

Р. С. АВЕТИСЯН, Э. М. АГАЛАРЯН

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ РАСЧЕТА СТЕКЛОПЛАСТБЕТОННЫХ
 ЭЛЕМЕНТОВ ПО ДЕФОРМАЦИЯМ

Цель расчетного определения прогибов конструкций — обеспечить их нормальную эксплуатацию. Теория трещиностойкости и жесткости, созданная в 40-х годах В. И. Мурашевым [1], легла в основу расчета железобетонных конструкций по деформациям в действующих нормах [2].

В последнее время для тех железобетонных конструкций, которые должны обладать высокой коррозионной стойкостью, немагнитностью и низкой электропроводностью вместо стальной применяется стеклопластиковая арматура (СПА), которая имеет весьма высокую прочность на растяжение ($\sigma = 1500 \text{ кгс/см}^2$). В то же время у СПА сравнительно низкий модуль упругости и она обладает свойством ползучести, что и необходимо учесть при определении потерь предварительного напряжения, а также при расчете стеклопластбетонных конструкций по деформациям.

Для определения кривизны балок армированных СПА нами предлагается формула

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M_d}{N_d z_d} \left[\frac{\gamma_{sc}}{E_d F_d \gamma_{sc}} + \frac{z_d}{(\gamma + 1) b h_0 E_d \gamma} \right] - \frac{N_d \gamma_{sc}}{h_0 E_d F_d \gamma_{sc}}, \quad (1)$$

которая от формулы действующих норм [2] отличается наличием коэффициента γ_{sc} , характеризующего пластические свойства СПА, по аналогии с коэффициентом γ , учитывающим упруго-пластические свойства бетона. При кратковременном действии нагрузки $\gamma_{sc} = 1$. Ниже рассмотрены только те члены из (1), значения которых при использовании СПА могут отличаться от соответствующих значений по [2] для стальной арматуры.

Коэффициент

$$\gamma_{sc} = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_n}, \quad (2)$$

где ε_y , ε_n — упругие и полные деформации СПА:

$$\varepsilon_n = \frac{\sigma_k}{E} \varphi_1 + \frac{\sigma_k}{E} - \frac{\sigma_k}{E} \varphi_1. \quad (3)$$

В формуле (3) σ_a — напряжение в СПА в сечении с трещиной

$$\sigma_a = \sigma_0 + \frac{M_3}{F_{II} \cdot z_2} - \frac{N_3}{F_{II}} \quad (4)$$

где σ_0 — интенсивность напряжения в СПА, растянутой от внешних сил вены балок с учетом всех потерь. Формула (3) учитывает уменьшение деформации ползучести при напряжении $\sigma_a > \sigma_0$ на величину пластических деформаций, происшедших до момента нагружения конструкции

$$\left(\frac{\sigma_0}{E} \cdot \varphi_t \right).$$

Характеристику ползучести φ_t для СПА можно определить по формуле:

$$\varphi_t = a_1 (1 - e^{-\beta t}). \quad (5)$$

где a_1, β — известные коэффициенты; t — время.

После некоторых преобразований формула (2) принимает вид

$$\eta_{sc} = \frac{\sigma_a}{\varphi_t (\sigma_a - \sigma_0) + \sigma_0}. \quad (6)$$

Формула (6) приближенная: она не учитывает, что в результате потерь напряжений и упругого обжатия σ_a уменьшается и вплоть до момента нагружения имеют место пластические деформации. σ_a уменьшается также от загрузения балки длительной нагрузкой из-за ползучести бетона и СПА, от нарушения сцепления между бетоном и арматурой, после некоторого увеличения плеча внутренней пары z_1 .

Исследования [3] и [4] показали, что относительную высоту сжатой зоны стеклопластбетонных балок можно определить по формуле

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{1}{1,8 + \frac{1,5(L+T)}{10nk_p}} + \frac{1,5 + \gamma^2}{11,5 \frac{\sigma_{sc}}{h_0} - 5}. \quad (7)$$

где $k = \frac{E_{sc}}{E_{cm}}$.

Остальные члены формулы (7) имеют те же значения, что и в соответствующей формуле норм [2].

Согласно [3] и [4] коэффициент, учитывающий работу растянутого бетона на участке между трещинами:

$$\psi_{sc} = k_2 \cdot \psi_{sa} \quad (8)$$

где ψ_{sa} — коэффициент для металлической арматуры из [2]

$$\psi_{sc} = 1,25 - S_m \cdot \frac{1 - m^2}{(3,5 - 1,8 m) \frac{\sigma_{sc}}{h_0}} \quad (9)$$

$k = 1,3 - 1,4$ — опытный коэффициент.

Для проверки предлагаемых расчетных формул под кратковременной и длительной нагрузками были испытаны три серии стеклопластбетонных балок размерами $8 \times 20 \times 180$ см из литондиопемзбетона М 300. Балки отличались интенсивностью преднапряжения СПА растянутой зоны, принятой у первой серии $\sigma_0 = 0$, у второй $\sigma_0 = 0,3 R'' = 4300 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$ и у третьей $\sigma_0 = 0,6 R'' = 8600 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$. Балки испытывались двумя сосредоточенными грузами, приложенными в третях пролета, равного 150 см. Прогобы балок измерялись с точностью 0,01 мм.

