

ІМОВІРНІСНИЙ РОЗРАХУНОК ЗАЛІЗНИЧНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ШПАЛ

В статті представлено результати імовірнісного розрахунку залізничних залізобетонних шпал типу СБЗ-0 та СБЗ-1 та характеристики їх надійності.

Ключові слова: шпала, розрахунок, залізобетон, конструкція, надійність шпал

Вступ

Відповідно до загальної тенденції розвитку залізничного транспорту України, що включає підвищення швидкостей руху пасажирських поїздів, постала задача оцінки надійності конструкції залізобетонних шпал.

Об'єктом дослідження даної статті є визначення надійності конструкції залізобетонних шпал.

Предметом дослідження даної статті стали залізничні залізобетонні шпали типу СБЗ-0 та СБЗ-1.

Результати досліджень

Імовірнісний розрахунок залізобетонних шпал на міцність перерізів, нормальних до подовжньої осі.

Для імовірнісного розрахунку залізобетонних елементів, що згинаються, по міцності перерізів, нормальних до подовжньої осі, використовувався чисельно-аналітичний метод чисельної лінеаризації.

Розрахунок виконується з урахуванням передумови, що закони розподілів визначальних параметрів і функції міцності підпорядковуються нормальному закону розподілення (Гаусса).

Алгоритм імовірнісного розрахунку залізобетонних елементів, що згинаються, за міцністю нормальних до подовжньої осі перерізів наведено на рис. 1.

Порядок розрахунку є наступним:

– Вводяться початкові вихідні дані: математичні очікування геометричних характеристик поперечного перерізу \bar{g}_i , характеристик міцності арматури \bar{R}_s і бетону \bar{R}_b ; середні квадратичні відхилення геометричних параметрів поперечного перерізу елементу σ_{R_b} , характеристик міцності арматури σ_{R_s} і бетону σ_{R_b} ;

– Обчислюється математичне очікування міцності елементу, що згинається, \bar{M} за діючими нормами, при середніх значеннях змінних параметрів

$$\bar{y} = y(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_i, \dots, \bar{x}_n); \quad (1)$$

– Обчислюються частинні похідні $\frac{\partial M}{\partial x_i}$ функції несучої спроможності, за кожним змінним параметром x_i .

При цьому частинні похідні замінюються їх кінцево-різницевою формою:

$$\frac{\partial M}{\partial x_i} = \left[M(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_{i-1}, \bar{x}_i + h(x_i), \bar{x}_{i+1}, \dots, \bar{x}_n) - M(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_{i-1}, \bar{x}_i - h(x_i), \bar{x}_{i+1}, \dots, \bar{x}_n) \right] / 2h(x_i), \quad (2)$$

де $h(x_i) = 3\sigma_{x_i}$,

σ_{x_i} – середнє квадратичне відхилення параметра x_i ;

– Визначається середнє квадратичне відхилення функції несучої спроможності елементу σ_M :

$$\sigma_M = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial M}{\partial x_i} \right)^2 \sigma_{x_i}^2}; \quad (3)$$

– Обчислюється міцність залізобетонних згинальних елементів, по перерізах, нормальних до подовжньої осі, із забезпеченістю 0,99865 і 0,95. За умови розподілу міцності залізобетонних елементів за нормальним законом:

$$M_{0,99865} = \bar{M} - 3\sigma_M, \quad (4) \quad M_{0,95} = \bar{M} - 1,64\sigma_M, \quad (5)$$

де $M_{0,99865}$ та $M_{0,95}$ – відповідно, міцність по перерізах, нормальних до подовжньої осі елементу з забезпеченістю 0,99865 і 0,95,

\bar{M} – математичне очікування міцності по перерізах, нормальних до подовжньої осі залізобетонного елемента,

σ_M – середнє квадратичне відхилення міцності по перерізах, нормальних до подовжньої осі залізобетонного елемента.

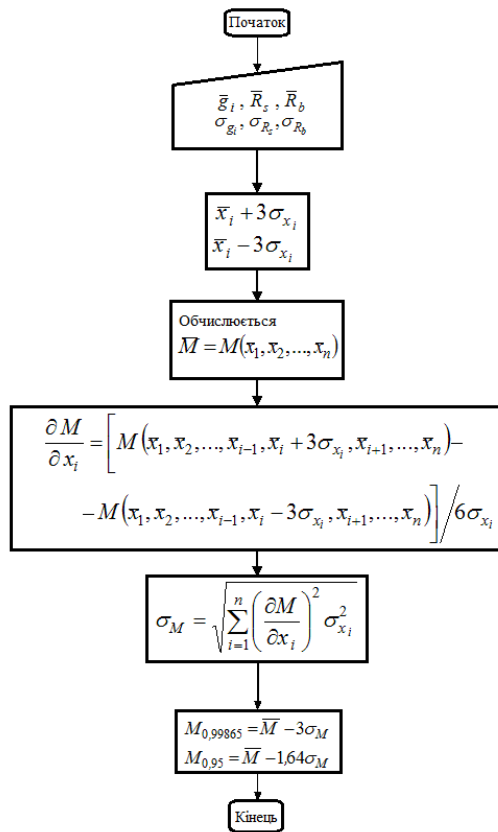


Рис. 1. Алгоритм імовірнісного розрахунку залізобетонних елементів

Змінні параметри міцності перерізів шпал.

