

УДК 624.01.235/45

**Замалиев Ф.С.** – кандидат технических наук, доцент

**Хайрутдинов Ш.Н.** – инженер

E-mail: [em\\_z@mail.ru](mailto:em_z@mail.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

## **УПРОЩЕННАЯ ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ ПРИ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЖЕНИЯХ**

### **АННОТАЦИЯ:**

Предлагается упрощенная методика расчета прочности сталежелезобетонных изгибаемых элементов на длительные нагрузки. Приводятся расчетные выражения для определения эквивалентного значения расчетного сопротивления бетона и стали. Даны выражения по определению положения границы сжатой зоны и прочности нормального сечения для любого этапа длительного нагружения. Показана сходимость теоретических результатов с данными испытаний.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** сталежелезобетонные конструкции, длительные нагрузки, упрощенный расчет, прочность.

**Zamaliyev F.S.** – candidate of technical science, associate professor

**Khairutdinov Sh.N.** – engineer

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

## **THE SIMPLIFIED ESTIMATION OF DURABILITY STEELCONCRETE CEILING AT LONG LOADINGS**

### **ABSTRACT**

The simplified design procedure steelconcrete bent elements on long loadings is offered. Settlement expressions for definition of equivalent value of settlement resistance of concrete and a steel are resulted. Expressions by definition of position of border of the compressed zone and durability of normal section for any stage long loadings are given. Convergence of theoretical results with the data of tests is shown.

**KEYWORDS:** steelconcrete construction, long loadings, simplified calculation, durability.

При реконструкции зданий раннего периода постройки очень часто деревянные перекрытия меняют на перекрытия по стальным балкам, укладывая по ним сборные или монолитные железобетонные плиты. В зарубежной строительной практике, реже в нашей стране, совместную работу бетонной плиты со стальной балкой обеспечивают путем устройства анкерных связей по контактной поверхности, тем самым создают композитную сталежелезобетонную конструкцию.

В настоящее время наши проектанты сталежелезобетонную конструкцию рассчитывают по методике, принятой для традиционных строительных конструкций: отдельно стальную балку по нормам стальных конструкций, железобетонную плиту по нормам железобетонных конструкций, а при рассмотрении сталежелезобетонной конструкции как единой конструкции – в основном используют методы расчета железобетонных конструкций. В исследовательской практике для оценки прочности сталежелезобетонных конструкций используют деформационные методы расчета [1]. Безусловно, учет действительного напряженно-деформированного состояния, внутренних усилий для любого рассматриваемого уровня и режима нагружения дает экономические и надежные решения.

Однако в ряде случаев строительной практики возникает необходимость в прикидочной оценке прочности сталежелезобетонных конструкций, не прибегая к сложным расчетам. Для этого можно использовать один из наиболее простых методов расчета прочности железобетонных конструкций – метод предельного равновесия, трансформированный для случая сталежелезобетонных конструкций.

Расчет прочности производится на основе следующих предпосылок:

- принимается прямоугольная эпюра напряжений в бетоне сжатой зоны монолитной плиты в стальной балке;

- для средних деформаций бетона и стали и растянутой зоны стальной балки считается справедливым линейный закон распределения деформаций по высоте сечения;

- в качестве расчетного принимается сечение со средней высотой сжатой зоны  $X$ , соответствующей средним деформациям.

На основании сформулированных выше предпосылок решается обратная задача – определение максимально допустимой нагрузки при заданном сроке службы конструкций.

Для расчета прочности нормальных сечений составляется уравнение равновесия внешних и внутренних сил. Внутренние усилия определяются по расчетными сопротивлениям бетона и с учетом вида компоновки составного сечения, изменения напряжений во времени, а также несоответствия принятой формы эпюры напряжений к фактической.

