}$ дебелина на заваръчния шев

$$\Delta\tau_c = 80 \text{ MPa} = 8,0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2};$$

$$\Delta\tau_{LM71,0} = \frac{\max Q_{LM71} S_{f,inf,0}}{2a I_{eff,y,0}};$$

$$\Delta\tau_{LM71,1} = \frac{Q_{LM71}^{1-1} S_{f,inf,1}}{2a I_{eff,y,1}};$$

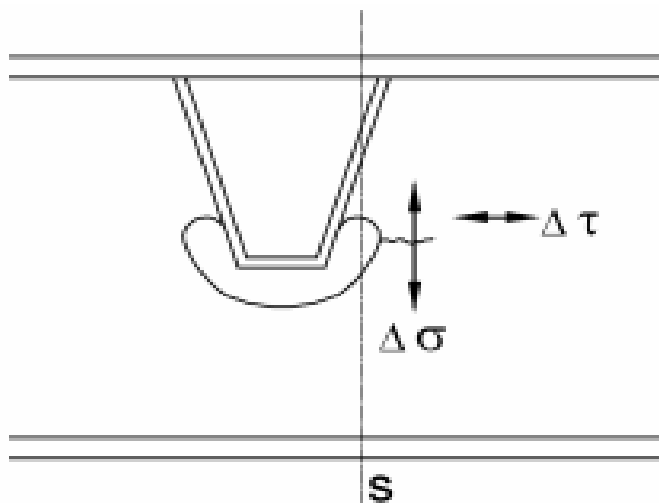
$\Delta\tau_{LM71,0}$ - за сечението при опората

$\Delta\tau_{LM71,1}$ - за сечение на $x = \dots$ при трапецовидно надлъжно ребро

$$\gamma_{Ff} \lambda \Phi_2 \max \{ \Delta\tau_{LM71,0}; \Delta\tau_{LM71,1} \} \leq \frac{\Delta\tau_c}{\gamma_{Mf}};$$

Проверки за умора на напречната греда на пътната конструкция

3. Проверка на умора за развитие на пукнатина в зоната на изреза в стеблото на напречната греда в мястото на преминаване на надлъжните ребра.



$$\Delta\sigma_C = 36\text{MPa} = 3,6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2};$$

$$\Delta\sigma_{eq} = \frac{1}{2} \left(\Delta\sigma + \sqrt{\Delta\sigma^2 + 4\Delta\tau^2} \right);$$

$$\Delta\sigma = \frac{M_{T,LM71}}{W_{net,s}};$$

$$\Delta\tau = \frac{V_{\text{мочка1}}^{Sd,LM71}}{A_{net,s}};$$

$$\gamma_{Ff} \lambda \Phi_2 \Delta\sigma_{eq} \leq \frac{\Delta\sigma_C}{\gamma_{Mf}};$$