



УДК: 624.012.35
DOI: 10.52409/20731523_2022_3_14
EDN: ZMWQUF



Расчет прочности железобетонных шпал с учетом совместного деформирования с грунтовым основанием

Илизар Т. Мирсаяпов¹

¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* Железобетонные шпалы являются специальными конструкциями из-за сложной геометрии и повышенных требований к их трещиностойкости и выносливости. Необходимая трещиностойкость и выносливость обеспечиваются применением предварительно напряженной арматуры. Таким образом, совершенствование армирования железобетонных шпал и разработка методов их расчета является актуальной задачей. Цель исследования - на основе теоретических исследований разработать методы расчета выносливости и трещиностойкости железобетонных шпал с предварительно напряженной стержневой арматурой.

Результаты. Разработаны новые методы расчета выносливости и трещиностойкости железобетонных шпал с предварительно напряженной арматурой.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в том, что предложенные методы позволяют более точно оценивать выносливость и трещиностойкость железобетонных шпал с предварительно напряженной арматурой.

Ключевые слова: напряженная арматура, трещиностойкость, выносливость, железобетонные шпалы, ползучесть бетона, щебеночное основание.

Для цитирования: Мирсаяпов Илизар Т. Расчет прочности железобетонных шпал с учетом совместного деформирования с грунтовым основанием // Известия КГАСУ 2022 № 3 (61), с.14-22, DOI:10.52409/20731523_2022_3_14, EDN: ZMWQUF

Calculation of the strength of reinforced concrete sleepers taking into account the joint deformation with the ground base

Iizar T. Mirsayapov¹

¹Kazan State University of Architecture and Engineering
Kazan, Russian Federation

Abstract: Problem statement. Reinforced concrete sleepers are special structures due to complex geometry and increased requirements for their crack resistance and endurance. The necessary crack resistance and endurance is provided by the use of prestressed reinforcement. The purpose of the study is to develop methods for calculating the endurance and crack resistance of reinforced concrete sleepers with prestressed core reinforcement on the basis of theoretical studies.

Results. New methods for calculating the endurance and crack resistance of reinforced concrete sleepers with prestressed reinforcement have been developed.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry lies in the fact that they make it possible to more accurately assess the endurance and crack resistance of reinforced concrete sleepers with prestressed reinforcement.

Keywords: stressed reinforcement, crack resistance, endurance, reinforced concrete sleepers, creep of concrete.

For citation: Mirsayapov Iizar T. Calculation of the strength of reinforced concrete sleepers, taking into account the joint deformation with the ground base // News KSUAE 2022. № 3 (61) p.14-22, DOI:10.52409/20731523_2022_3_14, EDN: ZMWQUF

1. Введение

В настоящее время железобетонные шпалы являются массовыми, оставаясь одновременно и специальными конструкциями из-за сложной геометрии, а также из-за повышенных требований к их трещиностойкости и выносливости [1]. Необходимая трещиностойкость и выносливость обеспечиваются применением предварительно напряженной арматуры из высокопрочной арматурной проволоки класса В_p1400. Однако технология их изготовления сложна, многоступенчата и трудоемка. Поэтому совершенствование армирования железобетонных шпал с целью повышения технологичности изготовления и снижения трудозатрат является актуальной задачей [2-4].

Одним из путей снижения трудозатрат и повышения технологичности является замена проволочной арматуры шпал на высокопрочную стержневую арматуру [5-8].

Опытная конструкция железобетонных шпал с высокопрочной стержневой арматурой разработана для железнодорожных путей с рельсовой колеей шириной 1520 мм и рельсами типов Р75, Р65 и Р50, по которым обращается типовой подвижной состав общей сети железных дорог России. Форма и размеры шпал приняты в соответствии с ГОСТ 10629-88 «Шпалы железобетонные предварительно напряженные для дорог колеи 1520 мм. Технические условия». Шпалы изготавливаются из тяжелого бетона класса В40 по прочности на сжатие. Передаточная прочность принимается равной 30 МПа [9-11].

В связи с вышеуказанным, целью данной работы является разработка методов расчета выносливости и трещиностойкости железобетонных шпал с предварительно напряженной арматурой. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать методику расчета выносливости;
2. Разработать методику расчета трещиностойкости.

2. Материалы и методы

Армирование шпал осуществляется четырьмя стержнями диаметром 10 мм из арматуры класса А600 или четырьмя стержнями диаметром 12 мм из арматуры класса А500. Величина предварительного напряжения арматуры принимается равной 0,9 и 0,95 ее нормативного сопротивления. Расчет шпал производится по 1-й группе предельных состояний на прочность и на выносливость [12].