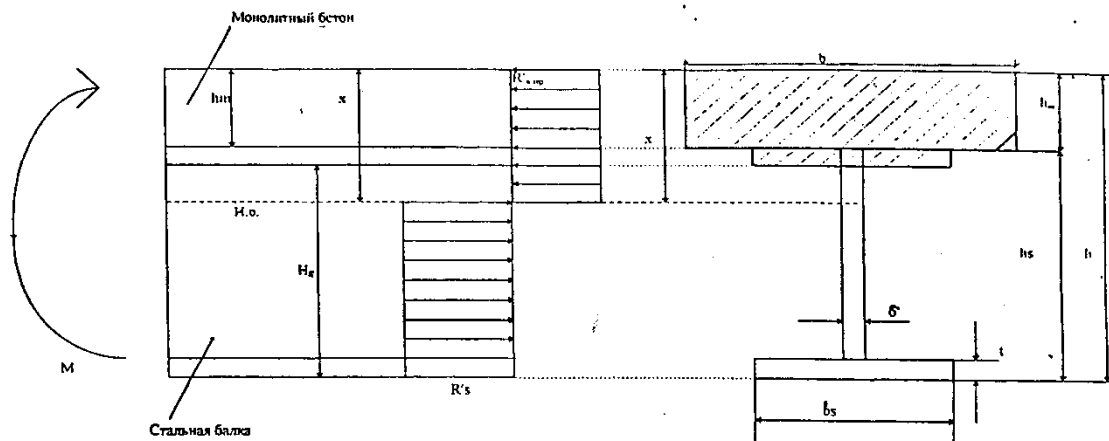


Рис. Расчетная схема усилий и эпюры напряжений

Для упрощения расчета монолитный бетон и сжатая часть стальной балки приводятся к одному эквивалентному бетону по прочности и деформативности и, таким образом, расчет сталежелезобетонной конструкции сводится к расчету обычных железобетонных конструкций. Указанная замена основывается на использовании зависимости предельной сжимаемости бетона от его призмочной прочности – « $e_{bc}-R_b$ ». Зная характер связи между призмочной прочностью бетона и его предельной сжимаемостью и принимая допустимые предельные значения деформаций стали, представляется возможность определить призмочную прочность эквивалентного бетона –  $R_{b,прив.}$ .

$$R_{b,прив.} = \frac{R_{bc} \cdot e_{bc} + R_{bc} \cdot e_{bc} \cdot \frac{R_{bc}}{R_{bc}}}{e_{bc} + \frac{R_{bc}}{R_{bc}}} \quad (1)$$

Учитывая диаграммы деформирования материалов, приведенных ранее, получим

$$R_{b,пр.} = R_{bc} \left( 1 + \frac{M_m}{S} \right) + R_{bc} \frac{M_m}{S} \quad (2)$$

где  $S_m$  – статический момент монолитного бетона сжатой зоны составного сечения относительно нейтральной зоны составного сечения относительно нейтральной оси при  $X=X_R$  ( $X_R$  – определяется для монолитного бетона);

$S$  – статический момент всей сжатой зоны относительно той же оси.

В дальнейшем расчет производится для условного сечения, в котором сжимающие усилия воспринимаются приведенным бетоном, а растягивающие усилия – нижней полкой и оставшейся частью стенки стальной балки.

Условие прочности пишется в виде

$$M \leq R_{b,пр.} \left[ R_{bc} \cdot S_m + R_{bc} \cdot \left( M_m \cdot x + M_m \cdot \frac{S}{S} \right) \right] + R_{bc} \cdot R_{bc} \cdot \left( M_m \cdot x + M_m \cdot \frac{S}{S} \right) \quad (3)$$

здесь моменты принимаются относительно нейтральной оси.

Высота сжатой зоны « $X$ » определяется из уравнения равновесия продольных усилий в стадии разрушения

$$R_{b,пр.} \cdot b \cdot x - R_s \delta (h_s - x + h_m - t) - R_s b_s t = 0$$

Откуда

$$\sigma = \frac{R_{s,sp} \cdot \lambda + R_{b,sp} \cdot (1 - \lambda)}{1 - \lambda} \quad (4)$$

Однако, необходимо отметить, что прямоугольная эпюра напряжений в бетоне сжатой зоны и растянутой зоны стальной балки имеет условный характер, так как на нейтральной оси напряжения не могут быть равны предельным. Вследствие этого высота сжатой зоны и положение нейтральной оси имеют также условный характер, не соответствующий фактической высоте сжатой зоны и фактической нейтральной оси.