Характеристики міцності бетону. Прийнята в [1] формула для нормативної призматичної міцності бетонів на пористих заповнювачів та важких бетонів має вид:

$$R_{bn} = R_n (0,77 - 0,001\bar{R}) \geq 0,72R_n, \quad (6)$$

тобто коефіцієнт призматичної міцності є таким:

$$k_{n,n} = 0,77 - 0,001\bar{R} \geq 0,72. \quad (7)$$

Насправді, згідно з [2] середнє значення коефіцієнтів призматичної міцності вище наведених і рівні приблизно:

$$\bar{k}_{n,n} = 0,83 - 0,001\bar{R} \geq 0,78. \quad (8)$$

Коефіцієнт варіації значень коефіцієнта призматичної міцності прийнятий рівним [2]:

$$v_{k_{n,n}} = 0,1. \quad (9)$$

За відомих коефіцієнтів варіації кубкової міцності і коефіцієнта призматичної міцності можна визначити коефіцієнт призматичної міцності бетону:

$$v_{R_b} = \sqrt{v_R^2 + v_{k_{n,n}}^2}. \quad (10)$$

Середнє значення призматичної міцності бетону визначалося за формулою:

$$\bar{R}_b = \bar{R} \cdot \bar{k}_{n,n}. \quad (11)$$

Середнє квадратичне відхилення і математичне очікування міцності бетону на розтяг при нормованій змінності визначається таким чином:

$$\sigma_{R_{bt}} = (R_{btm} - R_{bt}) / 1,36; \quad (12)$$

$$\bar{R}_{bt} = R_{btm} + 1,64\sigma_{R_{bt}}, \quad (13)$$

де $\sigma_{R_{bt}}$ – середнє квадратичне відхилення опору бетону,

$\bar{R}_{bt}, R_{btm}, R_{bt}$ – відповідно, середнє, нормативне та розрахункове значення опору бетону на стиск.

Характеристики попереднього напруження арматури.

При механічному способі натягу величина допустимих відхилень попереднього натягу не нормується. Однак, в нормах [1] є вказівка, що при проектуванні заздалегідь напружених конструкцій з механічним способом натягу натягом арматури виходять з того, що відхилення зусиль можуть знаходитись в межах $\pm 10\%$. Отже, якщо проектом не вказується величина відхилення, то прийматимемо при механічному способі натягу:

$$p = 0,1\sigma_{sp}, \quad (14)$$

де σ_{sp} – величина попереднього напруження.

При оцінці надійності змінність величини попередньої напруги враховується за допомогою допустимої величини відхилення p , приймаючи його значення рівним трьом стандартним відхиленням – трьом середньоквадратичним відхиленням, отже:

$$S_{\sigma_{sp}} = \frac{p}{3}. \quad (15)$$

Характеристики перерізів.

Ширина поля допуску геометричних параметрів (від номінального або середнього зна-

чення) рівна трьом середньоквадратичним відхиленням. Відповідно проектну величину середньоквадратичного відхилення геометричного параметра x_i можна визначити за формулою:

$$S_{x_i} = \frac{\delta_{x_i}}{3}, \quad (16)$$

де S_{x_i} – середньоквадратичне відхилення геометричного параметру x_i ,

δ_{x_i} – допустима межа відхилення параметру x_i .

Проектна та фактична змінність параметрів.

Розглянуті параметри перерізів шпал, що впливають на їхню міцність наведені в табл. 1.

Проектні (нормативні) значення приймалися у відповідності з [1, 3 та 4], при цьому враховувалась нормована змінність. Фактичні параметри прийнято на основі статистичної обробки даних журналів випробовувань контрольних зразків бетону (за період 6 місяців) та типових випробувань зразків шпал типу СБЗ-0 у кількості 120 шт. на ЗАТ «Запорізький завод залізобетонних шпал». Для менш поширеного типу шпал СБЗ-1 не виконувався збір фактичних параметрів, тому в роботі розглянуто лише нормативні.