Для расчета на прочность принимается средняя величина вертикальной нагрузки $P_{cp}=5500$ кГс и среднее квадратичное отклонение этой нагрузки $\sigma=2700$ кГс. При расчете на выносливость принимается средняя величина максимальной многократно повторяющейся вертикальной нагрузки, соответствующая тяжелому режиму эксплуатации, $P_{срцикл}=4470$ кГс и среднее квадратичное отклонение этой нагрузки $\sigma=2135$ кГс. Коэффициент асимметрии цикла нагружения $p=P_{мин}/P_{макс}$ принимается равным нулю. Расчетная нагрузка определяется по формуле $P_{расч.i}=P_{ср.i}+2,5 \sigma_i$ и с учетом коэффициента 1,2, учитывающего влияние криволинейного участка пути [13].

Шпала рассчитывается как балка на упругом основании, лежащая на щебеночной подготовке толщиной 300 мм, с коэффициентом постели, равным 15 кг/см^3 , при этом для расчета прочности учитывается длина опирания, равная 0,85 м от каждого края шпалы, а при расчете выносливости учитывается опирание по всей длине шпалы [14, 15].

Расчетная схема шпалы при расчете на прочность и выносливость принимается в виде стержня, загруженного двумя симметрично расположенными вертикальными силами $P_{расч}$ и $P_{расч.пов}$, на расстоянии 0,55 м от края шпалы и равномерно распределенными по грузовой площадке длиной 0,3 м (рис. 1).

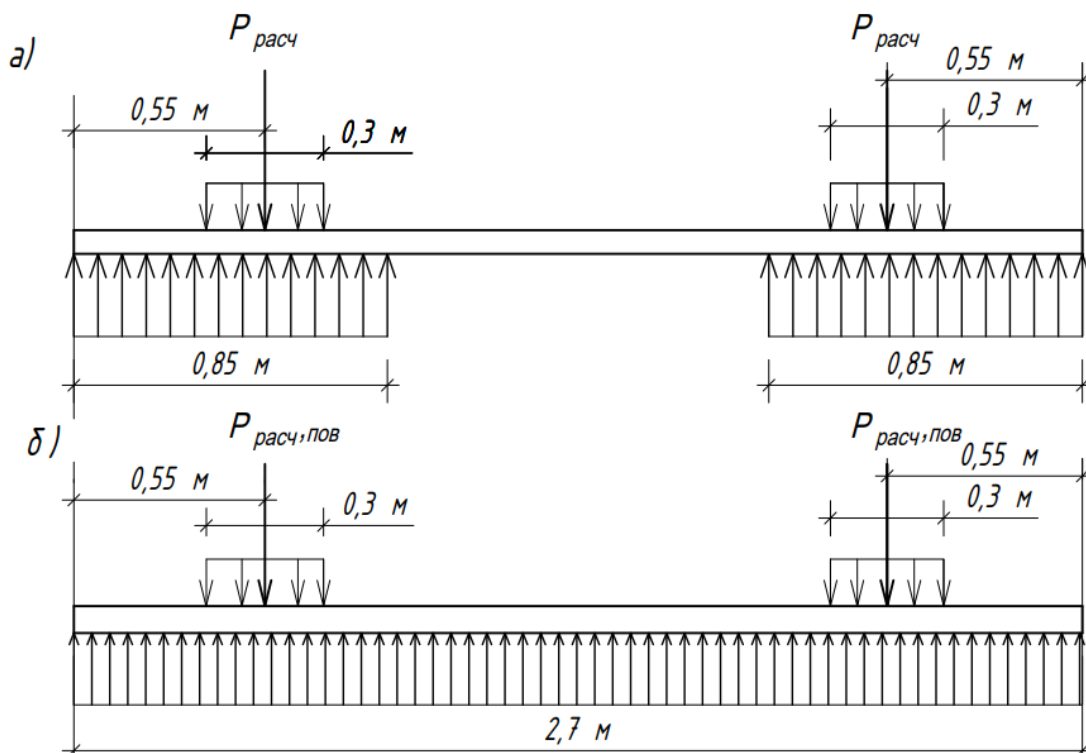


Рис. 1. Расчетные схемы шпалы при расчете: а) на прочность; б) на выносливость (иллюстрация автора)

Fig. 1. Calculation schemes of sleepers when calculating: a) strength; b) endurance (illustration by the author)

Расчет шпал на прочность и на выносливость производится с учетом сопротивления бетона растянутой зоны (без трещин) согласно расчетной модели, принятой в СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения».