Кроме того, замена криволинейной эпюры на прямоугольную увеличивает площадь сжатой и растянутой зон и плечо внутренней пары сил и тем самым завышает несущую способность. Эта разница имеет особо существенное значение при длительном статическом нагружении, когда формы эпюр напряжений далеки от прямоугольной.

Для учета этого явления расчетным путем вводим коэффициент полноты  $\omega$  эпюры напряжений в бетоне сжатой зоны и его учитываем при вычислении высоты сжатой зоны:

$$\omega = \frac{M}{R_{b,sp} \cdot b \cdot h^2} \quad (5)$$

$\lambda = 1 - V$  – коэффициент пластичности приведенного бетона сжатой зоны.

$V$  – коэффициент, характерный для упруго пластического состояния бетона сжатой зоны и вычисляемый в соответствии с [3] по формуле

$$V = \frac{M_{раз}}{M} \quad (6)$$

где  $M$  – изгибающий момент от действующей нагрузки;

$M_{раз}$  – изгибающий момент при статическом разрушении конструктивного элемента.

Значения  $\omega$ , вычисленные по (6), находятся в пределах 0,775-0,9. В практических расчетах принимаем  $\omega_b = 0,85$ ;  $\omega_s = 0,8$ .

Тогда выражение для высоты сжатой зоны перепишем в виде

$$h_{сп} = \frac{M}{R'_{b,sp} \cdot b \cdot h_{сп}} \quad (7)$$

где  $R'_s = 0,8R_s$  – трансформированное расчетное сопротивление стали;

$R'_{b,sp} = 0,85R_{b,sp}$  – трансформированное расчетное сопротивление бетона.

Для учета изменения напряжений в бетоне и стали в процессе длительного статического нагружений вследствие развития дополнительного напряженного состояния производим трансформирование расчетных сопротивлений материалов, составленных для случая осевого приложения однократного кратковременного статического нагружения.

$$R'_{b,sp,long} = 0,85R_{b,sp} \frac{1}{H_{S_b} K_w}$$

$$R'_{s,long} = 0,85R_s \frac{1}{H_{S_s} K_{w_s}}$$

где  $H_{S_b}, H_{S_s}$  – функции накопления напряжений в бетоне и стальной балке при длительном статическом нагружении.

Для расчета прочности нормальных сечений рассматривается система, состоящая из двух полос, параллельных продольной оси элемента:

- сжатой полосы, состоящей из сжатого бетона и сжатой части стального элемента приведенных к эквивалентному бетону с условным расчетным сопротивлением  $R'_{b,sp}, R'_{b,sp,long}$ ;

- растянутой полосы, состоящей из растянутой части стального элемента с напряжениями, равными  $R'_s, R'_{s,long}$ .

При этом форма эпюр напряжений принимается прямоугольной.

Проверка прочности производится:

- для растянутой полосы;
- для сжатой полосы.

Для проверки прочности растянутой полосы получим

Внешнее усилие

$$N_s = \frac{M}{Z} - \frac{N_{eb}}{Z} \quad \text{или} \quad N_s = \frac{(e_0 - e_b)}{Z}$$

$$Z = h - 0,5x - y_s; \quad e_b = 0,5h - a_c$$

$$a_c = \frac{R_{sc} A'_s a'_s + R_b b x^2 / 2}{R_{sc} A'_s + R_b \cdot b \cdot x} \quad (\text{вместо } R_b \text{ ставится } R'_b, R'_{b,np,long}).$$

Высота сжатой зоны  $X$  определяется из равновесия продольных усилий в сжатой и растянутой полосе и внешней продольной силы:

$$R_s A_s + N = R_{b,np} \cdot b \cdot x, \quad (8)$$

$$\text{откуда } x = \frac{R_s A_s + N}{R_{b,np} \cdot b},$$

здесь, в зависимости от режима нагружения, в расчетных формулах принимаются

$$R'_s, R'_{s,long}, R'_{b,np}, R'_{b,np,long}$$

Внутреннее предельное усилие

$$N_{su} = R_s A_s$$

Проверка прочности

$$N_s \leq N_{su} \quad (9)$$

Для проверки прочности сжатой полосы имеем

Внешнее усилие

$$N_b = \frac{M}{Z} + \frac{N_{es}}{Z} \quad \text{или} \quad N_b = \frac{N(e_0 + e_s)}{Z}$$

$$Z = h_0 - 0,5x - y_s; \quad e_s = 0,5h - a_c$$

(10)