Таблиця 1

Змінні параметри перерізів шпал

| № з/п | Параметр | Позн. | Тип шпали | | Середнє значення (математ. очікування) | Коеф. варіації | Допустиме відх. |
|-------|--|----------------------------|-----------|-----------|--|-----------------------|-----------------|
| 1 | Міцність бетону на стиск (призматична) | \bar{R}_b , МПа | | | $\frac{37}{39,5}$ | $\frac{0,168}{0,112}$ | |
| 2 | Міцність бетону на розтяг | \bar{R}_{bt} , МПа | | | 2,94 | 0,175 | |
| 3 | Опір арматури розтягуванню | \bar{R}_s , МПа | | | 1774 | 0,108 | |
| 4 | Площа перерізу поперечно напруженої арматури | A_{sp} , см ² | | | $\frac{3,106}{3,092}$ | $\frac{0,015}{0,009}$ | ±0,141 |
| 5 | Товщина захисного шару бетону над верхнім рядом арматури (в середньому перерізі) | a , мм | СБЗ-0 | | $\frac{25}{27,1}$ | $\frac{0,08}{0,074}$ | -5+7 |
| | | | СБЗ-1 | | 40 | 0,05 | -5+7 |
| 6 | Початкове зусилля попереднього напруження | N_0 , кН | | | 358 | 0,033 | ±10 % |
| 7 | Ширина підшви шпали в розрахунковому перерізі | b , мм | СБЗ-0 | Під-рейк. | $\frac{274}{274,3}$ | $\frac{0,006}{0,012}$ | -5+10 |
| | | | | Сер. | 250 | 0,007 | -5+10 |
| | | | СБЗ-1 | Під-рейк. | 270 | 0,006 | -5+10 |
| | | | | Сер. | 235 | 0,007 | -5+10 |
| 8 | Висота шпали в розрахунковому перерізі | h , мм | СБЗ-0 | Під-рейк. | $\frac{218}{219,6}$ | $\frac{0,005}{0,01}$ | -3+8 |
| | | | | Сер. | $\frac{145}{147}$ | $\frac{0,007}{0,011}$ | -3+8 |
| | | | СБЗ-1 | Під-рейк. | 203 | 0,005 | -3+8 |
| | | | | Сер. | 145 | 0,007 | -3+8 |

Примітка: в чисельнику – проектне значення, в знаменнику – фактичне.

Розрахунок витривалості та тріщиностійкості перерізів шпал.

Результати розрахунку граничних значень згинаючих моментів в перерізах шпал при розрахунку на витривалість для стиснутого бетону (M_c), розтягнутої арматури (M_a) та за умови

стійкості бетону проти появи тріщин (M_{crc}), визначених за нормами проектування ($M_{розр}$) або методом числової лінеаризації з визначеною забезпеченістю ($M_{0,99865}$, $M_{0,95}$), наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Результати розрахунку граничних значень згинаючих моментів

| Розрахунок | Граничні згинаючі моменти | | | | | | | | | | | |
|---------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | <u>Шпала СБЗ-0</u> | | | | | | | | | | | |
| | Підрейковий переріз | | | | | | Середній переріз | | | | | |
| | M_c | M_c | M_a | M_a | M_{crc} | M_{crc} | M_c | M_c | M_a | M_a | M_{crc} | M_{crc} |
| $M_{0,99865}$ | | $\frac{18,02}{26,86}$ | | $\frac{80,8}{80}$ | | $\frac{16,2}{16,7}$ | | $\frac{9,17}{14,25}$ | | $\frac{27,7}{28}$ | | $\frac{9,4}{9,14}$ |
| $M_{0,95}$ | $\frac{39,55}{43,06}$ | $\frac{27,8}{34,2}$ | $\frac{130,3}{129,8}$ | $\frac{103,2}{102,6}$ | $\frac{19,56}{20,47}$ | $\frac{17,7}{18,45}$ | $\frac{20,12}{22,11}$ | $\frac{14,13}{17,8}$ | $\frac{42,73}{43,54}$ | $\frac{34,53}{25,1}$ | $\frac{11,59}{11,49}$ | $\frac{10,4}{10,2}$ |
| $M_{розр}$ | | $\frac{22,89}{30,14}$ | | $\frac{69,5}{70,25}$ | | $\frac{17,6}{18,77}$ | | $\frac{11,52}{15,26}$ | | $\frac{25}{25,15}$ | | $\frac{10,67}{10,67}$ |
| | <u>Шпала СБЗ-1</u> | | | | | | | | | | | |
| | Підрейковий переріз | | | | | | Середній переріз | | | | | |
| | M_c | M_c | M_a | M_a | M_{crc} | M_{crc} | M_c | M_c | M_a | M_a | M_{crc} | M_{crc} |
| | $M_{0,99865}$ | | 17,3 | | 54 | | 16,8 | | 6,9 | | 36,5 | |
| $M_{0,95}$ | 36,4 | 25,94 | 92,5 | 71,5 | 20 | $\frac{18,2}{4}$ | 17,7 | 11,8 | 57,4 | 46 | 7,42 | 6,3 |
| $M_{розр}$ | | 20,4 | | 51,3 | | $\frac{18,0}{4}$ | | 8,9 | | 32 | | 6,65 |

Примітка: в чисельнику – значення підрейкових моментів при нормативних значеннях параметрів перерізу та їх змінності, в знаменнику – значення граничних моментів при фактичних значеннях параметрів перерізу та їх змінності.

Визначення вагомості параметрів за величиною впливу на математичне очікування функції властивостей шпал.