Для сравнения выполнены также расчеты прочности и выносливости без учета сопротивления бетона растянутой зоны по обоим методикам. Расчетными являются подрельсовое и среднее сечение шпалы (таблица 1).

Расчет прочности нормальных сечений без учета сопротивления бетона растянутой зоны по методике СП 63.13330.2018. При расчете прочности, как в среднем, так и в подрельсовом сечениях, растянутая зона находится в нижней части шпалы.

Таблица 1

Параметры рассматриваемых вариантов		
Вариант1	Вариант2	Вариант3
4Ø10 Ат 500	4Ø12 Ат 600	4Ø12 Ат 600
h1=40 mm	h1=40 mm	h1=40 mm
h2=115 mm	h2=115 mm	h2=115 mm
$\sigma_{spo}=0,95R_{s,ser}$	$\sigma_{spo}=0,95R_{s,ser}$	$\sigma_{spo}=0,90R_{s,ser}$
Изгибающие моменты от внешней нагрузки		
Среднее сечение	Подрельсовое сечение	
M=0,97 тс. м	M=1,45 тс. м	
M _{max} =0,725 тс. м	M _{max} =1,14 тс. м	

Несущая способность рассматриваемого нормального сечения шпалы вычисляется по формуле:

$$M_{ult} = R_b S_b + \sigma_{sc} A'_{sp} Z_s \tag{1}$$

где S_b - статический момент сжатой зоны бетона в виде трапеции относительно центра тяжести растянутой арматуры:

$$Z_s = h_o - a'_s ; \sigma_{sc} = 400 - \sigma'_{sp2} ; \sigma'_{sp2} = \sigma_{spo} - \sigma'_{slos}$$

Расчет прочности и выносливости нормальных сечений шпал с учетом сопротивления бетона растянутой зоны по методике СНиП 2.03.01-84. При расчете на выносливость в подрельсовом сечении растяжение по нижней грани шпалы, а в среднем сечении по верхней грани. Расчет по обоим сечениям производится по единой методике.

Условие прочности нормального сечения при статическом нагружении имеет вид:

$$M_i \leq M_{crc,i} \quad (2)$$

где M_i – изгибающий момент в рассматриваемом сечении от действия внешней статической нагрузки;

$M_{crc,i}$ – момент трещинообразования при статическом нагружении.

Момент трещинообразования при многократно повторяющемся циклическом нагружении определяется с учетом того, что предельный момент равняется моменту трещинообразования. Также следует учесть несовпадение растянутых зон для среднего сечения при статических и многократно повторяющихся циклических нагружениях.

Момент образования нормальных трещин при циклическом нагружении определяется по формуле:

$$M'_{crc} = \gamma_{b1} R_{bt,ser} \frac{I'_{red}}{y} + P_{02} \left(e_{op2} + \frac{I'_{red}}{y A_{red}} \right) \quad (3)$$

где γ_{b1} – коэффициент условий работы бетона, затем проверяем условие:

$$M_{imax} \leq M'_{crc} \quad (4)$$

где M_{imax} – изгибающий момент в рассматриваемом сечении от максимальной нагрузки цикла. Если условие (4) выполняется, определяется предельная несущая способность по бетону сжатой зоны и растянутой арматуре, учитывая полное приведенное сечение ($\alpha' = E_s/E_{b,rep}$).

$$M'_b = \gamma_{b1} R_{bt,ser} \frac{I_{red}}{h - y_0} + P_{02} \left(e_{op2} + \frac{I_{red}}{y A_{red}} \right) \quad (5)$$

$$M'_s = \frac{1}{\alpha'} (R_s \gamma_{s3} - \sigma_{sp2} + \alpha' \sigma_{bps}) \frac{I'_{red}}{y_{sp}} \quad (6)$$

где γ_{b1} , γ_{s3} – коэффициенты условий работы бетона сжатой зоны и продольной арматуры, принимаются в зависимости от p_b и p_s , соответственно:

$$P_b = \frac{\sigma_b^{min}}{\sigma_b^{max}}; P_s = \frac{\sigma_s^{min}}{\sigma_s^{max}}$$

σ_b^{min} , σ_b^{max} – минимальные и максимальные напряжения цикла в бетоне сжатой зоны; σ_s^{min} , σ_s^{max} – то же, в растянутой арматуре.