Таблица 1

Цифр балок	БПНО-5	БПНО-6	БПНО 3-8	БПНО 3-9	БПНО 6-8	БПНО 6-9
σ_0 , кгс/см ²	0	0	3750	3750	6750	8750
M_0 , кгс·м	190	190	560	560	1040	1040
ξ^p	0,538	0,538	0,549	0,549	0,48	0,48
ξ^d , см	12,42	12,42	12,33	12,33	12,92	12,92
$\sigma_{\text{н}}^d$, кгс/см ²	1600	1800	5340	5340	9170	9470
$\psi_{\text{ак}}$	0,64	0,64	0,67	0,67	0,72	0,72
$\psi_{\text{дл}}$	0,94	0,94	0,9	0,9	0,87	0,87
$f_{\text{к}}^p$, см	0,076	0,076	0,064	0,064	0,053	0,053
$f_{\text{к}}^d$, см	0,071	0,069	0,66	0,058	0,046	0,048
$f_{\text{к}}^p / f_{\text{к}}^d$	1,08	1,1	0,97	1,09	1,15	1,09
$f_{\text{д}}^p$, см	0,232	0,232	0,193	0,193	0,165	0,165
$f_{\text{д}}^d$	0,211	0,213	0,184	0,179	0,147	0,154
$f_{\text{д}}^p / f_{\text{д}}^d$	1,1	1,09	1,05	1,11	1,12	1,07

Экспериментальные данные и их сопоставление с результатами расчетов по предложенным выше формулам приведены в табл. 1, где расчетные значения ξ^d определялись по формуле

$$\xi^d = \frac{M}{F_{\text{к}} \sigma_{\text{к}}} \quad (10)$$

Перед бетонированием балок, после создания предварительного натяжения на зоне чистого изгиба СПА приклеивались тензодатчики сопротивления. По показаниям этих датчиков при нагружении определялись приращения напряжений в СПА. Опытные значения $\sigma_{\text{н}}^d$ рассчитывали по формуле

$$\sigma_{\text{н}}^d = \sigma_0 - \sigma_{\text{н}} - n \sigma_{\text{к}} + \Delta \sigma_{\text{к}}, \quad (11)$$

где $\sigma_{\text{н}} - n \sigma_{\text{н}}$ определялись расчетом.

В табл. 2 приведены расчетные значения полных потерь напряжений, кратковременные и длительные кривизны, а также моменты трещи-

трещинообразования для испытанных балок и аналогичных железобетонных балок, армированных стальной арматурой класса ВрП, которая по своим прочностным характеристикам весьма близка к использованной

Таблица 2

	$\sigma_{0.2}$, $\frac{кгс}{см^2}$	$\sigma_{0.1}$, $\frac{кгс}{см^2}$	$M_{0.2}$, кгс·м	$\delta_{0.2}$	$\psi_{0.2}$	$\frac{1}{\rho_{0.2}}$	$\frac{1}{\rho_{0.1}}$
Железобетонные балки	9000	2260	727	0,642	0,807	$14,76 \cdot 10^{-5}$	$11,1 \cdot 10^{-5}$
Стеклопластбетонные балки	9000	1159	825	0,72	0,67	$17 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$

нами СПА. Из табл. 2 видно, что потери напряжений в балках с металлической арматурой почти в два раза выше, чем в балках, армированных СПА, что и привело к существенному (почти в 12%) уменьшению момента трещинообразования.

Жесткости этих балок до момента трещинообразования практически равны. Однако после появления трещин жесткость железобетонных балок при прочих равных условиях при кратковременном нагружении на 15% больше, чем у стеклопластбетонных.

При длительном нагружении жесткость балок, армированных СПА, меньше, чем у балок с металлической арматурой на 29%, что объясняется как большими значениями коэффициента ψ_0 , так и ползучестью СПА.

При прочих равных условиях отношение длительного прогиба к кратковременному у балок армированных сталью оказалось равно $f_k/f_k = 2,8$, а для балок, армированных СПА — $f_k/f_k = 3,12$, что, в основном, объясняется ползучестью СПА.

Из вышесказанного следует, что при определении жесткости стеклопластбетонных балок необходимо учитывать ползучесть СПА.

Приведенные выше формулы позволяют достаточно точно определять кривизны стеклопластбетонных балок на участках с трещинами в растянутой зоне.

ЕрIII им. К. Маркса

Получено 10 IV 1979

ЛИТЕРАТУРА

1. Муришев В. И. Трещиностойкость, жесткость и прочность железобетона. М., Машгиз, 1949.
2. Строительные нормы и правила (СНиП). Бетонные и железобетонные конструкции. Часть II, глава 21, М., 1976.
3. Вильдовский Ю. М. Исследование физико-механических свойств стеклопластиковой арматуры и некоторых особенностей ее работы в изгибаемых бетонных элементах. Автореферат канд. диссертации, М., 1969.
4. Андрияшян А. А. Исследование взаимодействия стеклопластиковой арматуры и легкого бетона из литонной пемзы и некоторые особенности их совместной работы в изгибаемых элементах. Автореферат канд. диссертации, Ереван, 1972.