Ранжирування параметрів виконується в наступній послідовності:

а) розраховується середнє значення функції властивості при значеннях параметрів, рівних середньому значенню $x_i = \bar{x}_i$:

$$\bar{Y}_i = a_1 \bar{x}_1 + a_2 \bar{x}_2 + \dots + a_i \bar{x}_i + \dots + a_n \bar{x}_n + b; \quad (17)$$

б) i -му параметру надається приріст $\pm 3\sigma_i$ та визначається його нове значення:

$$x_{i,n} = \bar{x}_i \pm 3\sigma_i, \quad (18)$$

де σ_i – середнє квадратичне відхилення i -ого параметру,

\bar{x}_i – середнє значення цього параметру.

Знак (\pm) визначається значенням при коефіцієнтах рівняння (2) та приймається з такою

умовою, що при цьому значенні функції властивості змінюються в несприятливий бік (наприклад, для міцності – зменшується, а для прогину та ширини розкриття тріщин – збільшується);

в) обчислюються значення функції властивості при цьому значенні i -го фактора (параметру):

$$\bar{Y}_{i,n} = a_1 \bar{x}_1 + a_2 \bar{x}_2 + \dots + a_i \bar{x}_{i,n} + \dots + a_n \bar{x}_n + b; \quad (19)$$

г) отримане в результаті розрахунку значення функції властивості відносяться к середньому значенню та визначається відносна різниця:

$$r_i = 1 - Y_{i,n} / \bar{Y}_i; \quad (20)$$

д) така операція виконується з усіма параметрами, що входять до залежності (2);

е) обчислюється питома вага конкретного фактору в даній моделі (вагомість):

$$R_i = r_i / \sum_{i=1}^{i=n} r_i. \quad (21)$$

Результати розрахунків вагомості параметрів наведені на рис. 2–4.

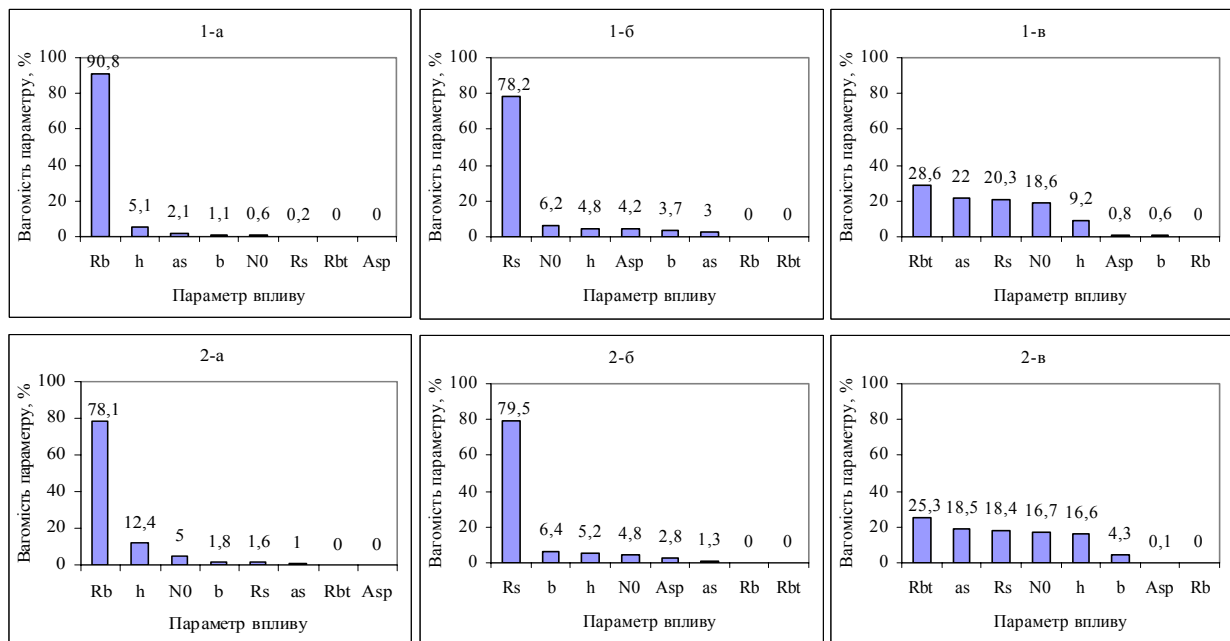


Рис. 2. Діаграми вагомості параметрів впливу в підрейковому перерізі шпала СБЗ-0 за величиною впливу на математичне очікування функції властивостей шпал: 1-а – на витривалість для стиснутого бетону (нормативні значення зміни параметрів); 1-б – на витривалість для розтягнутої арматури (нормативні значення зміни параметрів); 1-в – на стійкість проти появи тріщин (нормативні значення зміни параметрів); 2-а, 2-б, 2-в – відповідні діаграми для фактично-вимірних значень зміни параметрів

Оцінка надійності конструкції шпал.

Для оцінки надійності залізобетонних шпал типу СБЗ визначались значення функції безпеки перерізів шпал при визначенні витривалості та тріщиностійкості по методиці діючих норм і по методиці імовірнісного розрахунку методом численної лінеаризації.