Выносливость конструкции по нормальному сечению будет обеспечена, если выполняются условия:

$$M_{imax} \leq M'_{crc} \quad (7)$$

$$M_{imax} \leq M'_b \quad (8)$$

$$M_{imax} \leq M'_s \quad (9)$$

Расчет выносливости нормальных сечений шпал без учета растянутого бетона выполняется по методике СП 63.13330.2018. Если в растянутой зоне образуются трещины, расчет выносливости производится без учета растянутого бетона.

Относительная высота сжатой зоны в этом случае определяется методом Ньютона путем последовательных приближений.

$$\xi = \xi_0 - \frac{f(\xi)}{f'(\xi)} \quad (10)$$

ξ_0 – первоначально задаваемое значение ξ ;

$$f(\xi) = \xi^3 - a\xi^2 + b\xi + c \quad (11)$$

$f'(\xi)$ – первая производная функция $f(\xi)$; a, b, c- параметры сечения и нагрузки.

Характеристики приведенного сечения определяются без учета растянутого бетона.

Предельная несущая способность по бетону сжатой зоны и по продольной арматуре вычисляется соответственно по формулам (5) и (6) путем постановки характеристик приведенного сечения без учета растянутого бетона.

Выносливость по нормальному сечению будет обеспечена, если выполняются условия (8) и (9).

Расчет прочности и выносливости нормальных сечений шпал по методике СП 63.13330.2018. Расчет производится, исходя из уравнений продольных сил и моментов (рис. 2, 3).

$$N_b = N_s + N_{bt} + N'_s \tag{12}$$

$$M_{ult} = N_b Z_1 + N_{bt} Z_2 + N_s Z_3 + N'_s Z_4 \tag{13}$$

Гипотезы плоских сечений и диаграмм состояния бетона и арматуры (рис. 3, 4):

$$\frac{\epsilon_b}{\epsilon_s} = \frac{x}{h_0 - x} \tag{14}$$

где N_b – равнодействующая усилий в бетоне сжатой зоны;
 N_{bt} – равнодействующая усилий в бетоне растянутой зоны;
 N_s – равнодействующая усилий в напрягаемой арматуре, расположенной в растянутой зоне;
 N'_s – равнодействующая усилий в напрягаемой арматуре, расположенной в сжатой зоне.

Несущая способность, а также выносливость шпалы вычисляются, принимая за достижение предельного состояния образование нормальных трещин в растянутой грани.

При этом принимается, что в растянутой грани деформации бетона равняются деформациям растяжения, т.е. $\epsilon_{bt} = \epsilon_{btu}$.

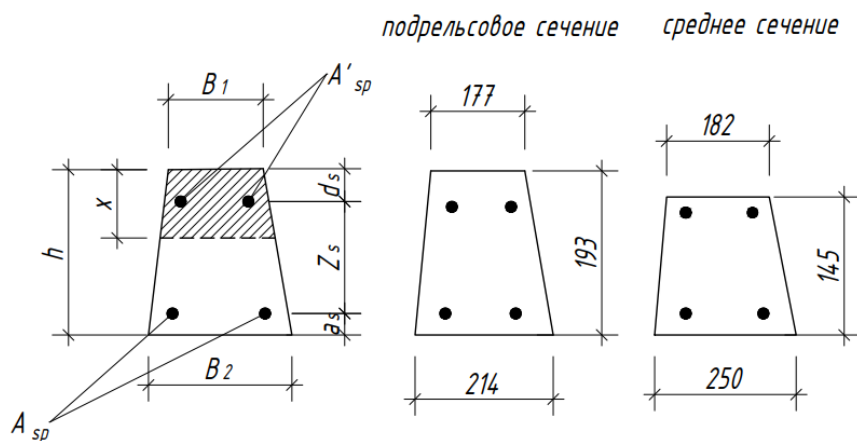


Рис. 2. Поперечное сечение шпалы (иллюстрация автора)
 Fig. 2. Cross section of sleepers (illustration by the author)

