

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ СИЛОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА*

Oleg.v31@yandex.ru

В работе дана количественная оценка потерь обжатия, осуществляемого для повышения трещиностойкости поврежденных коррозией железобетонных элементов. Приводится сравнение влияния различных факторов (ползучесть бетона, релаксация напряжений канатов, коррозионные повреждения) на величину предварительного обжатия железобетона.

Ключевые слова: потери обжатия, релаксация напряжений, ползучесть бетона, коррозионные повреждения.

В работе рассматриваются варианты оценки учета потерь обжатия при повышении трещиностойкости изгибаемых железобетонных конструкций, используя ранее полученные алгоритмы расчета [1, 2]. При этом производится сравнение влияния различных факторов на величину обжатия железобетона.

Оценка обжатия производится с учетом ползучести бетона и релаксации напряжений в арматуре. В нашем случае считаем, что коррозионные повреждения бетона и арматуры к времени обжатия стабилизируются; повреждения учитываются для арматуры коэффициентом ω_s (уменьшения расчетной площади поперечного сечения арматуры и изменение свойств материалов), а для бетона с помощью формулы сохранения характеристики силового сопротивления K^* [3]:

$$K^*(\delta, z) = \sum_{i=0}^2 a_i(\delta) z^i, \quad (1)$$

где K_1^* – значение функции сохранения характеристик бетона на поверхности контакта между агрессивной средой и бетоном; δ – глубина коррозионных повреждений [4]; z – ордината повреждений; p – толщина неповрежденного слоя.

Используя выражение, полученное в работе [1]:

$$\frac{\sigma_k(t)}{\sigma_k(t_0)} = \frac{1}{\left[1 + \frac{A_k E_k(t)}{A_{жсб} E_{жсб}^*(t)} \right]} \frac{E_k(t)}{E_k(t_0)}, \quad (2)$$

представленное в алгебраической форме в значительной мере упрощает вычисление потерь обжатия.

При этом следует отметить:

– учет силового сопротивления растянутой арматуры и бетона растянутой зоны осуществляется условным железобетонным элементом, характеристики которого находятся как средне-взвешенные:

$$\begin{aligned} \bar{E} &= \frac{\sum E_i A_i}{\sum A_i}; \quad \bar{C} = \frac{\sum C_i A_i}{\sum A_i}; \quad \bar{\alpha} = \frac{\sum \alpha_i A_i}{\sum A_i}; \\ \bar{\beta} &= \frac{\sum \beta_i A_i}{\sum A_i}; \quad \bar{\gamma} = \frac{\sum \gamma_i A_i}{\sum A_i}, \end{aligned} \quad (3)$$

где A_i – площадь компонента (например, для арматуры растянутой зоны $A_s^* = \omega_s A_s$, для бетона растянутой зоны $A_b = b_0(h - X)$); γ_i – эмпирический параметр ползучести; β_i – тоже для $t = t_0$; X – высота сжатой части бетонного сечения; b_0, h – ширина и высота поперечного сечения.

Влияние коррозионных повреждений для арматуры вводится коэффициентом сохранения ω_s к площади сечения, а для бетона – коэффициентом сохранения характеристик:

$$K^* = \frac{R^*}{R} = \frac{E^*}{E} = \frac{C^0}{C^*} = \dots, \quad (4)$$

т.е. определяется как среднее по высоте растянутой зоны:

$$\bar{K}^* = \frac{1}{\delta} \int_0^\delta \sum_{i=0}^2 a_i z^i dz; \quad (5)$$

где в выше приведенных формулах (1)–(4), значок (верхний индекс) – 0 («нолик») относится к характеристикам исходного материала, а значок (верхний индекс) – * («звездочка») – к характе-

ристикам поврежденного материала; R – предел прочности; E – модуль деформации; C – мера простой ползучести.

Далее приведем численный пример расчета потерь уровня обжатия.

Исходные данные:

Дана железобетонная балка: класс бетона В30; процент армирования – 1 % ($\mu=0,01$); геометрические характеристики поперечного сечения: $h=60$ см, $b_0=40$ см, $X=0,5h=30$ см; соотношение площадей: $\frac{A_k}{A_{жб}} = \mu_k$.

Решение:

1. Согласно [5, 6], запишем физико-механические характеристики железобетонной балки:

- класс бетона: В 30 ($E_b = 32,5 \cdot 10^3$ МПа, $\varphi_b = 2,3$, $E_{b,вп} = \frac{E_b}{1 + \varphi_b} \approx 9848$ МПа);
- процент армирования балки: $\mu = 0,01$ ($E_s = 2 \cdot 10^5$ МПа);
- соотношение площадей: $\frac{A_k}{A_{жб}} = \mu$ ($E_k = 1,8 \cdot 10^5$ МПа).