Математичне очікування міцності елементів (\bar{M}) є її найбільш імовірнісним значенням, тому його можна розглядати як дослідну міцність, отриману при випробуваннях конструкції. Тоді відношення математичного очікування міцності до будь-якого іншого значення – до розрахункової міцності (обчисленої за нормами проектування) або міцності з визначеною за-

безпеченістю (обчислений імовірнісним методом) буде виражати собою функцію безпеки:

$$f_i = \bar{M} / M_i, \quad (22)$$

де \bar{M} – математичне очікування міцності;

M_i – розрахункова міцність (обчислена за нормами проектування) або міцність з визначеною забезпеченістю (обчислена імовірнісним методом).

Результати оцінки надійності конструкцій з використанням функції безпеки наведені в табл. 3.

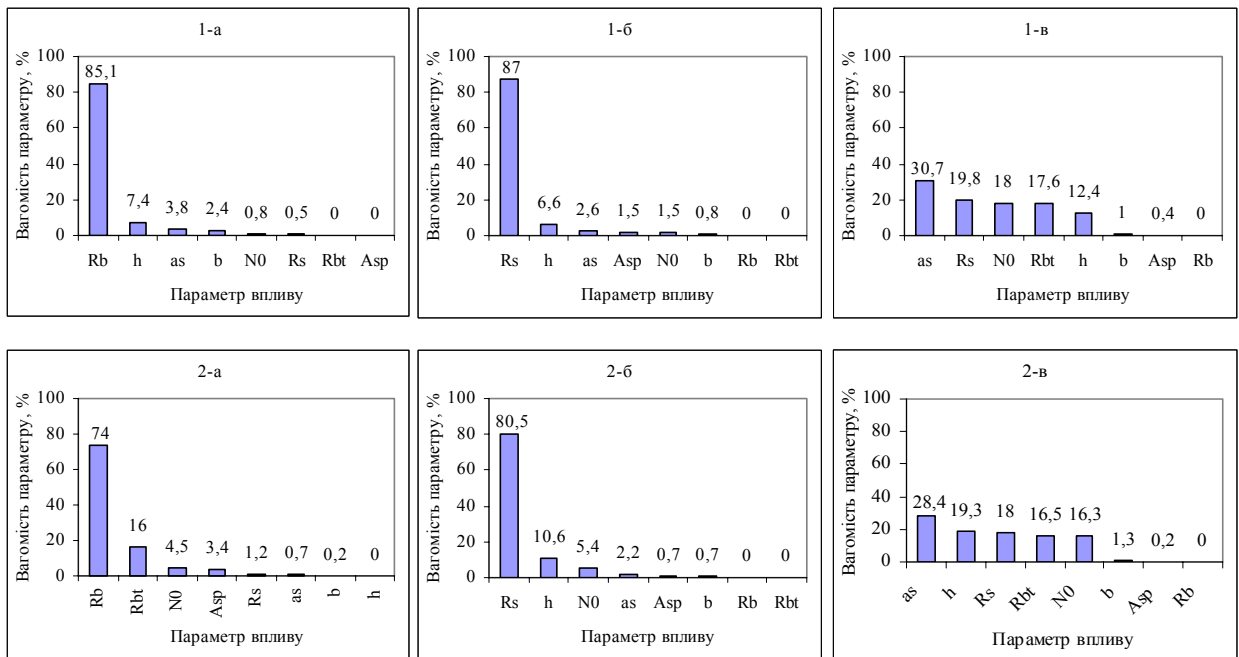


Рис. 3. Діаграми вагомості параметрів впливу в середньому перерізі шпала СБЗ-0 за величиною впливу на математичне очікування функції властивостей шпал: 1-а – на витривалість для стиснутого бетону (нормативні значення зміни параметрів); 1-б – на витривалість для розтягнутої арматури (нормативні значення зміни параметрів); 1-в – на стійкість проти появи тріщин (нормативні значення зміни параметрів); 2-а, 2-б, 2-в – відповідні діаграми для фактично-вимірних значень зміни параметрів