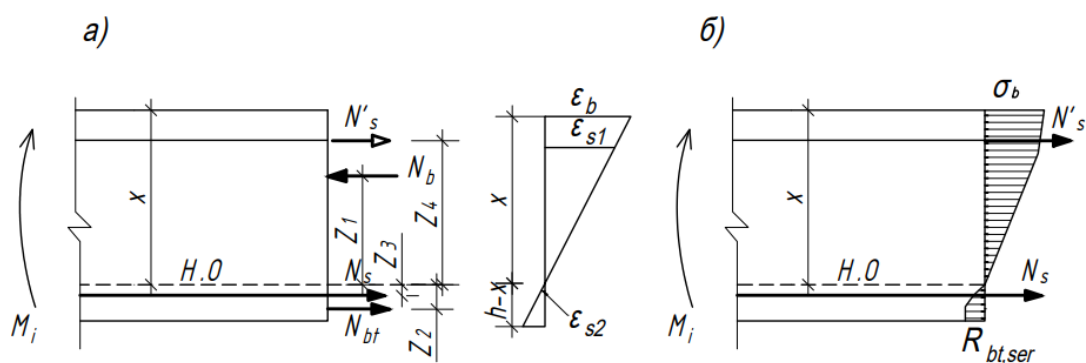


Рис. 3 а) схема усилий и эпюра деформаций в нормальном сечении шпалы; б) эпюры напряжений в бетоне при расчете на прочность и на выносливость по нормальному сечению арматуры (иллюстрация автора).

Fig. 3. a) a diagram of forces and a diagram of deformations in the normal cross-section of the sleeper; б) stress diagrams in concrete when calculating strength and endurance over the normal cross-section of the reinforcement (illustration by the author)

3. Результаты и обсуждение

Исходя из гипотезы плоских сечений и зависимостей « $\sigma_b - \epsilon_b$ » и « $\sigma_s - \epsilon_s$ » по соответствующим деформациям определяются напряжения в бетоне и арматуре. По напряжениям в бетоне σ_b и напряжениям σ_s определяется момент, воспринимаемый сечением, соответствующий принятой величине крайних деформаций бетона $\epsilon_{bt} = \epsilon_{btu}$.

$$M_{crc} = N_b Z_1 + N_{bt} Z_2 + N_s Z_3 + N'_s Z_4 \tag{15}$$

Проверка прочности и выносливости производится из условий:

$$\begin{aligned} M_i &\leq M_{crc} \\ M_{imax} &\leq M'_{crc} \end{aligned} \tag{16}$$

где M_i – изгибающий момент в расчетных сечениях при расчетных нагрузках $P_{расч}$; M_{crc} – момент, воспринимаемый сечением, соответствующий принятой величине краевых деформаций бетона $\epsilon_{bt} = \epsilon_{btu}$, по полученной высоте сжатой зоны бетона x и вычисляемый в соответствии с диаграммами состояния материалов « $\sigma_b - \epsilon_b$ » и « $\sigma_s - \epsilon_s$ » при кратковременном статическом нагружении (рис. 4);

M_{imax} – изгибающий момент в расчетных сечениях при расчетных нагрузках $p^{max}_{расч.цикл}$; M'_{crc} – момент, воспринимаемый сечением, соответствующий принятой величине краевых деформаций бетона $\epsilon_{bt} = \epsilon_{btu}$, по полученной высоте сжатой зоны бетона x и вычисляемый в соответствии с диаграммами состояния материалов « $\sigma_b - \epsilon_b$ » и « $\sigma_s - \epsilon_s$ » при многократно повторяющемся циклическом нагружении (рис. 5).

Пределы выносливости бетона и арматуры, используемые в диаграммах состояния материалов, вычисляются по формулам (17, 18):

Для бетона:

$$R_{b,rep} = R_b \left[k_g - \frac{\log N}{7} \left(k_g - \frac{0,5}{1 - 0,616 p_b} \right) \right], \tag{17}$$

Для арматуры:

$$R_{s,rep} = R_b \left[\eta - \frac{\log N}{6,3} (\eta - k_{ps}) \right] \tag{18}$$

Модуль деформации бетона при многократно повторяющемся циклическом нагружении вычисляется по формуле:

$$E_{b,rep} = \frac{E_b}{1 + \varphi(t)_{rep}}; \tag{19}$$

где $\varphi(t)_{rep}$ – характеристика линейной части деформаций виброползучести, вычисляется по формуле $\varphi(t)_{rep} = E_b C'_I(t, \tau)$; здесь $C'_I(t, \tau)$ – мера линейной части деформаций виброползучести.