2. Определим площади растянутой части сечения бетона A_b и арматуры A_s :

$$A_b = (h - x) \cdot b_0 = (60 - 30) \cdot 40 = 1200 \text{ см}^2;$$

$$A_s = A_b \cdot \mu = 1200 \cdot 0,01 = 12 \text{ см}^2.$$

3. В соответствии с (3) определим модуль деформации железобетона $E_{жб}$:

$$E_{жб} = \frac{\sum(E_s A_s + E_{b,вп} A_b)}{\sum(A_s + A_b)} = \frac{(2 \cdot 10^5 \times 12 + 9848 \times 1200)}{(12 + 1200)} \approx 11731 \text{ МПа}.$$

4. Вычислим потери обжатия от ползучести бетона без учета коррозионных повреждений ($K^* = 1$):

Согласно (2), при $E_{жб}^* = K^* E_{жб}$, учитывая $E_k(t) = E_k(t_0)$, получим:

$$\frac{\sigma_k(t)}{\sigma_k(t_0)} = \frac{1}{1 + 0,01 \frac{1,8 \cdot 10^5}{11731}} \approx 0,867,$$

отсюда следует, что потери обжатия составили 13,3 %.

5. Вычислим потери обжатия от ползучести бетона с учетом коррозионных повреждений ($K^* < 1$).

Функция коррозионных повреждений может изменяться в диапазоне $1 \geq K^* \geq 0,667$, причем $K^* = 0,667$ получено из (5) при: $z_i^* = 0$, $K_1^* = 0$, $\delta_t = h - X$. Тогда запись (5) примет вид:

$$\bar{K}^* = \frac{1}{\delta} \int_0^{\delta} \sum_{i=0}^2 a_i z^i dz = \frac{1}{h - X} \int_0^{h-X} \sum_{i=0}^2 a_i z^i dz,$$

при $a_0 = 1$; $a_1 = 0$; $a_2 = -\frac{1}{0,75h^2}$, получаем:

$$K^* \approx 0,667.$$

Согласно (2), учитывая $E_k(t) = E_k(t_0)$, при $E_{жб}^* = K^* E_{жб}$, по аналогии с п. 4 получим значения $\frac{\sigma_k(t)}{\sigma_k(t_0)}$ при различных вариантах коррозионных повреждений в диапазоне $1 \geq K^* \geq 0,667$ и в зависимости от соотношения площадей $\frac{A_k}{A_{жб}} = \mu_k$ (коэффициента армирования канатами обжатия) приведенного к коэффициенту армирования железобетона μ . В связи с этим, численные значения $\frac{\sigma_k(t)}{\sigma_k(t_0)} = P_k$, представленные в табл. 1 сгруппированы согласно выше указанному порядку для характерных вариантов коррозионных повреждений.

Таблица 1

K^*	$\frac{A_k}{A_{жб}} = \mu_k$				
	μ	$1,5\mu$	2μ	$2,5\mu$	3μ
1,00	0,867	0,813	0,765	0,722	0,685
0,834	0,845	0,784	0,731	0,685	0,644
0,667	0,813	0,743	0,685	0,635	0,592

Следует отметить, что значения, приведенные в табл. 1 могут быть использованы для определения потерь обжатия применительно к железобетону с характеристиками: В 30, $\mu = 0,01$. При этом коррозионные повреждения арматуры, можно учитывать изменением пло-

щади поперечного сечения арматуры A_s , т.е. уменьшением значения μ .

На основании численных данных табл. 1, построены графики, приведенные на рис.1, 2.

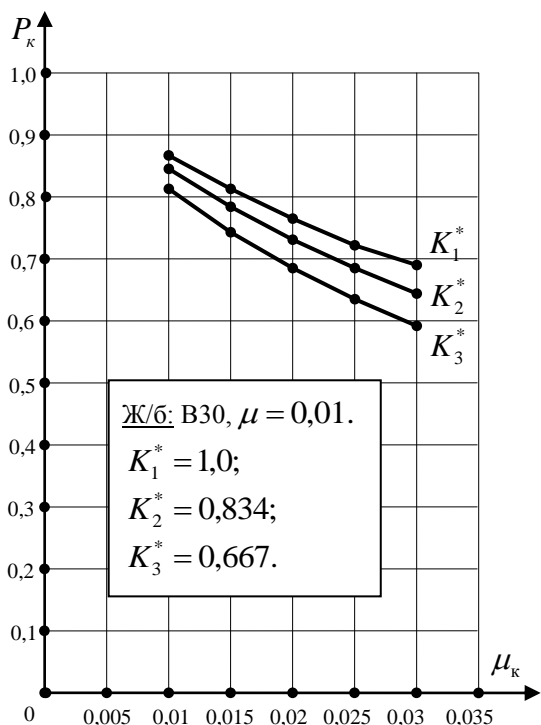


Рис. 1. Зависимость $\frac{\sigma_k(t)}{\sigma_k(t_0)} = P_k$ от $\frac{A_k}{A_{жб}} = \mu_k$ при различных значениях K^* (с учетом ползучести бетона)