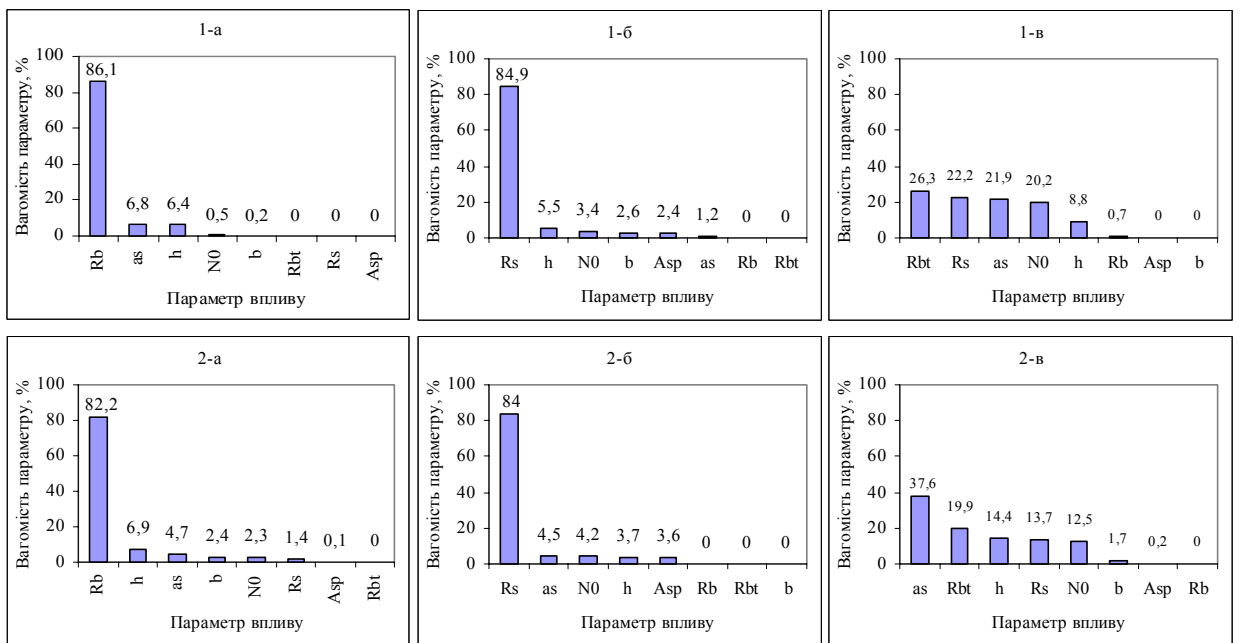


Рис. 4. Діаграми вагомості параметрів впливу в перерізах шпала СБЗ-1 за величиною впливу на математичне очікування функції властивостей шпал (нормативні значення зміни параметрів): 1-а – підрейковий переріз, на витривалість для стиснутого бетону; 1-б – підрейковий переріз, на витривалість для розтягнутої арматури; 1-в – підрейковий переріз, на стійкість проти появи тріщин; 2-а, 2-б, 2-в – відповідні показники для середнього перерізу

Дані свідчать, що при врахуванні нормованої змінності визначальних параметрів забезпеченість міцності згинальних залізобетонних

елементів при $\xi/\xi_R < 0,2$ знижена ($f_n < f_{0,99865}$), тобто менша 0,99865.

Також обчислювалось відношення $k = M_{0,99865} / M_{розр}$ ($k = M_{0,95} / M_{розр}$), що характеризує зайві запаси ($k > 1$) або недостатню забезпеченість розрахункової витривалості в порівнянні з забезпеченістю 0,99865 або тріщи-

ностійкістю в порівнянні з забезпеченістю 0,95 (Коефіцієнт запасу міцності $M_{розр}$).

Коефіцієнти запасу розрахункових значень граничних згинаючих моментів по міцності і тріщиностійкості наведені в табл. 4.

Таблиця 3

Значення функції безпеки шпал по згинаючим моментам

| Тип расчета | <u>Шпала СБЗ-0</u> | | | | | |
|---------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | Підрейковий переріз | | | Середній переріз | | |
| | f_c | f_a | f_{crc} | f_c | f_a | f_{crc} |
| $M_{0,99865}$ | $\frac{2,2}{1,6}$ | $\frac{1,61}{1,62}$ | $\frac{1,21}{1,23}$ | $\frac{2,19}{1,55}$ | $\frac{1,54}{1,56}$ | $\frac{1,23}{1,26}$ |
| $M_{0,95}$ | $\frac{1,42}{1,26}$ | $\frac{1,26}{1,27}$ | $\frac{1,11}{1,11}$ | $\frac{1,42}{1,24}$ | $\frac{1,24}{1,73}$ | $\frac{1,11}{1,13}$ |
| $M_{розр}$ | $\frac{1,73}{1,43}$ | $\frac{1,88}{1,85}$ | $\frac{1,11}{1,09}$ | $\frac{1,75}{1,45}$ | $\frac{1,71}{1,73}$ | $\frac{1,09}{1,08}$ |
| | <u>Шпала СБЗ-1</u> | | | | | |
| | Підрейковий переріз | | | Середній переріз | | |
| | f_c | f_a | f_{crc} | f_c | f_a | f_{crc} |
| $M_{0,99865}$ | 2,1 | 1,71 | 1,19 | 2,57 | 1,57 | 1,37 |
| $M_{0,95}$ | 1,4 | 1,29 | 1,1 | 1,5 | 1,25 | 1,18 |
| $M_{розр}$ | 1,78 | 1,8 | 1,11 | 1,99 | 1,79 | 1,12 |

Примітка: $f_c = \bar{M}_c / M_c$, $f_a = \bar{M}_a / M_a$, $f_{crc} = \bar{M}_{crc} / M_{crc}$.