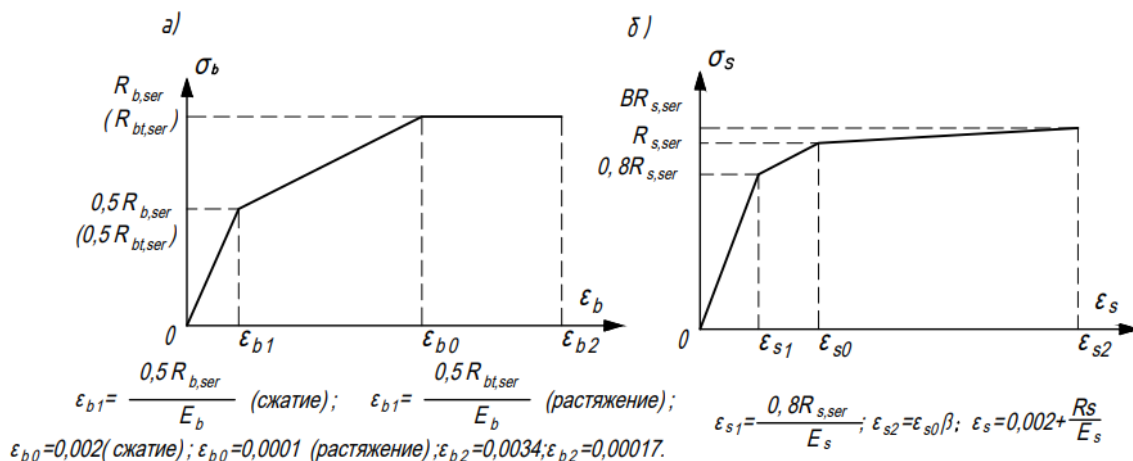


Рис. 4. а) диаграмма состояния бетона при кратковременном статическом нагружении; б) диаграмма состояния арматуры при кратковременном статическом нагружении (иллюстрация автора)

Fig. 4. a) diagram of the state of concrete under short-term static loading; b) diagram of the state of reinforcement under short-term static loading (illustration by the author)

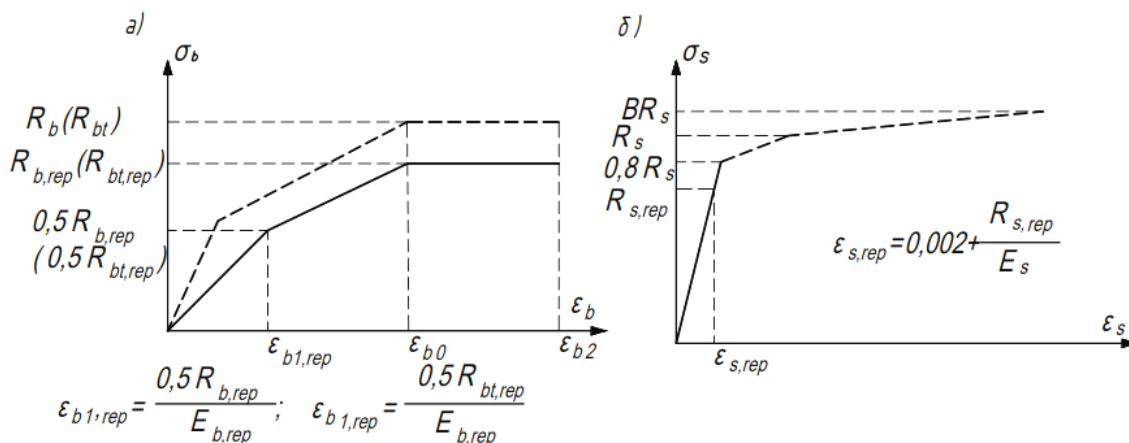


Рис. 5. а) диаграмма состояния бетона при многократно циклическом нагружении; б) диаграмма состояния арматуры при многократно повторяющемся циклическом нагружении (иллюстрация автора)
 Fig. 5. а) diagram of the state of concrete under repeated cyclic loading; б) a diagram of the state of reinforcement under repeated cyclic loading (illustration by the author)

Выносливость, как в среднем, так и в подрельсовом сечениях шпалы будет обеспечена, если выполняется условие:

$$\sigma_{mt}^{max} \leq \gamma_{b4} R_{bt,ser} \gamma_{b1} \tag{20}$$

где γ_{b4} – коэффициент условий работы, учитывающий влияние главных сжимающих усилий;
 σ_{mt}^{max} – главные растягивающие напряжения на уровне центра тяжести приведенного сечения при максимальном значении нагрузки цикла, определяются по общепринятой методике с учетом влияния усилий предварительного обжатия;
 γ_{b1} – коэффициент условий работы бетона, учитывающий снижение прочности бетона при циклическом нагружении, принимается в зависимости от значения коэффициента асимметрии цикла $p_b = \sigma_{mt}^{min} / \sigma_{mt}^{max}$.