Высота сжатой зоны  $X_c$  определяется по зависимости, учитывающей ее изменение от величины  $X_R = 0,5h$  (при  $\sigma_s = R_s$ ) до величины  $X_{max} = h$  (при  $\sigma_s = R_{sc}$ ), в зависимости от величины  $N$

$$x_c = \frac{N + 2R_s A_s}{R_{b,np} b h_0 + 4R_{sc} A_s} h_0,$$

при  $N = R_{b,np} \cdot b \cdot X_R$ ,  $X_c = 0,5h_0$ ;

при  $N = R_{b,np} \cdot b \cdot h_0 + R_{sc} A_s$ ,  $X_c = h_0$

Внутреннее предельное усилие

$$N_{bu} = R_{b,np} \cdot b \cdot X_c \quad (11)$$

Условие прочности

$$N_b \leq N_{bu} \quad (12)$$

В расчетных формулах вместо  $R_{b,np}$  и  $R_s$  принимаются  $R'_{b,np}$ ;  $R'_{b,np,long}$ ;  $R'_{s,long}$

Для проверки изложенной методики проведены расчеты прочности сталежелезобетонных балок, испытанных авторами [4]. Экспериментальные балки состоят из стальной двутавровой балки № 12 из стали С 245 длиной 2000 мм и бетонной плиты 2000x400x50 мм, совместная работа которых обеспечена вертикальными анкерными стержнями высотой 40 мм.

Исследованы четыре группы балок по 3 образца в группе под воздействием нагрузки в течение шести месяцев, при этом длительная нагрузка  $P_{max}$  равна 0,85-0,99  $P_{разр.стат.}$ . Разрушение испытанных балок произошло примерно при одинаковом времени действия нагрузок от раздробления бетона в сжатой зоне нормального сечения и вследствие развития пластических деформаций в стальной балке.

Сопоставление результатов расчета по изложенной методике с экспериментальными данными показывает удовлетворительную сходимость, расхождения не превышают 6-14 %.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мирсаяпов И.Т., Замалиев Ф.С. Расчет прочности сталежелезобетонных изгибаемых конструкций на основе аналитических диаграмм // Разработка и исследование металлических и деревянных конструкций. Сборник научных трудов. – Казань: КГАСА, 1999. – 145 с.
2. Гольшев А.Б., Харченко А.В., Бачинский В.Я. и др. Методические рекомендации по расчету несущей способности сборно-монолитных конструкций по нормальным сечениям. НИИСК Госстроя СССР. – Киев, 1980. – 39 с.
3. Маилян Л.Р. Перераспределение усилий в статически неопределенных железобетонных балках // Известия вузов. Серия «Строительство и архитектура», 1983, № 4. – С. 6-10.
4. Хайрутдинов Ш.Н., Замалиев Ф.С. Экспериментальные исследования сталежелезобетонных изгибаемых конструкций при длительном действии нагрузок. // Известия КазГАСУ, 2008, № 1 (9). – С. 65-67.

### REFERENCES

1. Mirsayapov I.T., Zamaliev F.S. Durability calculation concretesteel bent designs on the basis of analytical diagrams // Workings out and research of metal and wooden designs. The collection of proceedings. – Kazan: KSABA, 1999. – 145 p.
2. Golyshev A.B., Kharchenko A.V., Bachinskiy V.J. and over. Methodical recommendations about calculation of bearing ability of sborno-monolithic designs about normal sections. NIISK Gosstroy of the USSR. – Kiev, 1980. – 39 p.
3. Mailyan L.R. Redistribution of efforts in statically uncertain ferro-concrete beams//News of high schools. A series «Building and architecture», 1983, № 4. – P. 6-10.
4. Khairutdinov Sh.N., Zamaliev F.S. Experimental researches steelconcrete bent designs at long action of loadings. // Izvestya KazGASU, 2008, №1 (9). – P. 65-67.