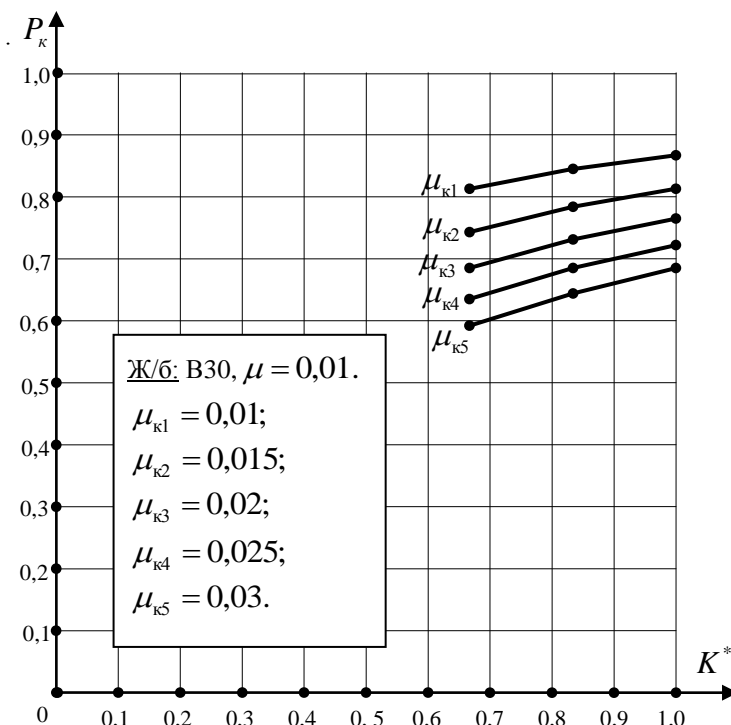


Рис. 2. Зависимость $\frac{\sigma_k(t)}{\sigma_k(t_0)} = P_k$ от K^* при различных значениях μ_k (с учетом ползучести бетона)

По аналогии с вышеприведенным численным примером, в табл. 2 приведем значения для исходной железобетонной балки с теми же характеристиками (класс бетона В30; процент армирования – 1 % ($\mu = 0,01$)), но с учетом релаксации напряжений арматуры (канатов).

канатов составляет 1,5-3% – для 1000 час и 3-5% – для 10000 час.) значение релаксации в размере 5%, т.е. отношение $\frac{E_k(t)}{E_k(t_0)}$ в выражении

(1) будет равным 0,95.

Следовательно, фиксированная длина каната дает простую релаксацию, которая снижает модуль и напряжения на 0,95.

В соответствии с численными данными построены графики, характеризующие трещиностойкость железобетона в связи с потерями обжатия учитывающие ползучесть бетона, релаксацию напряжений канатов и степень коррозионных повреждений (рис. 3, 4).

Сравнивая численные значения факторов влияющих на величину потерь обжатия, можно отметить, что наряду с влиянием ползучести бетона и релаксации напряжений в арматуре (канатах), важнейшим фактором становится коррозия бетона и арматуры.

Таблица 2

K^*	$\frac{A_k}{A_{жб}} = \mu_k$				
	μ	$1,5\mu$	2μ	$2,5\mu$	3μ
1,00	0,824	0,772	0,727	0,686	0,651
0,834	0,803	0,745	0,694	0,651	0,612
0,667	0,772	0,706	0,651	0,603	0,562

При этом принимаем (согласно устной консультации д-р техн. наук, профессора Мадатяна С. А. (НИИЖБ), простая релаксация