При армировании шпал высокопрочной стержневой арматурой важное значение имеет вопрос обеспечения трещиностойкости концевых участков.

Расчет трещиностойкости концевых участков шпал при действии усилий предварительного обжатия производится по методике НИИЖБ, по Е. Мершу и по А. Гюйону.

При расчете по методике НИИЖБ трещиностойкость концевых участков будет обеспечена, если выполняется условие:

$$\sigma_{sp} \leq \sigma_{crc}^0 / \gamma_{sp}; \tag{21}$$

где σ_{sp} – расчетное контролируемое напряжение в арматуре за вычетом потерь предварительного напряжения ($\sigma_1 \dots \dots \sigma_5$); $\gamma_{sp} = 1,15$;
 σ_{crc}^0 – расчетное сопротивление концевого участка образованию трещин.

Зависимость для определения расчетного сопротивления концевого участка образованию трещин может быть записана в виде [4].

$$\sigma_{crc}^0 = \beta_1 \beta_2 \sqrt{a_1 R_{bp}} \left[11,35 + \frac{140}{(a-2)} \right]; \tag{22}$$

Условие трещиностойкости концевых участков по Е. Мершу и А. Гюйону имеет вид:

$$\sigma_y \leq R_{bt} \gamma_{bt} \gamma_{b9}; \tag{23}$$

где σ_y - наибольшее раскалывающее напряжение от действия усилий предварительного напряжения.

Наибольшее значение раскалывающих напряжений вычисляется по формулам:

$$E. \text{ Мерша } \sigma_y = \frac{1,5Z}{ab};$$

$$A. \text{ Гюйона } \sigma_y = k_j \sigma_x;$$

k_j – показатели изобар поперечных напряжений;

σ_x – продольные нормальные напряжения на уровне напрягаемой арматуры.

Результаты сравнительных расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты расчета железобетонных шпал									
Среднее сечение									
Варианты	СНиП 2.03.01-84					СП63.13330.2018		Наклонное сечение	
	M_{ult} тс.м	M_{cre} тс.м	M_{cre} тс.м	M_b тс.м	M_s тс.м	M_{cre} тс.м	M_{cre} тс.м	σ_{mt} МПа	$R_{b1} \gamma_{b2} \gamma_{b9}$ МПа
1	1,2	0,64	0,75	1,3	0,98	0,75	0,8	0,12	1,57
2	1,45	0,68	0,78	1,15	0,96	0,78	0,83	0,12	1,57
3	1,49	0,65	0,75	1,07	0,94	0,73	0,79	0,18	1,57
Подрельсовое сечение									
Варианты	СНиП 2.03.01-84					СП63.13330.2018		Наклонное сечение	
	M_{ult} тс.м	M_{cre} тс.м	M_{cre} тс.м	M_b тс.м	M_s тс.м	M_{cre} тс.м	M_{cre} тс.м	σ_{mt} МПа	$R_{b1} \gamma_{b2} \gamma_{b9}$ МПа
1	2,01	1,52	1,2	1,7	1,48	1,6	1,33	0,56	1,57
2	2,39	1,55	1,24	1,74	1,61	1,66	1,4	0,58	1,57
3	2,35	1,49	1,19	1,54	1,55	1,59	1,33	0,72	1,57
Концевой участок									
Варианты	σ_{sp} МПа	σ_{cre}^0 МПа	σ_y по Мершу	σ_y по Гюйону	σ_y при сосредото- точной силе	R_{bt} МПа			
	1	723	752	0,61	0,69	1,35	1,4		
2	557	651	0,5	0,53	1,65	1,4			
3	521	651	0,47	0,5	0,99	1,4			

4. Заключение

Выполненные исследования железобетонных шпал с предварительно напряженной арматурой позволили:

1. Разработать метод расчета выносливости нормальных сечений железобетонных шпал с предварительно напряженной стержневой арматурой на основе методик, приведенных в СП 63.13330.2018, СНиП 2.03.01-84 и методики НИИЖБ, учитывающий особенности деформирования таких конструкций при эксплуатационных нагрузках, что позволит получить более экономичные конструктивные решения.

2. Разработать метод расчета трещиностойкости нормальных сечений и торцевых участков железобетонных шпал с предварительно напряженной стержневой арматурой на основе методик, приведенных в СП 63.13330.2018, СНиП 2.03.01-84 и методики НИИЖБ, с учетом особенностей напряженно-деформированного состояния, образования и развития трещин на различных зонах и запроектировать оптимальные конструкции.