Таблиця 4

Коефіцієнти запасу розрахункових значень граничних згинаючих моментів за міцністю та тріщиностійкістю

| Тип расчета | <u>Шпала СБЗ-0</u> | | | | | |
|---------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | Підрейковий переріз | | | Середній переріз | | |
| | f_c | f_a | f_{crc} | f_c | f_a | f_{crc} |
| $M_{0,99865}$ | $\frac{0,787}{0,89}$ | $\frac{1,163}{1,139}$ | - | $\frac{0,796}{0,934}$ | $\frac{1,108}{1,113}$ | - |
| $M_{0,95}$ | - | - | $\frac{1,006}{0,983}$ | - | - | $\frac{0,975}{0,956}$ |
| | <u>Шпала СБЗ-1</u> | | | | | |
| | f_c | f_a | f_{crc} | f_c | f_a | f_{crc} |
| | $M_{0,99865}$ | 0,848 | 1,053 | - | 0,775 | 1,141 |
| $M_{0,95}$ | - | - | 1,011 | - | - | 0,947 |

Характеристики безпеки показників (витри- валості та тріщиностійкості) перерізів шпал отриманих при розрахунку за нормативними документами порівняльно до результатів роз- рахунку імовірнісним методом:

$$\gamma = \frac{\bar{M} - M_{розр}}{\sigma} \quad (23)$$

Імовірність руйнування (відказу):

$$V = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{\gamma^2 - 1}{\gamma^3} \exp \frac{-\gamma^2}{2} \quad (24)$$

Імовірність не руйнування:

$$P = 1 - V \quad (25)$$

Результати оцінки надійності конструкції шпал (при нормативних значеннях параметрів) занесені до табл. 5.

Таблиця 5

Результати оцінки надійності конструкції шпал (при граничних значеннях згинаючих моментів)

| Тип шпал | Переріз | Показник | \bar{M} | σ | $M_{розр}$ | γ | $[\gamma]$ | V | P | | |
|----------|-------------|-----------|-----------|----------|------------|----------|------------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | |
| СБЗ-0 | Підрейковий | M_c | н | 39,55 | 7,18 | 22,89 | 2,32 | 3 | 0,00948 | 0,99052 | |
| | | | ф | 43,06 | 5,4 | 30,14 | 2,39 | | 0,00786 | 0,99214 | |
| | | M_a | н | 130,3 | 16,5 | 69,5 | 3,68 | | 0,00011 | 0,99989 | |
| | | | ф | 129,8 | 16,6 | 70,25 | 3,59 | | 0,00016 | 0,99984 | |
| | | M_{crc} | н | 19,56 | 1,117 | 17,6 | 1,75 | | 1,64 | 0,03293 | 0,96707 |
| | | | ф | 20,47 | 1,23 | 18,77 | 1,38 | | | 0,05292 | 0,94708 |
| | Середній | M_c | н | 20,12 | 3,65 | 11,52 | 2,36 | 3 | 0,00865 | 0,99135 | |
| | | | ф | 22,11 | 2,62 | 15,26 | 2,61 | | 0,00427 | 0,99573 | |
| | | M_a | н | 42,73 | 5 | 25 | 3,55 | | 0,00019 | 0,99981 | |
| | | | ф | 43,54 | 5,17 | 25,15 | 3,56 | | 0,00018 | 0,99982 | |
| | | M_{crc} | н | 11,59 | 0,73 | 10,67 | 1,26 | | 1,64 | 0,05299 | 0,94701 |
| | | | ф | 11,49 | 0,785 | 10,67 | 1,04 | | | 0,01849 | 0,98151 |
| СБЗ-1 | Підрейковий | M_c | 36,4 | 6,38 | 20,4 | 2,51 | 3 | 0,00576 | 0,99424 | | |
| | | M_a | 92,5 | 12,82 | 51,3 | 3,21 | | 0,00064 | 0,99936 | | |
| | | M_{crc} | 20 | 1,07 | 18,04 | 1,83 | 1,64 | 0,02856 | 0,97144 | | |
| | Середній | M_c | 17,7 | 3,59 | 8,9 | 2,45 | 3 | 0,00673 | 0,99327 | | |
| | | M_a | 57,4 | 6,96 | 32 | 3,65 | | 0,00013 | 0,99987 | | |
| | | M_{crc} | 7,42 | 0,673 | 6,65 | 1,14 | 1,64 | 0,04278 | 0,95722 | | |

Проаналізувавши матеріали докторської дис- сертації професора Рибкіна В. В., зокрема – за- кони розподілення осьових навантажень ваго- нів на теренах СНД, математичним шляхом бу- ло визначено найбільше осьове навантаження із заданим рівнем імовірності 0,994 [5] від рухо-

мого складу, що дорівнювало 262, 32 кН/вісь. Для цього навантаження за методиками, що наведені в [5, 6] були розраховані навантажен- ня і виконаний розрахунок залізничних залізо- бетонних шпал за методом кінцевих елементів. В результаті розрахунку були отримані значен-

ня згинаючих моментів що виникають в шпалі при вищезазначеному рівні навантаження.