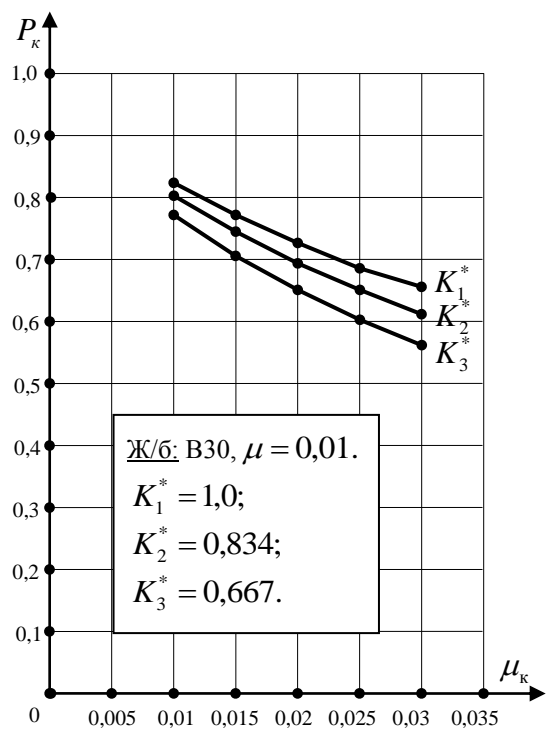


Рис. 3. Зависимость $\frac{\sigma_k(t)}{\sigma_k(t_0)} = P_k$ от μ_k

$$\frac{A_k}{A_{жб}} = \mu_k \text{ при различных значениях } K^*$$

(с учетом ползучести бетона и релаксации напряжений арматуры (канатов))

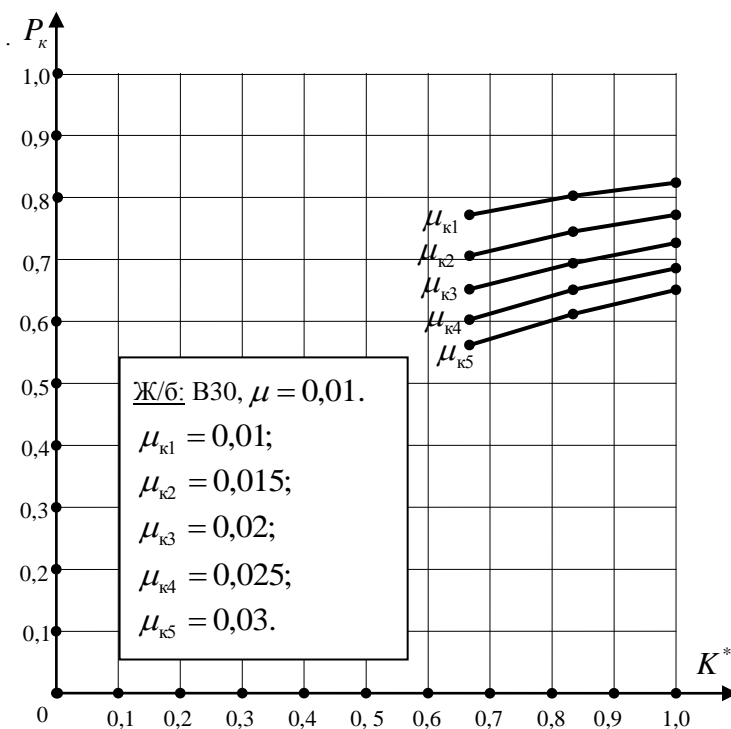


Рис. 4. Зависимость $\frac{\sigma_k(t)}{\sigma_k(t_0)} = P_k$ от K^* при различных значениях μ_k

(с учетом ползучести бетона и релаксации напряжений арматуры (канатов))

Таким образом, получена расчетная оценка потерь обжатия, при повышении трещиностойкости изгибаемых железобетонных элементов поврежденных коррозией, с учетом влияния неравновесных процессов силового сопротивления железобетона.

*Научный консультант В.М. Бондаренко, д-р техн. наук, профессор, академик РААСН.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Байдин, О.В. К вопросу повышения трещиностойкости поврежденного коррозией железобетона / О.В. Байдин // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2012. – № 1. – С. 46 – 49. – ISSN 2071-7318.
2. Байдин, О.В. Повышение сопротивления образованию трещин поврежденного коррозией железобетона обжатием / О.В. Байдин // Строительная механика и расчет сооружений. – 2012. – № 2.
3. Бондаренко, В.М. Некоторые фундаментальные вопросы развития теории железобетона / В.М. Бондаренко // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2010. – № 2. – С. 5 – 11. – ISSN 0039-2383.

4. Бондаренко, В.М. Феноменология кинетики повреждений бетона железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в агрессивной среде / В.М. Бондаренко // Бетон и железобетон. – 2008. – № 2. – С. 25 – 28. – ISSN 0005-9889.

5. СП 52-101-2003 Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. – Вн. 2003-25-12 – М.: Изд. ФГУП ЦПП, 2004. – 54 с.

6. СП 52-102-2004 Предварительно напряженные железобетонные конструкции. – Вн. 2004-24-05 – М.: Изд. ФГУП ЦПП, 2004. – 38 с. – ISBN 5-9685-0027-1.