Список литературы / References

1. Karpushchenko N., Velichko D., Trukhanov P. Service-life evaluation of reinforced concrete sleepers under various working conditions // Advances in intelligent systems and computing 2020. Т. 1116. С. 125-141. DOI: 10.1007/978-3-030-37919-3_13.
2. Atutis E., Valivonis J., Atutis M. Deflection determination method for bfrp prestressed concrete beams under fatigue loading // Compos. Struct. 2019. № 226. P. 111182. DOI: 10.1016/j.compstruct.2019.111182.
3. Kim G., Loreto G., Kim J.-Y., Kurtis K. E., Wall J. J., Jacobs L. J. In situ nonlinear

- ultrasonic technique for monitoring microcracking in concrete subjected to creep and cyclic loading // *Ultrasonics*. 2018. №88. P. 64–71. DOI: 10.1016/j.ultras.2018.03.006.
4. Li Q., Liu M., Lu Z., Deng X. Creep Model of High-Strength High-Performance Concrete Under Cyclic Loading // *J. Wuhan Univ. Technol. Sci. Ed.* 2019. №3 (34). P. 622–629. DOI: 10.1007/s11595-019-2096-9.
 5. Chen P., Zhou X., Zheng W., Wang Y., Bao B. Influence of high sustained loads and longitudinal reinforcement on long-term deformation of reinforced concrete beams // *J. Build. Eng.* 2020. № 30. DOI: 10.1016/j.jobe.2020.101241.
 6. Bouziadi F., Boulekbache B., Haddi A., Hamrat M., Djelal C. Finite element modeling of creep behavior of FRP-externally strengthened reinforced concrete beams // *Eng. Struct.* 2020. №204. P. 109908. DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.109908.
 7. Mirsayapov Ilshat T. Detection of stress concentration regions in cyclic loading by the heat monitoring method // *Mech. Solids*. 2010. №1(45). P.133–139. DOI: 10.3103/S0025654410010164.
 8. Song L., Fan Z., Hou J. Experimental and Analytical Investigation of the Fatigue Flexural Behavior of Corroded Reinforced Concrete Beams // *Int. J. Concr. Struct. Mater.* 2019. №1(13). DOI: 10.1186/s40069-019-0340-5.
 9. Zamaliev F. S., Zakirov M. A. Stress-strain state of a steel-reinforced concrete slab under long-term // *Magazine of Civil Engineering*. 2018. P. 12–23.
 10. Tang H., Chen Z., Avinesh O., Guo H., Meng Z., Engler-Pinto C., Kang H. Notch Insensitivity in Fatigue Failure of Chopped Carbon Fiber Chip-Reinforced Composites Using Experimental and Computational Analysis // *Compos. Struct.* 2020. №10(16). P. 112280. DOI: 10.1016/j.compstruct.2020.112280.
 11. Choe G., Shinohara Y., Kim G., Lee S., Lee E., Nam J. Concrete corrosion cracking and transverse bar strain behavior in a reinforced concrete column under simulated marine conditions // *Appl. Sci.* 2020. №5(10). DOI:10.3390/app10051794.
 12. Gambarelli S., Ožbolt J. Interaction between damage and time-dependent deformation of mortar in concrete: 3D FE study at meso-scale // *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 2019. № 615. P. 012013. DOI:10.1088/1757-899X/615/1/012013.
 13. Augéard E., Ferrier E., Michel L. Mechanical behavior of timber-concrete composite members under cyclic loading and creep // *Eng. Struct.* 2020. №210. P. 110289. DOI: 10.1016/j.engstruct.2020.110289.
 14. Trekin N. N., Kodysh E. N., Mamin A. N., Trekin D. N., Onana J. Improving methods of evaluating the crack resistance of concrete structures // *American Concrete Institute, ACI Special Publication*. 2018. № 326. P. 93.1–93.6.
 15. Liang J., Nie X., Masud M., Li J., Mo Y. L. A study on the simulation method for fatigue damage behavior of reinforced concrete structures // *Eng. Struct.* 2017. № 150, P. 25–38. DOI:10.1016/j.engstruct.2017.07.001

Информация об авторах.

Илизар Талгатович Мирсаяпов, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

Email: mirsayapov1@mail.ru

Information about the authors.

Ilizar T. Mirsayapov, Doctor of technical sciences, professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: mirsayapov1@mail.ru