Характеристики безпеки показників (витривалості та тріщиностійкості) перерізів шпал отриманих при розрахунку за фактичними значеннями згинаючих моментів до результатів

розрахунку імовірнісним методом наведені в табл. 6.

$$\gamma = \frac{\bar{M} - M_{\phi}}{\sigma} \quad (26)$$

Таблиця 6

Результати оцінки надійності конструкції шпал (при фактичних значеннях параметрів)

| Тип шпал | Переріз | Показник | \bar{M} | σ | M_{ϕ} | γ | $[\gamma]$ | V | P |
|----------|-------------|-----------|-----------|----------|------------|----------|------------|---------|---------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| СБЗ-0 | Підрейковий | M_c | 39,55 | 7,18 | 13,44 | 3,64 | 3 | 0,00014 | 0,99986 |
| | | M_a | 130,3 | 16,5 | 13,44 | 7,08 | | 0,00000 | 1,00000 |
| | | M_{crc} | 19,56 | 1,117 | 13,44 | 5,48 | 1,64 | 0,00000 | 1,00000 |
| | Середній | M_c | 20,12 | 3,65 | 6,1 | 3,84 | 3 | 0,00006 | 0,99994 |
| | | M_a | 42,73 | 5 | 6,1 | 7,33 | | 0,00000 | 1,00000 |
| | | M_{crc} | 11,59 | 0,73 | 6,1 | 7,52 | 1,64 | 0,00000 | 1,00000 |
| СБЗ-1 | Підрейковий | M_c | 36,4 | 6,38 | 13,44 | 3,60 | 3 | 0,00016 | 0,99984 |
| | | M_a | 92,5 | 12,82 | 13,44 | 6,17 | | 0,00000 | 1,00000 |
| | | M_{crc} | 20 | 1,07 | 13,44 | 6,13 | 1,64 | 0,00000 | 1,00000 |
| | Середній | M_c | 17,7 | 3,59 | 6,1 | 3,23 | 3 | 0,00060 | 0,99940 |
| | | M_a | 57,4 | 6,96 | 6,1 | 7,37 | | 0,00000 | 1,00000 |
| | | M_{crc} | 7,42 | 0,673 | 6,1 | 1,96 | 1,64 | 0,02199 | 0,97801 |

Висновки

1, Для забезпечення надійності шпал необхідно контролювати всі параметри факторів впливу, а особливу увагу необхідно приділяти найбільш вагомим з них: міцності бетону на стиск та розтяг, висоті та ширині перерізів шпал, товщині захисного шару бетону над арматурою в середньому перерізі шпал.

2. Шпал типу СБЗ-0 та СБЗ-1 при досягненні граничних значень згинаючого моменту в їх перерізах та нормативних параметрах змінності факторів впливу мають недостатній рівень забезпечення надійності за параметрами витривалості для стиснутого бетону і тріщиностійкості шпал, але, згідно статистичних даних,

досягнення таких рівнів навантажень на залізницях України не спостерігається.

3. Шпал типу СБЗ-0 та СБЗ-1 при фактично вимірених значеннях змінності параметрів факторів впливу та максимальному навантаженні з рівнем імовірності 0,994, є надійними з точки зору всіх розглянутих в статті параметрів.

4. Враховуючи те, що при навантаженнях, що фактично виникають від існуючого рухомого складу, шпал типу СБЗ-0 та СБЗ-1 мають суттєві запаси надійності – доцільна подальша робота зі зміни конструкції шпал з метою покращення характеристик найбільш вагомого фактору впливу – фізико-механічних характеристик бетону шпал та його однорідності.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции [Текст]. – М., 1989. – 79 с.
2. Гвоздев, А. А. Новое в проектировании бетонных и железобетонных конструкций [Текст] / А. А. Гвоздев. – М.: Стройиздат, 1978. – 210 с.
3. ДСТУ Б В.2.6-57:2008. Конструкції будинків і споруд. Шпали залізобетонні попередньо напружені для залізниць колії 1520 мм. Технічні умови [Текст]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 28 с.
4. ТУ У 26.6-30268559-174:2006. Технічні умови. Шпали залізобетонні попередньо напружені колії 1520 мм типу СБЗ для рейок типу Р65 і Р50 [Електрон. ресурс]. – Д.: НКТБ ЦП УЗ. – CD, 804 КБ.
5. ЦП-0117. Правила розрахунків верхньої будови колії на міцність і стійкість [Текст]. – К.: Транспорт України, 2006. – 168 с.
6. Железобетонные шпалы для рельсового пути [Текст] / А. Ф. Золотарский [и др.]. – М.: Транспорт, 1980. – 270 с.

Надійшла до редколегії 06.12.2011.

Прийнята до друку 15.12.2011.

Н. В. САВИЦКИЙ, П. А. ПШИНЬКО, А. Н. ЗИНКЕВИЧ

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛ

В статье представлены результаты вероятностного расчета железнодорожных железобетонных шпал типа СБЗ-0, СБЗ-1 и их характеристики надежности.

Ключевые слова: шпала, расчет, железобетон, конструкция, надежность шпал

N. V. SAVITSKIY, P. A. PSHIN'KO, A. N. ZINKEVICH

PROBABILISTIC CALCULATION OF RAILROAD REINFORCED-CONCRETE TIES

The article presents the results of probabilistic calculation of railroad reinforced-concrete ties SB3-0, SB3-1 and their reliability characteristics.

Keywords: railway tie, calculation, reinforced concrete, construction, reliability of railroad ties